

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

**ÍNDICE DE CLOROFILA NO DESENVOLVIMENTO DE SOJA E MILHO E SUA
CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE**

DAVI MARCONDES ROCHA

CASCAVEL

2013

DAVI MARCONDES ROCHA

**ÍNDICE DE CLOROFILA NO DESENVOLVIMENTO DE SOJA E MILHO E SUA
CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE**

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: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza
Co-Orientadora: Profa. Dra. Lúcia H. P. Nóbrega

CASCADEL – PARANÁ – BRASIL

FEVEREIRO – 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

R572i Rocha, Davi Marcondes
Índice de clorofila no desenvolvimento de soja e milho e sua
correlação com atributos químicos e físicos do solo e produtividade. /
Davi Marcondes Rocha — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2013.
92 f. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza
Co-orientadora: Profa. Dra. Lúcia H. P. Nóbrega
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. Clorofilômetro. 3. Geoestatística. I.
Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21. ed. 631.4

DAVI MARCONDES ROCHA

**ÍNDICE DE CLOROFILA NO DESENVOLVIMENTO DE SOJA E MILHO E SUA
CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação 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. Eduardo Godoy de Souza
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas–UNIOESTE

Prof. Dr. Márcio Furlan Maggi
Universidade Estadual do Oeste do Paraná– UNIOESTE

Profa. Dra. Marcia Regina Siqueira Konopatzki
Pontifícia Universidade Católica do Paraná –PUCPR

Cascavel, 15 de fevereiro de 2013

BIOGRAFIA

Davi Marcondes Rocha, nascido no dia 23 de abril 1988 na cidade de Guarapuava, PR. Residente em Cascavel, PR. Filho de Maria Marcondes Rocha e Luiz Alberto Rocha. No ano de 2010 concluiu o curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas de Informação pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná *campus* Medianeira (UTFPR–MD), iniciando no ano seguinte o curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em “Sistemas Biológicos e Agroindustriais” em nível de mestrado, como bolsista da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior), na Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

“Time keeps movin' on,
friends they turn away.
I keep movin' on
but I never found out why
I keep pushing so hard the dream,
I keep tryin' to make it right
through another lonely day.”

Janis Joplin.

DEDICATÓRIA

A Deus, por guiar meus passos e me conduzir sempre à senda dos agraciados, fazendo-me enxergar que tudo o que faço deve ser para honra e glória do Seu nome.

Aos meus pais, Luiz Alberto Rocha e Maria Helena Marcondes Rocha, os quais sempre me deram força e incentivo a lutar pelos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador EDUARDO GODOY DE SOUZA e à minha co-orientadora LÚCIA HELENA PEREIRA NÓBREGA, pelo auxílio prestado durante a pesquisa e pela oportunidade de trabalhar junto a eles;

À UNIOESTE *campus* de Cascavel, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio concedido para o desenvolvimento desse trabalho;

À minha noiva, RENATA YOSHIKO ISHIHARA, pela compreensão nas horas de ausência e por estar comigo nesta fase importante da minha vida;

A todos os amigos e colegas de laboratório, que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento desta pesquisa, em especial, CLAUDIO LEONES BAZZI, DENILSON BAUMGARTNER, DIEGO ALVES DOS SANTOS, ELOI GASPARIN, FERNANDO NAKAYAMA, FLAVIO ANDERSON RODRIGUES, JOÃO PAULO THOMAS, KELYN SCHENATTO, LUAN DE PAULA, MARCIA REGINA SIQUEIRA KONOPATZKI, NELSON MIGUEL BETZEK, RAFAELA NICOLAU e RICARDO SOBJAK, pelo apoio e a colaboração.

ÍNDICE DE CLOROFILA NO DESENVOLVIMENTO DE SOJA E MILHO E SUA CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE

RESUMO

A agricultura brasileira, impulsionada pela globalização da economia mundial, necessita desenvolver novas tecnologias e estudos que aumentem a produtividade e diminuam os custos de produção. Este aumento pode ser obtido através do manejo adequado das áreas produtivas e deve observar o impacto ambiental gerado, buscando-se máxima produção. Sendo o nitrogênio um dos insumos agrícolas mais consumidos e este estar relacionado diretamente com o teor de clorofila presente nas plantas, é importante que sejam desenvolvidas pesquisas visando a aplicação localizada e a avaliação da influência deste e de outros nutrientes para a produção agrícola. A determinação do teor de clorofila por meio de clorofilômetro vem sendo utilizado para prever a necessidade de adubação nitrogenada em várias culturas. O presente projeto teve por objetivo avaliar a dependência espacial e confeccionar mapas temáticos referentes ao índice de clorofila em função do crescimento das culturas de soja e milho para análise da correlação com atributos químicos, físicos e da produtividade. Para isto, foi utilizado um aparelho portátil de medição de índice de clorofila (não destrutivo, de baixo custo e de rápida realização, se comparado com processos laboratoriais). Foram aplicadas técnicas de análise da dependência espacial nos dados, construindo mapas temáticos por meio do interpolador krigagem. Todos os atributos químicos e físicos do solo estudados apresentaram estrutura de dependência espacial, permitindo o manejo localizado destes atributos. A produtividade apresentou correlação espacial com atributos químicos e físicos do solo, e a correlação espacial entre índice de clorofila e produtividade se mostrou significativa em sua maior parte, nos estádios vegetativos.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, clorofilômetro, geoestatística.

CHLOROPHYLL INDEX IN THE DEVELOPMENT OF SOYBEAN AND CORN AND ITS CORRELATION WITH CHEMICAL AND PHYSICAL SOIL ATTRIBUTES AND YIELD

ABSTRACT

The Brazilian agriculture, propelled by the globalization of world's economy, needs to develop new technologies and studies that will increase yield and decrease the costs of production. This increase can be achieved through the management of adequate productive areas and must be cautious about its environmental impact, attempting to cause less impact and more production. Since nitrogen is one of the most useful agricultural inputs, it is important the development of researches aiming local application and evaluating the influence of this and other nutrients on the agricultural production. Determining the amount of chlorophyll is a method that has been being utilized to predict the necessity of nitrogen fertilization in various cultures. This research had the objective of evaluating spatial dependence and creating thematic maps referring to the index of chlorophyll in comparison with the growing of soybean and corn culture for correlation analysis with chemical and physical attributes and yield. It was used a portable device to measure the index of chlorophyll (non-destructive, inexpensive and fast, when compared to laboratory process). It were applied techniques of spatial dependence analysis on data constructing thematic maps through interpolation by kriging. All chemical and physical soil properties showed spatial dependence, allowing site-specific management of these attributes. The yield presented spatial correlation with chemical and physical soil properties and spatial correlation between chlorophyll and productivity was proved significant, mostly in vegetative stages.

KEY-WORDS: precision agriculture, chlorophyll meter, geostatistics.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Geral.....	13
2.2	Específicos	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Sistema Plantio Direto	14
3.2	Rotação de culturas.....	14
3.3	Soja	15
3.1	Desenvolvimento da cultura.....	16
3.2	Milho.....	17
3.2.1	Desenvolvimento da cultura.....	18
3.3	Solo	19
3.3.1	Propriedades químicas do solo e nutrição das plantas	19
3.3.2	Propriedades físicas do solo	20
3.4	Nitrogênio e fotossíntese	21
3.5	Avaliação de índice de clorofila.....	22
3.6	Agricultura de precisão	23
3.7	Sistemas de informação geográfica	24
3.8	Mapas temáticos.....	25
3.9	Análise geoestatística e interpolação.....	25
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1	Localização do experimento	28
4.2	Culturas	29
4.3	Amostras químicas e físicas do solo	30
4.4	Análises estatísticas e geoestatísticas.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	Análise de macro e micronutrientes do solo	34
5.2	Análise das propriedades físicas do solo.....	38
5.3	Análise da produtividade	40
5.4	Análise do índice de clorofila	41
5.5	Análise geoestatística.....	43
5.6	Mapas temáticos	47
5.7	Análise da correlação espacial	74
6	CONCLUSÕES	79
	REFERÊNCIAS	80
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 Estádios vegetativos da planta de soja	16
Tabela 02 Estádios reprodutivos da planta de soja	17
Tabela 03 Estádios vegetativos e reprodutivos do milho	18
Tabela 04 Valores de precipitação pluvial, temperatura mínima e máxima, referentes à região de Serranópolis do Iguaçu -2011	29
Tabela 05 Estatística descritiva dos atributos químicos do solo, Serranópolis do Iguaçu - PR (2010 e 2011)	34
Tabela 06 Níveis de interpretação dos teores dos atributos químicos do solo para a cultura de soja e milho e porcentagem encontrada em cada faixa, Serranópolis do Iguaçu - PR (2010 e 2011)	36
Tabela 07 Estatística descritiva dos atributos físicos do solo, Serranópolis do Iguaçu - PR (2010 e 2011).....	38
Tabela 08 Estatística descritiva para a produtividade das culturas de soja (2010/11 e 2011/12) e milho (2011 e 2012), Serranópolis do Iguaçu – PR	40
Tabela 09 Estatística descritiva dos índices de clorofila em estádios fenológicos da cultura de soja (2010/11 e 2011/12) e milho (2011 e 2012), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	41
Tabela 10 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os atributos químicos do solo, Serranópolis do Iguaçu – PR (2010 e 2011)	43
Tabela 11 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os atributos microporosidade, densidade do solo, macroporosidade, porosidade total, teor de água, argila, silte e areia das amostras coletadas em profundidades de 0-20 cm e resistência do solo a penetração em profundidades de 00-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, Serranópolis do Iguaçu - PR (2010 e 2011).....	45
Tabela 12 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para a produtividade das culturas de soja (2010/11 e 2011/12) e milho (2011 e 2012), Serranópolis do Iguaçu – PR	46
Tabela 13 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para o índice de clorofila em estádios fenológicos da cultura de soja (2010 e 2011) e milho (2011 e 2012), Serranópolis do Iguaçu – PR	47
Tabela 14 Correlação espacial para os atributos químicos do solo (2010 e 2011), índice de clorofila e produtividade das culturas de soja e milho, Serranópolis do Iguaçu – PR.....	75
Tabela 15 Correlação espacial para os atributos físicos do solo (2010 e 2011), índice de clorofila e produtividade das culturas de soja e milho, Serranópolis do Iguaçu – PR.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 Imagem da área experimental localizada em Serranópolis do Iguaçu - PR, obtida do software Google Earth (2006).	28
Figura 02 Grade amostral utilizada para coleta dos atributos químicos e físicos do solo, produtividade e índice de clorofila, Serranópolis do Iguaçu – PR.....	29
Figura 03 Procedimento realizado para coleta das amostras químicas do solo.	30
Figura 04 Linha do tempo das atividades realizadas no experimento.	31
Figura 05 Gráficos das médias dos índices de clorofila em estádios fenológicos para as culturas de soja e milho.	42
Figura 06 Distribuição espacial dos atributos texturais (g kg^{-1}) argila (a), silte (b), areia do solo(c) e altitude (m) da área experimental, Serranópolis do Iguaçu – PR	48
Figura 07 Distribuição espacial do atributo químico H+Al^3 em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR	49
Figura 08 Distribuição espacial do atributo químico pH em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR	50
Figura 09 Distribuição espacial do atributo químico carbono (g dm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	51
Figura 10 Distribuição espacial do atributo químico fósforo (g dm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	52
Figura 11 Distribuição espacial do atributo químico cálcio (cmolcdm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	54
Figura 12 Distribuição espacial do atributo químico potássio (cmolcdm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	55
Figura 13 Distribuição espacial do atributo químico magnésio (cmolcdm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	56
Figura 14 Distribuição espacial do atributo químico cobre (mg dm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	57
Figura 15 Distribuição espacial do atributo químico ferro (mg dm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	58
Figura 16 Distribuição espacial do atributo químico manganês (mg dm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	59
Figura 17 Distribuição espacial do atributo químico zinco (mg dm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	60

Figura 18 Distribuição espacial do atributo microporosidade (%) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	61
Figura 19 Distribuição espacial do atributo densidade (g cm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR	62
Figura 20 Distribuição espacial do atributo macroporosidade (%) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	63
Figura 21 Distribuição espacial do atributo porosidade total (%) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR	64
Figura 22 Distribuição espacial do atributo teor de água (%) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR	65
Figura 23 Distribuição espacial da resistência do solo a penetração (MPa) de 0–10 (a), 10–20 (b), 20–30 (c) e 30–40 (d) cm e diferença percentual entre 10–20 e 0–10 (e) cm e entre 30–40 e 20–30 (f) cm, Serranópolis do Iguaçu – PR.....	66
Figura 24 Distribuição espacial do índice de clorofila na cultura de soja em estádios fenológicos V3 (a), V6 (b) R1 (c) do ano de 2010, Serranópolis do Iguaçu – PR	68
Figura 25 Distribuição espacial do índice de clorofila na cultura de soja em estádios fenológicos R1 (a), R2 (b) R3 (c) do ano de 2011, Serranópolis do Iguaçu – PR	69
Figura 26 Distribuição espacial do índice de clorofila na cultura de milho em estádios fenológicos V3 (a), V6 (b) R1 (c) do ano de 2011, Serranópolis do Iguaçu – PR	70
Figura 27 Distribuição espacial do índice de clorofila na cultura de milho em estádios fenológicos V3 (a), V6 (b) R1 (c) do ano de 2012, Serranópolis do Iguaçu – PR	72
Figura 28 Distribuição espacial da produtividade (t ha^{-1}) da cultura de soja nos anos agrícola de 2010/11 (a) e 2011/12 (b) e diferença percentual entre os dois anos (c), Serranópolis do Iguaçu – PR	73
Figura 29 Distribuição espacial da produtividade (t ha^{-1}) da cultura de milho nos anos agrícola de 2011 (a) e 2012 (b) e diferença percentual entre os dois anos (c), Serranópolis do Iguaçu – PR.....	74

1 INTRODUÇÃO

Com o objetivo de melhorar a qualidade dos produtos para atingir as exigências impostas pelo mercado global, busca-se maior produtividade e rentabilidade por meio da melhoria dos processos de produção. Para isto, faz-se uso de tecnologias e metodologias específicas, atuando com máquinas e equipamentos cada vez mais eficazes. Na produção agrícola, a tecnologia de agricultura de precisão tem por objetivo gerar informações agronômicas sobre áreas produtoras, obtendo um melhor e mais preciso acompanhamento da lavoura, buscando maiores rentabilidades e menores impactos ambientais.

A principal vantagem econômica que se obtém quando utilizada esta tecnologia é a possibilidade de se aplicar de forma localizada os insumos agrícolas em cada local da lavoura, possibilitando, assim, melhorias em suas características, pois aplicam-se quantidades adequadas em locais específicos, reduzindo-se custos e/ou aumentando a produtividade.

Diversos atributos físicos e químicos podem influenciar na produtividade de qualquer cultura, tendo sido estudada a correlação entre estes atributos e o rendimento de diversas culturas. O nitrogênio (N) é um dos insumos agrícolas mais consumidos e desperta interesse no setor por apresentar custo elevado e significativo potencial de resposta da maioria das culturas.

A clorofila (presente nos cloroplastos das plantas) é responsável pela captação de radiação solar e está diretamente associada com o potencial de atividade fotossintética, do mesmo modo que o estado nutricional das plantas, geralmente, está associado com a quantidade de clorofila. Neste sentido, a determinação do teor relativo de clorofila por meio de clorofilômetro vem sendo utilizado para prever a necessidade de adubação nitrogenada em várias culturas, principalmente em cereais de inverno e milho.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Correlacionar produtividade e atributos químicos e físicos do solo com o índice de clorofila em estádios fenológicos da cultura de soja e milho.

2.2 Específicos

- Estudar a correlação do índice de clorofila com atributos químicos (Carbono (C), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Alumínio trocável ($H+Al^3$) e pH), físicos (resistência do solo à penetração, densidade, textura e umidade) e a produtividade;
- Verificar a dependência espacial de atributos físicos e químicos do solo, produtividade e índices de clorofila coletados em campo nas culturas de soja e milho, por um período de dois anos;
- Elaborar mapas temáticos, através de interpolação por krigagem, de cada um dos atributos estudados;
- Determinar o grau de correlação espacial entre os atributos estudados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sistema Plantio Direto

Iniciado há cerca de 30 anos no Brasil e ampliado de forma mais efetiva nos últimos 20 anos, o sistema plantio direto fundamenta-se na produção de grande quantidade de massa vegetal para cobertura do solo, visando à prevenção da erosão hídrica, à conservação e à melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo e ao aumento de sua capacidade de armazenamento de água. Os sistemas predominantes no sul do Brasil incluem os cultivos de soja e milho no verão e aveia preta, cereais e oleaginosas no inverno. A sequência, a periodicidade de uso e a adequação dessas culturas variam de produtor a produtor (SILVA et al., 2006).

Segundo Embrapa (2006), uma vez que seja adotado de modo correto, o sistema plantio direto é a melhor alternativa para reverter a situação de degradação gerada pelo cultivo convencional, apresentando vantagens sobre os sistemas que revolvem o solo, tais como: diminuição da erosão, melhoria dos níveis de fertilidade do solo, principalmente de fósforo, manutenção ou aumento da matéria orgânica, redução dos custos de produção (menor desgaste de tratores e maior economia de combustível, em razão da ausência das operações de preparo do solo), melhor racionalização no uso de máquinas, implementos e equipamentos, possibilitando que diferentes culturas sejam implantadas nas épocas indicadas e, finalmente, estabilidade na produção e melhoria de vida do produtor rural.

A matéria orgânica do solo influencia diretamente as propriedades do solo, como por exemplo: a capacidade de troca de cátions, a capacidade de armazenamento de água, a estabilidade estrutural e a atividade e diversidade biológica. Sendo assim, o diferencial do sistema plantio direto reside na sua capacidade de preservar ou aumentar a matéria orgânica do solo, pelo não revolvimento do mesmo e a manutenção da sua cobertura por resíduos vegetais com o uso de sistemas de rotação de culturas, incluindo plantas de cobertura e adubação verde (FRANCHINI et al., 2007).

3.2 Rotação de culturas

A demanda crescente por conhecimento mais profundo das variáveis envolvidas no sistema de produção agrícola está relacionada à necessidade de se produzir alimentos para uma população crescente, sem causar degradação ambiental. Muitas vezes, o processo de empobrecimento do solo, quando submetido a qualquer sistema de produção agrícola, tem sua causa no desequilíbrio entre o que é colocado e o que é retirado do solo. O cultivo sem restauração da matéria orgânica pode dar início a processos de degradação física do solo, geralmente iniciado com alguns danos à estrutura do solo, impedindo o fluxo da água e do

ar, e terminando com a desertificação (VIEIRA; GONZALEZ, 2003).

A rotação de culturas consiste em alternar espécies vegetais, no correr do tempo, numa mesma área agrícola. As espécies escolhidas devem ter propósito comercial ou de manutenção e recuperação do meio ambiente. Para a obtenção de máxima eficiência da capacidade produtiva do solo, o planejamento de rotação deve considerar, além das espécies comerciais, aquelas destinadas à cobertura do solo, que produzam grandes quantidades de biomassa, cultivadas quer em condição solteira ou em consórcio com culturas comerciais. Sendo assim, a rotação de cultura interfere positivamente na recuperação, na manutenção e na melhoria dos recursos naturais, viabilizando produtividades mais elevadas, com mínima alteração ambiental (EMBRAPA, 2006).

3.3 Soja

A soja (*Glycinemax*) é o principal grão oleaginoso cultivado no mundo, sendo que na safra 2010/2011 participou com cerca de 57% do total de 264 milhões de toneladas de grãos produzidos em nível global pelos principais grãos oleaginosos (SEAB, 2011). Seu elevado teor em proteínas (40%) faz dela a principal matéria prima na fabricação de rações para alimentação de animais domésticos e, apesar do seu baixo teor de óleo (cerca de 20%), disputa com o dendê a posição de maior produtora de óleo vegetal (ROESSING et al., 2007).

Os Estados Unidos são os maiores produtores mundiais de soja, sendo que na safra de 2010/2011 a cultura obteve área plantada de 31,0 milhões de hectares, a qual totalizou 91 milhões de toneladas. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja. Na safra 2010/2011, a cultura ocupou área de 24,2 milhões de hectares, o que totalizou produção de 75 milhões de toneladas. O estado do Mato Grosso é o maior produtor brasileiro de soja, considerando que na safra de 2010/2011 participou com a produção de 20,4 milhões de toneladas em 6,4 milhões de hectares de área plantada, com produtividade média de 3.190 kg ha⁻¹. Em segundo lugar está o estado do Paraná, obtendo, na safra de 2010/2011, produção de 15,4 milhões de toneladas, numa área de 4,6 milhões de hectares, com produtividade média de 3.360 kg ha⁻¹ (CONAB, 2011).

A soja, preferencialmente, deve ser cultivada em sistemas ordenados de rotação de culturas, sempre planejados para deixar os solos cobertos o maior espaço de tempo possível (EMBRAPA, 2006). A rotação aproveita muito bem o efeito residual dos fertilizantes e 50% de sua produção está relacionada à correção do solo (PENTEADO, 2007).

As indicações de adubação devem ser orientadas pelos teores dos nutrientes determinados na análise de solo, uma vez que a absorção de nutrientes é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas, como chuvas e temperaturas, as diferenças genéticas entre cultivares de uma mesma espécie, o teor de nutrientes no solo e

os diversos tratos culturais (EMBRAPA, 2006).

3.1 Desenvolvimento da cultura

O crescimento e o desenvolvimento da soja são resultados da interação entre o potencial genético de um determinado cultivar com o ambiente. Estes são medidos pela quantidade de matéria seca acumulada, sendo que, com exceção da água, é constituída por tudo que se encontra na planta, incluindo carboidratos, proteínas, lipídeos e nutrientes minerais (RITCHIE, 1997).

Para Farias *et al.* (2007), a metodologia de descrição dos estádios de desenvolvimento proposta por Fehr e Caviness (1977) é a mais utilizada no mundo, pois apresenta uma terminologia única, objetiva, precisa e universal, capaz de descrever um único indivíduo ou uma lavoura inteira. Esta classificação identifica, precisamente, o estágio de desenvolvimento em que se encontra uma planta de soja, dividindo os estádios de desenvolvimento da soja em vegetativos (V) (Tabela 01) e reprodutivos (R) (Tabela 02). Com exceção dos estádios de emergência (VE) e cotilédone (VC), as letras V e R são seguidas de índices numéricos que identificam estádios específicos nessas duas fases de desenvolvimento da planta.

Tabela 01 Estádios vegetativos da planta de soja

Estádio	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo
VC	Cotilédone	Cotilédone completamente abertos
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V3	Terceiro nó	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida
V4	Quarto nó	Terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida
Vn	Enésimo nó	Ante-enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida

Fonte: adaptado de Fehr e Caviness (1977).

O estágio VE representa a emergência dos cotilédones, ou seja, uma planta pode ser considerada emergida quando se encontra com os cotilédones acima da superfície do solo em um ângulo de 90° ou maior. No estágio VC, os cotilédones se encontram completamente abertos e expandidos e, a partir deste estágio, são numeradas de forma sequencial (V1, V2, V3, V4,...Vn), nas quais cada folha encontra-se completamente desenvolvida (FARIAS *et al.*, 2007).

Tabela 02 Estádios reprodutivos da planta de soja

Estádio	Denominação	Descrição
R1	Início do florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó do caule.
R2	Florescimento pleno	Uma flor aberta num dos dois últimos nós do caule.
R3	Início da formação da vagem	Vagem com 5mm de comprimento num dos quatro últimos nós do caule.
R4	Vagem completamente desenvolvida	Vagem com 2 cm de comprimento num dos quatro últimos nós do caule.
R5	Início do enchimento do grão	Grão de 3mm de comprimento em vagem num dos quatro últimos nós do caule.
R6	Grão cheio ou completo	Vagem contendo grãos verdes preenchendo as cavidades da vagem dos quatro últimos nós do caule.
R7	Início da maturação	Uma vagem normal no caule com coloração de madura.
R8	Maturação plena	95% das vagens com coloração madura.

Fonte: adaptado de Fehr e Caviness (1977).

De acordo com Farias (2007), os estádios reprodutivos descrevem o período do florescimento à maturação. Estes estádios abrangem quatro fases distintas do desenvolvimento reprodutivo da planta, sendo eles o florescimento (R1 e R2), o desenvolvimento da vagem (R3 e R4), o desenvolvimento do grão (R5 e R6) e a maturação da planta (R7 e R8).

3.2 Milho

A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo. Nos Estados Unidos, cerca de 50% é destinado a esse fim, enquanto que no Brasil varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano (DUARTE, 2002).

De acordo com Pimentel, Santo e Lorini (2011), o Brasil é um país cujo potencial de produção de grãos ainda não foi plenamente explorado. O milho é uma cultura de fácil adaptação aos mais diferentes ecossistemas e, embora seja uma cultura apropriada ao uso de tecnologia de ponta com potencial para produzir acima de 16 t ha⁻¹, predomina o uso de tecnologia de baixo investimento, a qual tem mantido a produtividade média nacional na safra de 2010/11 em 4.156 kg ha⁻¹.

A produção de milho no Brasil tem se caracterizado pela divisão em duas épocas de plantio. Os plantios de verão, ou primeira safra, são realizados na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto, na região Sul, até os meses de

outubro/novembro, no Sudeste e Centro-Oeste. A segunda safra refere-se ao milho de sequeiro, plantado em fevereiro ou março, normalmente depois da soja precoce, predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais. De acordo com o último levantamento sobre a safra de grãos, a produção nacional de milho se mostra bastante tecnificada, fazendo com que a produtividade apresente aumentos nos últimos anos (EMBRAPA, 2010).

Estima-se que o Brasil produziu 38 milhões de toneladas de milho na safra 2012, em uma área cultivada estimada em 7,3 milhões de hectares (LSPA, 2012).

3.2.1 Desenvolvimento da cultura

Segundo Ritchie *et al.* (2003), todas as plantas normais de milho seguem um mesmo padrão de desenvolvimento, diferenciando-se apenas em alguns aspectos, como os intervalos de tempo entre os estádios e os números totais de folhas desenvolvidas, variando conforme os híbridos, estações do ano, datas de plantio e locais.

O sistema de identificação do desenvolvimento da planta (Tabela 03) pode ser dividido em vegetativo (V), no qual cada estádio é definido de acordo com a formação visível do colar na inserção da bainha da folha com o colmo, e reprodutivo (R), iniciado quando os estilos-estigmas estão visíveis, para fora das espigas. As subdivisões dos estádios vegetativos são designadas numericamente como V1, V2, V3 até V(n), em que (n) representa a última folha emitida antes do pendoamento (VT). O primeiro e o último estádios V são representados, respectivamente, por VE (emergência) e VT (pendoamento) (MAGALHÃES; DURÃES, 2006).

Tabela 03 Estádios vegetativos e reprodutivos do milho

Vegetativo	Reprodutivo
VE, emergência	R 1, Embonecamento
V1, 1ª folha desenvolvida	R2, Bolha d'água
V2, 2ª folha desenvolvida	R3, Leitoso
V3, 3ª folha desenvolvida	R4, Pastoso
V4, 4ª folha desenvolvida	R5, Formação de dente
V(n), nª folha desenvolvida	R6, Maturidade fisiológica
VT, pendoamento	

Fonte: adaptado de Fehr e Caviness (1977).

De acordo com Magalhães (2006), o ponto de maturidade fisiológica caracteriza o momento ideal para a colheita, ou, ponto de máxima produção, sendo esta com 30 a 38% de umidade, podendo variar entre híbridos; porém, para o grão ser armazenado com segurança, o mesmo deveria estar com 13 a 15% de umidade.

3.3 Solo

Os solos agrícolas funcionam como um complexo sistema que retém e fornece água, ar, nutrientes e calor às sementes e às plantas, de maneira que é fundamental um ambiente físico favorável ao crescimento radicular para maximizar a produção das culturas (TORMENA et al., 2002).

Conforme Carvalho *et al.* (2003), numa paisagem natural, o solo apresenta variabilidade espacial e temporal de seus atributos, resultante da interação de processos que comandam os fatores responsáveis por sua formação. A variabilidade espacial dos atributos do solo pode ser influenciada pelos seus fatores intrínsecos (fatores de formação, que são o material de origem, relevo, clima, organismos e tempo), e pelos fatores extrínsecos, normalmente empreendidos pelas práticas de manejo do solo (adubação, calagem, dentre outros). Sendo assim, o solo cultivado revela fontes adicionais de heterogeneidade, originadas exclusivamente pelo efeito antrópico da agricultura (CASTRIGNANO et al., 2000).

3.3.1 Propriedades químicas do solo e nutrição das plantas

Em seu processo de desenvolvimento, as plantas alimentam-se exclusivamente de nutrientes minerais provenientes do solo, da água e do ar. O carbono, o hidrogênio e o oxigênio, chamados de nutrientes fundamentais, são retirados do ar e da água e representam 95% do total consumido pelas plantas. Os atributos químicos nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são chamados de macronutrientes primários; cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) são os macronutrientes secundários, enquanto boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), cobalto (Co), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mb), níquel (Ni), selênio (Se), silício (Si) e zinco (Zn) são os chamados micronutrientes, todos retirados apenas do solo (ANDA, 2011).

Com relação aos macronutrientes N, P e K, Lopes (1995) ressaltou que: o N é necessário para a síntese da clorofila e, como parte da molécula da clorofila, está envolvido na fotossíntese. Algumas vezes é o responsável pelo crescimento lento e atraso na maturação. Seu excesso pode aumentar o crescimento vegetativo, reduzir a formação de frutos e interferir na qualidade da produção; O P é imprescindível para o crescimento das plantas, sendo necessário para completar seu ciclo normal de produção, além de ser vital para a formação de sementes; o K é vital para a fotossíntese, tem seu papel no crescimento das plantas e influencia a eficiência do uso da água. Também está envolvido no processo de abertura e fechamento dos estômatos.

A manutenção do solo é baseada na reposição dos nutrientes extraídos pela cultura como produtos da lavoura. A extração e a necessidade de nutrientes variam com a espécie

cultivada e com as características químicas e biológicas do solo (CASTRO, 1988).

3.3.2 Propriedades físicas do solo

As propriedades físicas do solo dizem respeito à capacidade de absorver e reter água, de circular o ar e à facilidade que este oferece para a penetração das raízes das plantas (PENTEADO, 2007). A quantificação de atributos do solo, como a densidade e a porosidade, é essencial para as questões relacionadas ao manejo agrícola do solo, mostrando se o mesmo apresenta condições adequadas para o desenvolvimento e a exploração das raízes, indicando se existem problemas de compactação no solo (RAMIREZ-LOPEZ et al., 2008; STRUDLEY et al., 2008).

A compactação afeta negativamente o solo, por meio do aumento da densidade, diminuição da porosidade, aumento da impermeabilidade, diminuição da infiltração de água e da capacidade de retenção de água pelo solo. Estes efeitos adversos reduzem a eficiência dos fertilizantes, interferem no crescimento radicular, retardam a germinação das sementes e, conseqüentemente, reduzem a produtividade das culturas, aumentam o escoamento e a erosão do solo, trazendo problemas ambientais indesejáveis (GOEDERT et al., 2002; MEGDA et al., 2008).

Os limites críticos de atributos físicos do solo têm sido buscados; entretanto, limites ideais de densidade do solo para o desenvolvimento das culturas dependem da textura, mineralogia, forma das partículas e da matéria orgânica presente no solo, que afetam a estrutura do solo e, como consequência, a infiltração de água, ar e a resistência mecânica do solo, uma vez que culturas respondem de formas diferentes à compactação do solo, dependendo do seu sistema radicular (REICHERT et al., 2009).

Conforme Mendes *et al.* (2008), os atributos físicos do solo variam entre pontos relativamente próximos em área de mesma unidade taxonômica, muitas vezes de forma significativa, fazendo com que a geoestatística tenha grande aplicação nessa área. De acordo com Schaffath *et al.* (2008), essa não-uniformidade provavelmente está associada ao sistema de manejo de solo e de culturas adotadas e das características intrínsecas do solo, relacionadas com os fatores e processos de formação.

Segundo Vieira e Klein (2007), dentre os componentes do manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influi no seu comportamento físico, uma vez que atua diretamente na sua estrutura, causando modificações na porosidade e na densidade, que afetam a retenção de água e a resistência mecânica, entre outros efeitos. Entretanto, as medidas de correção aplicadas nestas situações são normalmente realizadas por meio de práticas de mecanização inadequada, deixando de lado a inerente dependência espacial das propriedades físicas dos solos (RAMIREZ-LOPEZ et al., 2008).

Quando quantificada a dependência espacial em uma área, esta pode ser utilizada

para a sua classificação e o levantamento de solos, assim como na interpolação entre observações, permitindo o mapeamento da propriedade do solo dentro da área, por meio da krigagem (GONÇALVES et al., 2001), identificando as áreas compactadas e, conseqüentemente, permitindo o manejo localizado deste problema (RAMIREZ-LOPEZ et al., 2008).

3.4 Nitrogênio e fotossíntese

O N é o elemento mineral mais abundante nas plantas, pois é o constituinte de aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas, clorofilas, ácidos nucléicos, nucleotídeos e outros compostos importantes no metabolismo celular. Todas essas macromoléculas são fundamentais nos organismos vivos, e, embora muitas moléculas e macromoléculas contenham N, a maior parte dele está contida em proteínas essenciais ao funcionamento da planta (MARENCO; LOPES, 2005).

Nutrientes minerais, como o N, podem influenciar no crescimento das plantas, por meio de seus efeitos no suprimento de assimilados e de substâncias de crescimento. A influência dos nutrientes na fotossíntese pode ocorrer de várias formas como, por exemplo, o uso do N na formação dos cloroplastos, na síntese protéica e na síntese de clorofila. O N é necessário para que ocorra a síntese protéica e a ativação de uma série de enzimas e, conseqüentemente, a produção de biomassa vegetal (ABREU et al., 2002).

As plantas adquirem o N do solo nas formas inorgânicas de nitrato e amônia, geradas pela fixação biológica, ou liberadas pela decomposição de matéria orgânica presente no solo. Nas plantas, a radiação fotossinteticamente ativa é captada por moléculas de clorofilas e carotenóides (TAIZ; ZIEGER, 2004).

Segundo Pereira (1989), a fotossíntese é o processo fisiológico responsável pela captura da energia solar e por sua posterior transformação bioquímica em compostos orgânicos que resultam em alimento, fibra, celulose e energia. Constitui-se de um processo complexo, pelo qual as plantas e certos tipos de bactérias sintetizam compostos orgânicos na presença da luz, constituindo-se no principal mecanismo de entrada de energia no mundo dos seres vivos (MARENCO; LOPES, 2005).

De acordo com Pons e Pearcy (1994), plantas que crescem sob vegetação densa apresentam uma concentração de N paralela à disponibilidade de radiação. Quanto maior a uniformidade de N foliar maior será a eficiência de uso de N fotossintético; logo, plantas que crescem sob vegetação menos densa apresentam maior uniformidade de N foliar. As folhas jovens, em desenvolvimento no topo do dossel, estão expostas a toda a intensidade de radiação e, conforme essas se expandem, sombreiam as folhas abaixo, as quais realocam o N para outras partes da planta. Esse comportamento pode favorecer a senescência ou a incidência de doenças foliares em plantas de vegetação fechada ou em plantios adensados.

O balanço de água e de carbono também é diferenciado nas folhas sombreadas em relação às que recebem maiores intensidades luminosas.

Para a cultura da soja, a radiação solar está relacionada com a fotossíntese, a alongação de haste principal e ramificações, a expansão foliar, o pegamento de vagens e grãos e a fixação biológica (CÂMARA, 2000). De acordo com Shibles e Weber (1965), o total de fitomassa seca produzida pela soja depende da percentagem de radiação fotossinteticamente ativa interceptada e da eficiência de utilização dessa energia pelo processo fotossintético.

Para Shibles e Weber (1966), uma maior eficiência no uso da radiação solar é importante para o rendimento da cultura da soja, principalmente durante o período de enchimento de grãos. Na cultura de milho, a produtividade depende do número de grãos polinizados e desenvolvidos e da quantidade de fotoassimilados disponíveis, principalmente no estágio R3 (grãos leitosos) e, embora, nesse período, a planta apresente considerável teor de sólidos solúveis prontamente disponíveis, objetivando a evolução do processo de formação de grãos, a fotossíntese mostra-se imprescindível (MAGALHÃES, 2006).

3.5 Avaliação de índice de clorofila

As clorofilas são os pigmentos naturais mais abundantes presentes nas plantas e ocorrem nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais (VON ELBE, 2000). Os cloroplastos são considerados o loco da fotossíntese, ou seja, onde ocorrem as duas reações importantes: a fotoquímica, nas membranas dos tilacóides, e a bioquímica, no estroma do cloroplasto.

Métodos laboratoriais utilizados para determinar a quantidade de N nas plantas requerem destruição de amostras de tecido vegetal e muito trabalho nos processos de extração e de quantificação em laboratório (SALLA et al., 2007). O desenvolvimento de medidores portáteis de clorofila, que permitem medições instantâneas do valor correspondente ao seu teor na folha sem destruí-la, constituem-se em alternativa para estimar o teor relativo desse pigmento na folha (ARGENTA et al., 2001).

Estes aparelhos possuem diodos que emitem luz na faixa do vermelho e infravermelho. Durante a mensuração, a luz passa pela folha e é recebida por um fotodiodo, onde é convertida primeiramente em sinais analógicos e depois em sinais digitais. Após a leitura, o próprio aparelho utiliza equações matemáticas que convertem os valores de absorvância em um índice que é relacionado com os teores de pigmentos fotossintéticos (SOFIATTI et al., 2009).

O índice de clorofila pode ser utilizado no manejo da aplicação suplementar de N de duas formas: conhecendo um nível crítico de índice de clorofila ou partindo do uso de um índice de suficiência do N. Para o primeiro caso, é pressuposto que para cada estágio de

desenvolvimento das culturas existe um valor mínimo de índice de clorofila, correspondente ao nível mínimo necessário para maximizar o rendimento de grãos. Leituras abaixo deste nível crítico indicariam necessidade de suplemento N através de adubação (RAMBO et al., 2004). Porém, segundo Bullock e Anderson (1998), além do teor de N na planta, outros fatores podem afetar os valores do índice de clorofila, como condições edafoclimáticas, ano, local, cultivar e outros fatores, dificultando o estabelecimento de um valor fixo de nível crítico. O segundo caso, proposto por Schepers *et al.* (1992), consiste na instalação de uma área de referência na lavoura adubada com dose não-limitante de N. A dose aplicada nesta área deve ser alta (maior que a máxima recomendada para a cultura), visando o desenvolvimento da concentração máxima de clorofila nas folhas (Murdock et al., 1997). Pela relação entre a medida do clorofilômetro nas plantas da lavoura e a medida na plantas da área de referência, é calculado um índice de suficiência de N (ISN). O adubo nitrogenado somente é aplicado quando este índice for menor do que 0,95, com o objetivo de otimizar a adubação nitrogenada em cobertura (GODOY; VILLAS BÔAS; BULL, 2003). Segundo Peltonen *et al.* (1995), nos Estados Unidos o índice de suficiência é a técnica mais utilizada.

Argenta *et al.* (2001b) testaram características das plantas de milho, como indicadores do nível de N (teor e acúmulo de N, leitura correspondente ao teor de clorofila na folha avaliada com clorofilômetro, produção de matéria seca e área foliar) e constataram que a mensuração com o clorofilômetro foi o melhor indicador do nível de N na planta dentre as características avaliadas.

A avaliação do índice de clorofila na folha com o uso de clorofilômetros tem sido usada para prever a necessidade de adubação nitrogenada em culturas de alho (FERNANDES et al., 2010), milho (RAMBO et al., 2011; HURTADO et al., 2011), feijão (MOREL FILHO et al., 2008; SILVEIRA; BRAZ; DIDONET, 2003) e pimentão (GODOY; VILLAS BÔAS; BULL, 2003) e avaliar o estado nutricional em culturas de alho (FERNANDES et al., 2011), soja (CORRÊA; ALVES, 2010) batata (SILVA; FONTES; MIRANDA, 2009; MOREIRA et al., 2011; SILVA et al., 2011) e aveia (WOLFF; FLOSS, 2008).

3.6 Agricultura de precisão

Com o início da mecanização e o aumento da produção agrícola mundial, o processo de produção agrícola passou a ser objeto de atenção e estudo de pesquisadores, na busca de uma agricultura sustentável, capaz de maximizar a produção de forma racional, com diminuição do uso irracional de insumos (GUEDES et al., 2008).

Sendo assim, passa a ser fundamental a adoção de novos métodos e técnicas de produção para o sucesso de qualquer atividade agrícola, surgindo, dentro desse contexto, a agricultura de precisão (AP) (OLIVEIRA et al., 2007; SILVA et al., 2008; CARVALHO et al.,

2009), conjunto de tecnologias capaz de auxiliar o produtor rural a identificar as estratégias a serem adotadas para aumentar a eficiência no gerenciamento da agricultura, maximizando a rentabilidade das colheitas, tornando o agronegócio mais competitivo (SILVA et al., 2010).

O conceito da AP não é novo, tendo sido praticado já no início da agricultura, quando se manejava pequenas áreas, tratando de forma individualizada cada planta ou pequenas áreas manualmente. Com o aumento do tamanho das áreas dos cultivos, esse tipo de tratamento tornou-se praticamente impossível, passando-se a trabalhar as áreas de maneira uniforme, não considerando a variabilidade (WERNER, 2004).

O foco da AP é o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores nela envolvidos, realizado por meio de tecnologias recentes adaptadas para o meio agrícola, com o objetivo de possibilitar a redução do uso de insumos e do impacto sobre o meio ambiente (CIRANI; MORAES, 2010).

Para Johann *et al.* (2004), a adoção desta tecnologia se justifica porque a maioria dos produtores agrícolas considera uniforme o solo de cada área de cultivo e cada talhão pode ter consideráveis variações em seus atributos, tais como variabilidade espacial do tipo de solo, da produtividade, da declividade e da necessidade de nutrientes. Logo, a otimização das quantidades aplicadas de corretivos, fertilizantes, herbicidas, fungicidas, inseticidas e água irrigada pode ajudar a maximizar os lucros e a proteger o meio ambiente, com a redução do uso indiscriminado e irracional de insumos. De acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada de acordo com a dimensão do seu coeficiente de variação.

Os parâmetros que influenciam a agricultura são variáveis em relação ao tempo e ao espaço. Dada a gama de fatores e parâmetros envolvidos, a agricultura de precisão requer monitoramento contínuo, espacial e temporal, da área estudada, resultando em grande volume de dados derivados de sensores ou de observações a campo, através de análises laboratoriais (JOHANN et al., 2004).

3.7 Sistemas de informação geográfica

Sistemas de informação geográfica (SIG) são ferramentas que permitem armazenar, analisar, recuperar, manipular e manejar grandes quantidades de dados espaciais, sendo aplicado nas mais diversas áreas, como: geografia, agricultura, hidrologia, geologia, geotecnia, meio ambiente, computação, economia, fotogrametria, agrimensura, planejamento urbano e regional, engenharia florestal e outros (SILVA, 2007). Molin (2001) definiu SIG como uma família de programas que permitem armazenar, manipular e mostrar espacialmente os resultados colhidos em campo. Também podem interagir com outros programas para produção de mapas e permitem analisar diversas camadas de dados referentes a um mesmo talhão.

Para Lamparelli, Rocha e Borghi (2001), ao se utilizar o SIG no contexto agrícola, os dados de variabilidade espacial de produtividade para determinada cultura podem ser analisados conjuntamente com outros dados (atributos), para a modelagem de cenários futuros e a avaliação da efetividade do manejo monitorado para cada área.

3.8 Mapas temáticos

Segundo a International Cartographic Association, a definição de mapa temático é: “Um mapa projetado para demonstrar elementos ou conceitos particulares” (DENT, 1985).

De acordo com Lopes (2007), a elaboração de um mapa temático surge a partir da necessidade de um planejador de obter respostas 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.

Em agricultura de precisão, dentre os mapas temáticos utilizados para tomada de decisão, destacam-se os mapas de produtividade e lucratividade, fertilidade do solo, infestação e doenças, tamanho de fruto e reflectância, dentre outros (SPERANZA, 2008).

Mapas temáticos podem ser gerados por processos de interpolação, como por exemplo, os dados relativos à produtividade e os atributos químicos e físicos do solo, uma vez que estes podem ser baseados em processos de amostragem, existindo assim a necessidade de se gerar uma superfície contínua (JOHANN, 2004).

3.9 Análise geoestatística e interpolação

A geoestatística está fundamentada nos conceitos básicos da estatística clássica, porém leva em consideração as coordenadas geográficas dos pontos amostrais e a dependência espacial entre as amostras. A partir da determinação de um gráfico, conhecido como semivariograma, onde se relaciona a distância entre as amostras com a respectiva função semivariância e que, segundo Matheron (1963), não pode ser representada por uma função matemática simples, ajusta-se um modelo teórico que fornece os parâmetros necessários para determinar a estrutura de variabilidade espacial e, posteriormente, a interpolação de valores em qualquer posição na área em estudo por meio da krigagem (ASSUMPÇÃO et al., 2007).

De acordo com Cavalcante *et al.* (2007), a geoestatística possibilita estudar o comportamento da variabilidade espacial, possibilitando assim a interpretação dos resultados com base na estrutura dessa variabilidade, além da quantificação do seu tamanho. A representação da variabilidade espacial é obtida por estimadores que

consideram a estrutura de dependência espacial (DRUCK, 2002).

O semivariograma é o principal instrumento da teoria das variáveis regionalizadas, pois é o responsável por quantificar a escala e a intensidade da variação espacial e fornece base para uma ótima interpolação por meio do método da krigagem (VENDRUSCULO et al., 2004). O principal estimador utilizado na construção do semivariograma experimental é o dos momentos, conhecido como semivariograma de Matheron, para processos estocásticos gaussianos (FARACO et al., 2008).

Antes da realização da análise geoestatística, é necessário realizar a análise exploratória dos dados. Esta compreende a aplicação de métodos da estatística descritiva e inferencial, com o objetivo de conhecer como os atributos estão distribuídos, o tipo de correlação existente entre atributos, verificar a existência de dados inconsistentes e erros (VALENCIA; MEIRELLES; BETTINI, 2004).

A interpolação é um procedimento de estimação do valor de um atributo em locais não-amostrados com base em pontos amostrados na mesma área ou região. Uma interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas. O raciocínio que está na base da interpolação é o de que, em média, valores do atributo tendem a ser mais semelhantes em locais mais próximos do que em locais mais afastados (MIRANDA, 2005).

De acordo com Yasrebi *et al.* (2009), a krigagem e inverso da distância elevado a uma potência são os dois métodos mais frequentemente utilizados na caracterização da variabilidade espacial e na interpolação de pontos amostrais e, segundo os mesmos, os resultados obtidos na comparação destes dois métodos indicaram a krigagem como o método de interpolação mais adequado. Coelho *et al.* (2009) recomendaram a krigagem como método de interpolação, desde que sejam coletadas amostras em muitos pontos para que um bom semivariograma seja construído.

Cressie (1993) mencionou que a eficiência da krigagem se deve por fornecer um algoritmo dos erros associados aos resultados obtidos, o que, efetivamente, é fornecido pelo método geoestatístico da krigagem, segundo um modelo contínuo de variação espacial.

As interpolações por krigagem estão fortemente associadas aos modelos de semivariogramas ajustados, que podem ser avaliados por meio da validação cruzada (ROSA FILHO, 2009). Para Faraco *et al.* (2008), o método de validação cruzada foi o mais adequado para a escolha do melhor ajuste do modelo de variabilidade espacial, resultando em mapas mais acurados, quando comparado com os métodos Jackknifing, Filliben e Akaike.

A validação cruzada, segundo Isaaks e Srivastava (1989), é uma técnica de avaliação de erros de estimativas que permite comparar os valores previstos com os amostrados. O valor da amostra, em certa localização, é temporariamente descartado do

conjunto de dados e, então, é feita uma previsão por krigagem no local, usando-se as amostras restantes. De acordo com Faraco *et al.* (2008), esse procedimento pode ser visto como um experimento no qual se imita o processo de estimação, ao supor que nunca se toma uma amostra naquela localização. Uma vez que a estimação é feita, pode-se compará-la ao valor da amostra que foi inicialmente removida do conjunto de dados amostrais. Este procedimento, método de “deixar um fora”, é repetido para todas as amostras disponíveis (FARACO et al., 2008).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do experimento

A área experimental utilizada neste estudo possui com 17,6 ha (Figura 01), localizada na zona rural do município de Serranópolis do Iguaçu – PR, com coordenadas geográficas de 25°26'50" S e 54°05'05" O, elevação média de 279 m e solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (EMBRAPA,2006).



Figura 01 Imagem da área experimental localizada em Serranópolis do Iguaçu - PR, obtida do software Google Earth (2006).

A delimitação da área foi realizada com o aparelho GPS Trimble Geo Explorer XT 2005, gerando-se o mapa através do software Pathfinder. Foi construída uma grade irregular para determinação dos pontos amostrais (Figura 02) com distância mínima entre pontos de 40 m para determinação da dependência espacial.

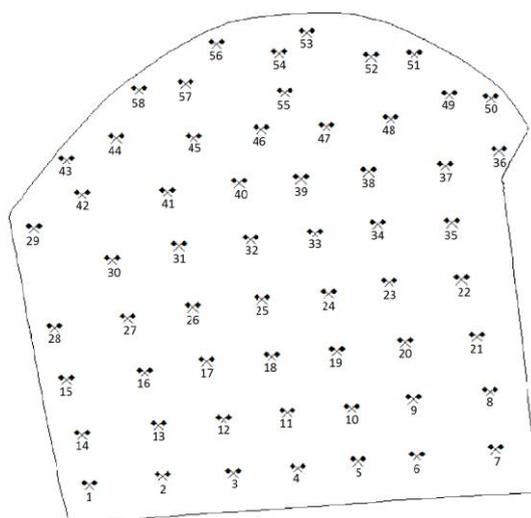


Figura 02 Grade amostral utilizada para coleta dos atributos químicos e físicos do solo, produtividade e índice de clorofila, Serranópolis do Iguaçu – PR.

O clima da região é subtropical úmido, com precipitação média anual de 127,4 mm e temperatura média anual de 20 °C. Os dados meteorológicos de precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima mensais dos períodos analisados (anos 2010, 2011 e 2012) estão apresentados na Tabela 04. Os dados foram solicitados ao SIMEPAR no mês de outubro de 2012 e abrangem todo o período de interesse.

Tabela 04 Valores médios mensais de precipitação pluvial, temperatura mínima e máxima, referentes à região de Serranópolis do Iguaçu– PR

Mês	Temperatura Min (°)			Temperatura Max (°)			Precipitação (mm)		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012
Jan	17,90	18,20	16,70	34,60	34,20	36,50	216,60	183,80	118,00
Fev	17,90	19,00	16,90	39,10	35,40	39,80	201,20	152,40	63,40
Mar	16,90	17,00	8,50	34,90	35,50	37,50	170,20	65,40	58,20
Abr	11,80	13,40	8,90	33,10	32,50	34,20	226,80	114,60	229,80
Mai	8,10	7,40	5,70	29,40	29,80	30,00	146,40	10,60	58,40
Jun	5,90	-1,50	0,20	31,60	31,30	30,20	48,40	86,60	162,00
Jul	1,00	2,00	2,40	31,40	32,60	32,70	130,00	240,60	97,80
Ago	2,50	3,60	8,00	36,10	36,00	34,00	28,20	170,80	4,00
Set	6,70	6,30	4,50	37,60	39,00	39,30	96,20	96,00	27,20
Out	9,90	12,40	-	34,40	34,80	-	282,40	187,00	-
Nov	10,80	13,00	-	35,50	34,00	-	77,80	139,00	-
Dez	7,90	13,00	-	33,50	38,40	-	246,40	70,60	-

Fonte: SIMEPAR, estação de São Miguel do Iguaçu – PR.

4.2 Culturas

A área foi cultivada com sucessão de cultura soja / milho / soja, sendo que para determinação dos índices de clorofila foram analisadas as culturas de soja (ano agrícola 2010/11 e 2011/12) e milho (ano agrícola 2011 e 2012). A cultivar utilizada para a cultura de soja foi a Syngenta NK V-Max 7059, e para o milho, o híbrido Pioneer 30k73, para todos os anos deste estudo. A formulação da adubação de N-P-K realizada em todos os anos, para a

cultura de soja foi 02-20-10, aplicando-se $5,72 \text{ t ha}^{-1}$, e para a cultura de milho, 10-15-15, aplicando-se $6,20 \text{ t ha}^{-1}$. O índice de clorofila das folhas foi avaliado em estádios vegetativos (V3, V6, R1) e reprodutivos (R1, R2, R3), utilizando medidor de clorofila portátil, desenvolvido pela Falker (Falker Clorofilog), sendo coletadas 14 amostras por ponto amostral (Figura 02) e calculada média geral dos valores indicados para cada ponto.

A colheita das amostras de grãos de soja e milho, para determinação de produtividade, foi manual, sendo que em cada ponto amostral foram colhidas duas linhas centrais de semeadura em 1 metro linear. Após a colheita, as plantas foram acondicionadas em sacos de polipropileno trançado e, posteriormente, trilhadas manualmente. Em seguida, os grãos de soja e milho foram pesados e uma amostra de cada ponto amostral de 5g foi colocada em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24h, visando posterior correção da produtividade para o grau de 12% de umidade.

4.3 Amostras químicas e físicas do solo

As análises químicas e físicas dos atributos do solo foram realizadas no segundo semestre dos anos de 2010 e 2011, após a colheita da cultura de inverno e antes da semeadura das culturas de verão. Para a análise química e física do solo, foi seguido o procedimento adaptado de Wollenhaupt *et al.* (1994), de se fazer oito subamostras localizadas aleatoriamente no solo num raio de 3 m, duas por quadrante, alocando-se a amostra de solo composta ao centro do círculo e destinadas para análise química do solo (Figura 3).

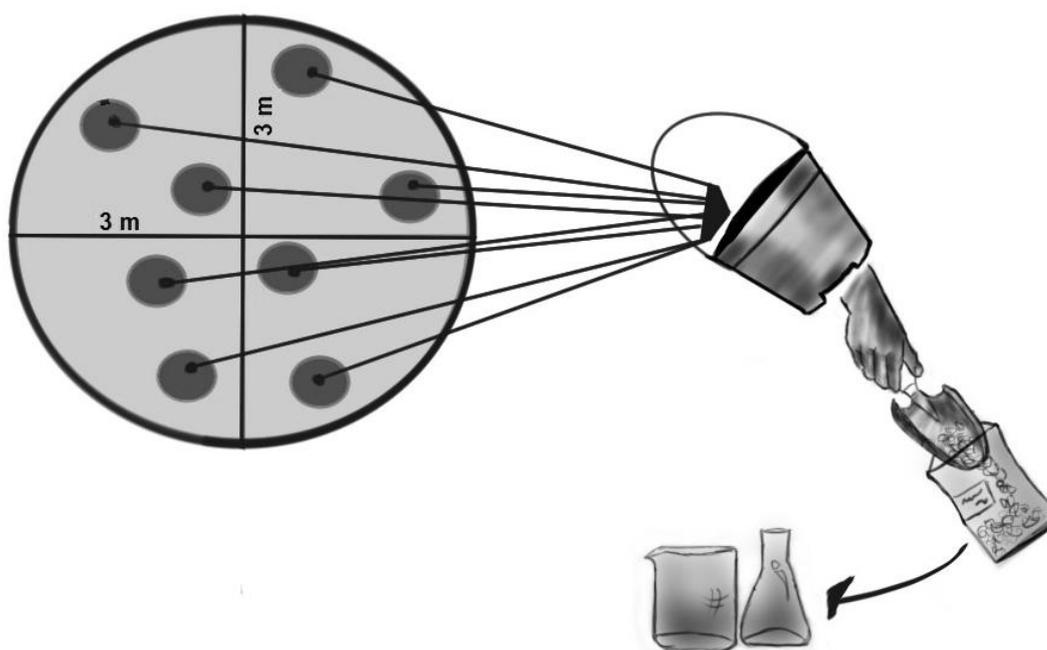


Figura 03 Procedimento realizado para coleta das amostras químicas do solo.

A resistência do solo à penetração foi avaliada utilizando-se o penetrômetro Falker PenetroLOG, realizando quatro medições por ponto, uma por quadrante, em profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm.

Ainda, para cada ponto da grade foi coletada uma amostra de solo com estrutura indeformada através de um anel de aço de bordas cortantes, visando determinar o teor de água, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Para a determinação da porosidade (porosidade total, macro e microporosidade), as amostras de solo indeformadas foram saturadas por 24 h em bandeja com água até dois terços da altura do anel. Após o período de saturação, as amostras foram drenadas no potencial equivalente a-0,006 MPa, utilizando-se mesa de tensão. Nas mesmas amostras, determinou-se a densidade aparente do solo, através do método do volume conhecido e teor de água do solo, obtido com a mesa de tensão (EMBRAPA, 1999). Na figura 4 é apresentada a linha do tempo das atividades realizadas no decorrer deste experimento.

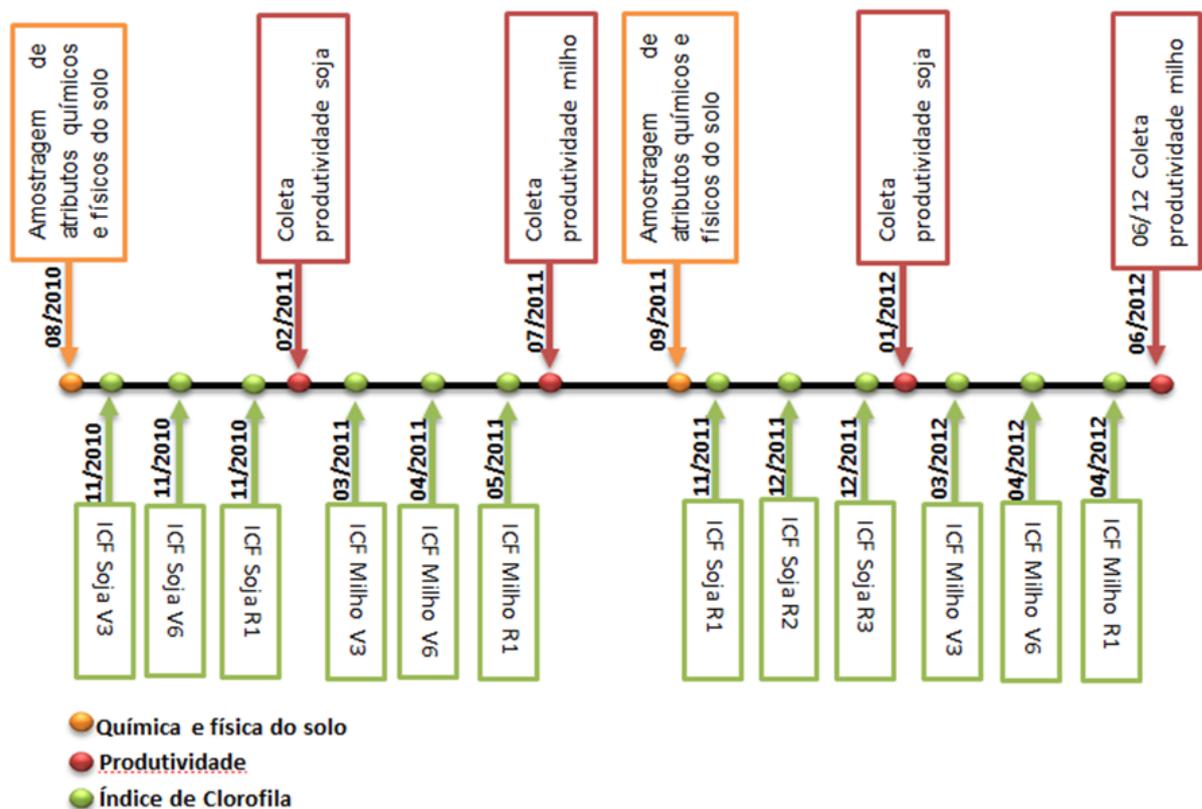


Figura 04 Linha do tempo das atividades realizadas no experimento.

4.4 Análises estatísticas e geoestatísticas

Determinados os atributos físicos e químicos do solo, índices de clorofila e produtividade, foram calculadas as medidas de posição (média, mediana e moda), medidas

de dispersão (variância, desvio-padrão, amplitude interquartis e coeficiente de variação) e medidas de forma da distribuição (coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose), visando identificar e avaliar se os dados possuem homogeneidade e normalidade. 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) (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 2002). A distribuição normal de probabilidade dos dados foi verificada utilizando os testes propostos por Anderson Darling e Kolmogorov-Smirnov, considerando com distribuição de probabilidade normal os dados que apresentaram normalidade em pelo menos um dos testes.

A seguir, os dados foram analisados por meio da geoestatística para identificar a estrutura da variabilidade espacial, utilizando-se o estimador clássico de Matheron (1963) (Equação 1), para dados com distribuição normal, e o estimador de Cressie e Hawkins (1980) (Equação 2), para dados sem distribuição normal. Um modelo teórico (esférico, exponencial ou gaussiano) foi ajustado ao semivariograma experimental pelo método de ajuste de mínimos quadrados ordinários (OLS) (CRESSIE, 1985), adotando-se o modelo isotrópico (semivariograma omnidirecional) com um *cutoff* de 50% da distância máxima (CLARK, 1979). Obtido o modelo mais adequado, foram encontradas as estimativas dos parâmetros efeito pepita (C_0), alcance (a) e patamar ($C_0 + C_1$), e calculado o grau de dependência espacial dos semivariogramas. O índice de dependência espacial foi avaliado pelo coeficiente de efeito pepita (E%), utilizado por Cambardella *et al.* (1994) (Equação 3), em que E% até 25% representa forte dependência espacial, entre 25 e 75% moderada e acima de 75% fraca dependência espacial.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2} \frac{\left[N(h)^{-1} \sum_{N(h)} \sqrt{|Z(x_i + h) - Z(x_i)|} \right]^4}{0,457 + \frac{0,494}{N(h)}} \quad \text{Eq. (2)}$$

em que,

$\hat{\gamma}(h)$ - é a semivariância estimada;

$N(h)$ - é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por um vetor de distância h ;

$Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ - são valores da i -ésima observação da variável regionalizada Z , coletados nos pontos x_i e $x_i + h$ ($i = 1, \dots, n$), separados pelo vetor de distância h .

$$E\% = \frac{C_0}{C_0 + C_1} * 100 \quad \text{Eq. (3)}$$

Os mapas temáticos foram construídos utilizando-se da krigagem ordinária, considerando os parâmetros alcançados no ajuste do melhor modelo no semivariograma.

A correlação espacial foi calculada utilizando-se a correlação cruzada entre variáveis Y e Z (BONHAM et al., 1995, Equação 4).

$$I_{YZ} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} * Y_i * Z_j}{W \sqrt{m_Y^2 * m_Z^2}} \quad \text{Eq. (4)}$$

em que,

I_{YZ} - nível de associação entre a variável Y e Z, variando de -1 a 1, sendo: correlação positiva $I_{YZ} > 0$ e correlação negativa $I_{YZ} < 0$; W_{ij} - elemento ij matriz de associação espacial, sendo calculado por $W_{ij} = (1/(1 + D_{ij}))$, sendo D_{ij} a distância entre os pontos i e j ;

Y_i - valor da variável Y transformada no ponto i . A transformação se dá para se ter uma média zero, pela fórmula: $Y_i = (Y_i - \bar{Y})$, em que \bar{Y} é a média amostral da variável Y;

Z_j - valor da variável Z transformada no ponto j . A transformação ocorre para se ter uma média zero, pela equação: $Z_j = (Z_j - \bar{Z})$, em que \bar{Z} é a média amostral da variável Z. W – soma dos graus de associação espacial, obtidos através da Matriz W_{ij} , para $i \neq j$;

m_Y^2 - variância amostral da variável Y;

m_Z^2 - variância amostral da variável Z. Após o cálculo de I_{YZ} , foi gerada a matriz de correlação espacial, a qual apresenta além do índice calculado I_{YZ} , a significância do teste (BAZZI, 2011).

Os dados de produtividade foram correlacionados aos atributos químicos (C, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, H+Al, pH), físicos (resistência do solo à penetração, densidade), atributos de textura (areia, silte e argila) e índice de clorofila, visando avaliar quais atributos foram correlacionados com a produtividade da cultura e quais se correlacionam espacialmente entre si.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise de macro e micronutrientes do solo

A Tabela 05 apresenta as análises de estatísticas descritivas para as propriedades químicas do solo, dos anos de 2010 e 2011.

Para os dois anos, o CV do atributo pH foi classificado como baixo (5,06; 5,06, Tabela 05), indicando homogeneidade dos dados, uma vez que os valores foram menores que 10%. De acordo com Souza *et al.* (2010), o pH do solo geralmente apresenta baixo CV, pois apresenta escala logarítmica, dessa maneira, grandes variações nas concentrações hidrogeniônicas na solução do solo resultam em pequenas variações no valor do pH. Todos os outros atributos analisados apresentaram médio, alto e muito alto coeficiente de variação.

Tabela 05 Estatística descritiva dos atributos químicos do solo, Serranópolis do Iguaçu – PR (2010 e 2011)

Química do solo - Ano de 2010									
Atributo	P, Cu, Zn, Fe, Mn (mg dm ⁻³)			C (g dm ⁻³)		H+Al ³⁺ , Ca, Mg, Al, K, (cmolcdm ⁻³)			
	Mín.	Média	Mediana	Máx.	DP	CV(%)	Assim.	Curt.	Normal*
C	13,36	16,67	16,70	20,78	1,86	11,15 (m)	0,17 (a)	-0,93 (B)	Sim
P	6,70	20,48	17,70	57,30	10,41	50,80 (ma)	1,18 (b)	1,75 (C)	Sim
K	0,18	0,39	0,35	1,14	0,18	46,29 (ma)	2,32 (b)	6,34 (C)	Não
Ca	4,71	6,21	6,19	8,02	0,70	11,22 (m)	0,02 (a)	-0,13 (A)	Sim
Mg	1,56	2,76	2,69	3,99	0,49	17,76 (m)	0,41 (a)	0,09 (A)	Sim
Cu	7,20	9,37	9,30	16,50	1,51	16,14 (m)	1,96 (b)	7,74 (C)	Sim
Fe	14,00	25,33	25,00	43,00	6,12	24,14 (a)	0,60 (a)	0,14 (A)	Sim
Mn	83,00	117,33	116,00	167,00	20,38	17,37 (m)	0,28 (a)	-0,67 (A)	Sim
Zn	3,10	5,59	5,20	11,70	1,91	34,23 (ma)	1,32 (b)	1,71 (C)	Não
H+Al ³⁺	2,95	3,65	3,69	4,96	0,52	14,12 (m)	0,55 (a)	-0,07 (A)	Sim
pH	4,90	5,65	5,70	6,20	0,29	5,06 (b)	-0,17 (a)	-0,01 (A)	Sim
Química do solo - Ano de 2011									
C	15,19	21,45	21,04	28,05	2,93	13,64 (m)	0,05 (a)	-0,17 (A)	Sim
P	6,90	23,36	20,50	59,10	11,87	50,81 (ma)	1,26 (b)	1,45 (A)	Não
K	0,19	0,46	0,41	1,14	0,21	45,72 (ma)	1,51 (b)	2,26 (B)	Não
Ca	5,17	7,31	7,21	9,59	0,97	13,28 (m)	0,14 (a)	-0,28 (A)	Sim
Mg	1,77	2,61	2,55	3,99	0,47	18,09 (m)	0,58 (a)	0,31 (A)	Sim
Cu	4,79	7,99	7,73	14,00	1,78	22,26 (a)	0,90 (b)	1,53 (B)	Sim
Fe	14,00	26,48	25,50	44,00	6,29	23,74 (a)	0,67 (b)	0,69 (A)	Sim
Mn	123,00	213,07	212,50	279,00	34,30	16,10 (m)	-0,13 (a)	-0,27 (A)	Sim
Zn	1,37	6,66	4,36	23,56	5,26	79,08 (ma)	1,48 (b)	1,68 (B)	Não
H+Al ³⁺	3,18	4,37	4,28	6,21	0,65	14,80 (m)	0,30 (a)	-0,25 (A)	Sim
pH	4,80	5,49	5,50	6,10	0,28	5,06 (b)	-0,06 (a)	-0,53 (A)	Sim

Min – Mínimo; Máx – Máximo; DP – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de Variação: baixo (b); médio (m); alto (a); muito alto (ma); Assim – Assimetria: Simétrica (a); Assimétrica positiva (b); Assimétrica negativa (c); Curt – Curtose: Mesocurtica (A); Platicurtica (B); Leptocurtica (C); Normal – Normalidade; * Teste de normalidade Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov.

Os atributos C, Ca, Mg, Mn, H+Al³ e pH apresentaram para ambos os anos avaliados distribuição simétrica. P, K, Cu e Zn mostraram comportamento assimétrico positivo nas duas avaliações. Para o ano de 2010, o atributo Fe apresentou distribuição simétrica e, para o ano de 2011, assimétrica negativa.

Os atributos Ca, Mg, Fe, Mn, H+Al³ e pH, nas duas avaliações, apresentaram curva de distribuição mesocúrtica. No ano de 2010, P, K, Cu, e Zn apresentaram curva de distribuição leptocúrtica, e apenas o C apresentou curva classificada como platicúrtica. No ano de 2011, C e P apresentaram curva de distribuição mesocúrtica, e K, Cu e Zn platicúrtica. A maior parte dos atributos apresentou normalidade em ambos os anos. O atributo P não apresenta normalidade em apenas uma das avaliações (2011), já K e Zn não apresentaram normalidade nas duas avaliações.

Na Tabela 06 são apresentados os níveis de interpretação dos teores dos atributos químicos do solo e a porcentagem encontrada.

De acordo com Feller e Beare (1997), a matéria orgânica atua nas propriedades do solo como fonte de energia e de nutrientes para os organismos e plantas, na capacidade de troca de cátions e no tamponamento de pH. Para o ano de 2010, o teor médio de C encontrado foi de 16,67 g dm⁻³, sendo que em 2011 houve aumento deste valor, sendo este 21,45 g dm⁻³. No ano de 2010, 2% dos valores de C encontrados foram considerados baixos, 93% médios e 5% altos. No ano de 2011, houve aumento nas concentrações de C, sendo 36% dos valores compreendidos na classe média e 64% na classe de teor alto.

O teor médio de P encontrado no solo foi de 20,48 mg dm⁻³, em 2010, e de 23,36 mg dm⁻³, em 2011, correspondendo ao aumento de 14% na concentração deste elemento. Observando os valores de referência para a cultura de soja, nos anos de 2010 e 2011, 7% dos dados analisados encontraram-se na faixa de teor alto e 93% na faixa muito alto. Para a cultura de milho, no ano de 2010, 18% dos dados dos teores de P foram classificados na faixa de teor alto e 82% na de muito alto. Em 2011, 12% dos dados foram classificados como altos e 88% como muito altos.

Bingham (1966) descreveu que plantas anuais, com deficiência de P apresentam lentidão na emergência e crescimento, folhas verde escuras, crescimento radicular prejudicado e as plantas mostram-se definhadas. Segundo Sinclair (1993), a soja necessita de quantidades relativamente altas de P, principalmente na época de fixação das vagens. O milho apresenta dois períodos de máxima absorção deste nutriente, sendo estas durante os estádios vegetativo e reprodutivo, e menores taxas de absorção no período compreendido entre o pendoamento e o início da formação da espiga (OLNESS;BENOIT, 1992).Em nenhum dos anos avaliados foi indicada deficiência deste nutriente no solo.

Tabela 06 Níveis de interpretação dos teores dos atributos químicos do solo para a cultura de soja e milho e porcentagem encontrada em cada faixa, Serranópolis do Iguçu – PR (2010 e 2011)

Teores encontrados	Atributo	M.Baixo	Baixo	Médio	Alto	M.Alto
Independente da cultura						
	C (g dm ⁻³)	< 9	9,0 - 14	14,1 - 20	21-35	> 35
2010			2%	93%	5%	
2011				36%	64%	
	Ca (cmolcdm ⁻³)	---	< 2,00	2,10 – 4,00	> 4,00	---
2010					100%	
2011					100%	
	Mg (cmolcdm ⁻³)	< 0,40	0,41 - 0,60	0,61 - 0,80	> 0,80	---
2010					100%	
2011					100%	
	Fe (mg dm ⁻³)	---	≤ 15,0	15,0 - 40,0	≥ 40,1	---
2010			2%	96%	2%	
2011			2%	95%	3%	
	Cu (mg dm ⁻³)	---	≤ 0,4	0,5 - 1,5	> 1,6	---
2010					100%	
2011					100%	
	Mn (mg dm ⁻³)	---	≤ 4,0	5,0 - 8,0	> 9,0	---
2010					100%	
2011					100%	
	Zn (mg dm ⁻³)	---	≤ 0,8	0,9 - 1,5	>1,6	---
2010					100%	
2011				3%	97%	
Cultura de Soja						
	P (mg dm ⁻³)	---	≤ 3,0	3,1 - 6,0	6,1 - 9,0	> 9,0
2010					7%	93%
2011					7%	93%
	K (cmolcdm ⁻³)	---	< 0,10	0,11 - 0,20	0,21 - 0,30	> 0,30
2010				2%	40%	58%
2011				3%	14%	83%
Cultura de Milho						
	P (mg dm ⁻³)	---	≤ 2,0	2,1 - 4,5	4,6 - 11,0	> 11,0
2010					18%	82%
2011					12%	88%
	K (cmolcdm ⁻³)	---	< 0,10	0,11 - 0,30	> 0,30	---
2010				42%	58%	
2011				17%	83%	

Fonte: Classificação dos atributos proposta por Costa e Oliveira (2001).

Depois do N, o K é o segundo elemento absorvido em maiores quantidades pelas plantas de soja e milho, sendo que, para a primeira, a cada tonelada de sementes produzidas são extraídos 20 kg ha⁻¹ de K₂O e, para o segundo, 4,3 kg ha⁻¹ (EMBRAPA 2004; BÜLL; CANTARELLA, 1993). Em relação aos teores de K, no ano de 2010, 2% dos dados analisados encontram-se na faixa de teor médio, 40% na faixa alto e 58% na faixa muito alto. No ano de 2011 houve aumento de 1% na faixa de teor médio, sendo esta de 3%; decréscimo na faixa de teor alto, de 40% para 14%, e aumento dos valores na faixa de teor muito alto, em que 83% dos dados se encontram nesta classe. Referente à cultura de milho, nos dados relativos ao ano de 2010, observou-se que 42% foram classificados como de teor alto e 58% muito alto. Para o ano de 2011, observa-se 17% dos dados classificados como alto e 83%, classificados como muito alto.

O Ca tem importante função no solo, uma vez que colabora para a formação da fertilidade, deslocando o hidrogênio da superfície das partículas, quando o calcário é adicionado para reduzir a acidez. Esta base é essencial para que os microrganismos transformem os restos de cultura em húmus, liberem os nutrientes, melhorem a estrutura e a capacidade de retenção de água dos solos (LOPES, 1984). Para os anos de 2010, a concentração média de Ca foi de $6,21 \text{ cmolcdm}^{-3}$ e, em 2011, $7,31 \text{ cmolcdm}^{-3}$, sendo que 100% dos dados analisados para os dois anos encontram-se na faixa de teor alto. Este nutriente é consumido em quantidades variadas em diferentes culturas dentro dos limites de cerca de 10 até 200 kg ha^{-1} , sendo mais exigido pelas dicotiledôneas do que pelas monocotiledôneas. É rara sua deficiência em condições de campo, exceto no caso de culturas com exigências especiais, como o tomate, maçã, amendoim, citros, dentre outros (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

O Mg participa no processo de fotossíntese das plantas, uma vez que é o elemento central da molécula de clorofila. Na maior parte dos casos, a exigência de Mg pelas culturas é relativamente modesta, da ordem de 10 a 40 kg ha^{-1} (RAIJ, 1991). Para os dois anos (2010 e 2011), 100% dos teores encontrados de Mg no solo foram classificados como altos, sendo que em 2010 o teor médio foi de $2,76 \text{ cmolcdm}^{-3}$ e, em 2011, $2,61 \text{ cmolcdm}^{-3}$.

Em relação aos teores de Cu, os valores médios encontrados foram de $9,37 \text{ mg dm}^{-3}$ em 2010 e $7,99 \text{ mg dm}^{-3}$ em 2011, classificados como altos. Tanto para 2010 quanto para 2011, 100% dos dados foram considerados altos.

Pode-se observar, em relação aos teores de Fe, que no ano de 2010, o teor médio encontrado foi de $25,33 \text{ mg dm}^{-3}$. Neste conjunto de dados, 2% encontram-se na faixa de teor baixo, 96% na faixa média e 2% na faixa alta de teor. No ano de 2011, o teor de concentração média foi de $26,48 \text{ mg dm}^{-3}$, sendo que 2% dos dados encontram-se na faixa de teor baixo, 95% foi na faixa média e 3% na faixa alta. Portanto, observa-se que praticamente não houve variabilidade temporal nos teores de Fe no solo.

O Mn é essencial na síntese de clorofila, sendo que sua principal função está relacionada à ativação de enzimas (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). A deficiência de Mn em soja é caracterizada pelo aparecimento de clorose inter-nerval em folhas novas, com teores do nutriente entre 10 e 20 mg kg^{-1} (MALAVOLTA et al., 2000). Tanto para o ano de 2010 quanto 2011, pode-se observar que 100% dos dados deste nutriente no solo foi classificada como alta, com concentrações médias de $117,33 \text{ mg dm}^{-3}$ e $213,07 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente.

Em relação aos teores de Zn, pode-se observar que no ano de 2010, 100% dos dados foram classificados com alto teor do nutriente, concentração média de $5,59 \text{ mg dm}^{-3}$. No ano de 2011, 3% dos dados foram classificados como teor médio e 97% na classe teor alto, com concentração média de $6,66 \text{ mg dm}^{-3}$. Diversos trabalhos apresentam a redução da produtividade de culturas, em decorrência da deficiência de micronutrientes (FAGERIA;

BALIGAR, 1997; LIMA et al., 2000; MAGALHÃES et al., 2002), em especial para a deficiência de zinco.

5.2 Análise das propriedades físicas do solo

Na Tabela 07 são apresentados os resultados da estatística descritiva dos atributos físicos do solo avaliados no ano de 2010 e 2011.

Tabela 07 Estatística descritiva dos atributos físicos do solo, Serranópolis do Iguaçu – PR (2010 e 2011)

Física do solo - Ano de 2010									
Atributo	Micro, Macro, Porosidade total (%)				Densidade (g cm ⁻³)			RSP (MPa)	
	Mín.	Média	Mediana	Máx.	DP	CV(%)	Assim.	Curt.	Normal*
Micro	27,53	34,83	34,76	41,17	2,96	8,50 (b)	-0,07 (a)	-0,08 (A)	Sim
Densidade	1,27	1,43	1,42	1,62	0,07	5,23 (b)	0,24 (a)	0,23 (A)	Sim
Macro	10,91	12,38	12,32	17,00	0,88	7,12 (b)	2,61 (b)	12,79 (B)	Não
Poros. Total	40,08	47,21	47,34	53,03	2,77	5,87 (b)	-0,26 (a)	0,18 (A)	Sim
Teor de água	19,27	20,49	20,46	21,61	0,51	2,49 (b)	0,08 (a)	-0,13 (A)	Sim
RSP 00-10 cm	2,26	3,97	3,88	6,17	0,92	23,20 (a)	0,63 (b)	0,01 (A)	Sim
RSP 10-20 cm	3,57	5,09	5,21	6,51	0,71	14,01 (m)	-0,10 (a)	-0,59 (A)	Sim
RSP 20-30 cm	3,45	4,74	4,75	6,09	0,64	13,43 (m)	0,25 (a)	-0,40 (A)	Sim
RSP 30-40 cm	4,28	5,64	5,69	7,49	0,68	12,07 (m)	0,51 (a)	0,54 (A)	Sim
Física do solo - Ano de 2011									
Micro	27,34	31,89	32,33	36,41	2,13	6,68 (b)	-0,30 (a)	-0,78 (A)	Sim
Densidade	1,35	1,57	1,59	1,72	0,09	5,42 (b)	-0,65 (c)	0,21 (A)	Sim
Macro	3,55	7,74	7,10	13,96	2,48	32,07(ma)	1,07 (b)	0,52 (A)	Não
Poros. Total	31,33	39,63	39,94	44,44	2,51	6,33(b)	-0,86(c)	1,32(A)	Não
Teor de água	17,79	18,90	18,84	23,41	0,79	4,16(b)	3,31 (b)	18,45 (B)	Não
Textura do Solo									
Argila (g kg ⁻¹)	44,00	53,12	53,50	68,00	5,56	10,47 (m)	0,46 (a)	-0,34 (A)	Sim
Silte (g kg ⁻¹)	20,00	32,50	33,00	41,00	4,43	13,62 (m)	-0,93 (c)	1,13 (A)	Sim
Areia (g kg ⁻¹)	9,00	14,38	14,00	23,00	3,09	21,48 (a)	0,47 (a)	-0,29 (A)	Sim
Topografia									
Altura (m)	285,82	281,63	281,51	277,56	2,07	0,74 (b)	0,06(a)	-0,84 (A)	Sim

Micro - Microporosidade, Macro – Macroporosidade; RSP – Resistência do solo a penetração; DP – Desvio Padrão; Coeficiente de Variação (C.V.): baixo (b); médio (m). alto (a). muito alto (ma); Assimetria: Simétrica (a); Assimétrica positiva (b); Assimétrica negativa (c); Curtose: Mesocurtica (A); Platicurtica (B); Leptocurtica (C); Normal – Normalidade; * Teste de normalidade Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov.

A microporosidade, densidade, macroporosidade, porosidade total e teor de água do solo, para 2010, apresentaram baixo CV. Souza *et al.* (2004), Konopatzki (2011) e Santo *et al.* (2011), em seus estudos, encontraram baixo coeficiente de variação para a densidade e a porosidade do solo. Souza *et al.* (2006), estudando a dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água, encontrou baixo CV para o teor de água, concordando com os resultados obtidos neste trabalho. Santos *et al.* (2012), em suas pesquisas sobre a variabilidade espacial de atributos físicos, encontrou baixo CV para a microporosidade, porosidade total, densidade e umidade e alto CV para a macroporosidade, concordando com os dados obtidos para o ano de 2010 e 2011 (microporosidade, densidade, porosidade total e teor de água) e 2011 (macroporosidade).

Para o ano de 2010, a resistência do solo à penetração apresentou os maiores CV, sendo classificados como alto (00-10 cm) e médio (10-20, 20-30 e 30-40 cm). Em seus

estudos, Alcântara (2010) encontrou resultados semelhantes, quando avaliado a RSP em profundidades de 10-15, 15-20 e 0-40 cm.

A microporosidade apresentou como valores médios 34,83%, no ano de 2010, e 31,89% para o ano de 2011. O valor médio encontrado por Carvalho *et al.* (2002) em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico foi de 32%, semelhante ao encontrado neste trabalho.

De acordo com Kiehl (1979), a amplitude média de variação da densidade para solos argilosos é de 1,00 a 1,25 kg dm⁻³, sendo 1,60 kg dm⁻³ o valor limite, acima do qual as raízes não podem penetrar nos solos argilosos. Neste estudo foram encontrados valores médios de densidade de 1,43 kg dm⁻³ (2010) e 1,57 kg dm⁻³ (2011), estando estes valores dentro da faixa de amplitude citada pelo autor. Souza, Marques Júnior e Pereira (2004) e Cavalcante *et al.* (2010) encontraram valores médios de 1,40 a 1,44 kg dm⁻³, semelhantes aos encontrados neste trabalho.

Para a macroporosidade foram observados valores médios de 12,38% para o ano de 2010 e 7,74% para o ano de 2011. Kiehl (1979) destacou que, para a macroporosidade, os valores ótimos encontram-se entre 20 e 30%, sendo que valores superiores são prejudiciais, pois restringem a capacidade de retenção de água do solo, e valores menores que 10% prejudicam o desenvolvimento das raízes, a infiltração de água e a aeração do solo. Para o ano de 2010, valores inferiores ao limite crítico mínimo foram encontrados e, para 2011, valores superiores ao mínimo crítico. Terra *et al.* (2011), estudando a variabilidade espacial dos atributos físicos numa área cultivada com pêssego e Konopatzki (2011), estudando a variabilidade espacial de atributos do solo, da planta e da produtividade em um pomar de peras encontraram, para a microporosidade, valores médios de 19,34 e 10,00%, respectivamente.

De acordo com Reynolds *et al.* (2002), o valor médio de 66% para a porosidade total corresponde ao valor ideal de qualidade física, e valores menores do que este são indicativos de elevada retenção de água, logo, menor capacidade de aeração do solo constituindo-se numa limitação ao crescimento de raízes. Valores inferiores a este foram encontrados neste trabalho, tanto para o ano de 2010 (40,08%) como para 2011 (31,33%). Lima, Oliveira e Quartezeni (2007), encontraram em seus estudos valores médios para porosidade total 45,32%. Lanzasova *et al.* (2007), estudando atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto, encontraram valores médios de 56% quando soja foi a cultura antecessora da amostragem e de 55%, quando milho.

Segundo Lipiec e Hatano (2003), o incremento na RSP aumenta a energia necessária para o desenvolvimento das raízes das plantas e diminuem a elongação e o crescimento radicular. De forma geral, observou-se, ao longo do perfil do solo, acréscimo dos valores de resistência do solo à penetração em função do aumento da profundidade analisada (3,97 MPa para 0-10 cm, e 5,64 MPa para 30-40 cm). Beutler *et al.* (2004), Ralisch *et al.* (2008) e Campos *et al.* (2012) também encontraram maiores valores de RSP

em maiores profundidades. De acordo com Beutler e Centurion (2003), valores críticos de resistência à penetração podem variar de 1,5 a 4,0 Mpa. Ainda, segundo Genro Júnior, Reinert e Reichert (2004), estes níveis críticos variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada. Neste trabalho encontraram-se valores de RSP superiores aos limites críticos.

Para o teor de água no solo foram observados valores médios de 20,49% (2010) e 18,90% (2011).

Foi possível observar neste trabalho a existência de variabilidade de média a alta nos teores de argila, silte e areia dentro da área experimental, confirmando as observações de Souza *et al.* (2003); Souza *et al.* (2004); Konopatzki (2011), que mesmo em áreas consideradas homogêneas, em uma única classe de solo, existe variabilidade destes atributos.

5.3 Análise da produtividade

A produtividade foi avaliada em dois anos consecutivos, correspondendo aos anos agrícolas de 2010/11 e 2011/12 para a soja e os anos de 2011 e 2012 para o milho (Tabela 08).

Tabela 08 Estatística descritiva para a produtividade das culturas de soja (2010/11 e 2011/12) e milho (2011 e 2012), Serranópolis do Iguaçu – PR

Produtividade soja 2010/11 e 2011/12									
Atributo	Mín.	Média	Mediana	Máx.	DP	CV(%)	Assim.	Curt.	Normal*
Soja (t ha ⁻¹)	1,44	2,25	2,27	3,20	0,33	14,46 (m)	0,31(a)	1,20(A)	Sim
Soja (t ha ⁻¹)	1,00	1,44	1,43	2,12	0,26	18,26 (m)	0,66(b)	0,44(A)	Não
Produtividade milho 2011 e 2012									
Milho (t ha ⁻¹)	2,91	4,44	4,20	6,97	0,92	20,69 (a)	0,77(b)	0,60(A)	Sim
Milho (t ha ⁻¹)	3,40	4,26	4,26	5,29	0,46	10,74 (m)	0,13(a)	-0,47(A)	Sim

DP – Desvio Padrão; Coeficiente de Variação (C.V.): baixo (b); médio (m). alto (a). muito alto (ma); Assimetria: Simétrica (a); Assimétrica positiva (b); Assimétrica negativa (c); Curtose: Mesocúrtica (A); Platicúrtica (B); Leptocúrtica (C); Normal – Normalidade; * Teste de normalidade Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov.

A média da produtividade da cultura de soja do ano agrícola de 2010/11 foi de 2,25 t ha⁻¹, inferior à média nacional (3,11 t ha⁻¹) e à estadual (3,36 t ha⁻¹). No ano de agrícola 2011/12 obteve-se média de 1,44 t ha⁻¹, valor este também inferior à média nacional (2,66 t ha⁻¹) e à estadual (2,46 t ha⁻¹). Para a cultura de milho, obteve-se no ano de 2011 produtividade média de 4,44 t ha⁻¹, sendo esta superior à média nacional (3,64 t ha⁻¹) e à estadual (3,61 t ha⁻¹). Para o ano de 2012, a média de produtividade foi de 4,26 t ha⁻¹, sendo este valor inferior à média nacional (5,09 t ha⁻¹) e à estadual (5,19 t ha⁻¹) (CONAB, 2012).

A cultura de soja apresentou CV médios (14,46 e 18,26%) para os dois anos agrícolas, assim como o milho no ano de 2012 (10,74%). Para o ano de 2011, o CV do milho apresentou-se alto (20,69%). Em todos os períodos avaliados, nenhuma das culturas apresentou heterogeneidade dos dados, uma vez que foram encontrados CV < 30%.

Os períodos avaliados apresentaram distribuição simétrica com curva de

distribuição platicúrtica para a produtividade da cultura de soja 2010/11 e milho 2012 e distribuição assimétrica positiva com curva de distribuição platicúrtica para a cultura de soja 2011/12 e milho 2011. Apenas os dados de produtividade da cultura de soja do ano agrícola de 2011/12 não apresentaram normalidade dos dados. A baixa produtividade do ano de 2011/12 deu-se, possivelmente, pelo fato das condições climáticas adversas caracterizadas por estiagens prolongadas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) causadas pelo fenômeno “La Niña”, que ocorreu no período de desenvolvimento da cultura (CONAB, 2012).

Rosa Filho *et al.* (2009), estudando a variabilidade da produtividade de soja, também encontrou médio CV, concordando com os encontrados neste trabalho. Amado *et al.* (2007), avaliando a variabilidade da produtividade de culturas sob plantio direto, encontrou médio CV (Safrá 2001) e alto CV (2004/2005) para a cultura de milho, concordando com os valores resultados obtidos neste experimento.

5.4 Análise do índice de clorofila

Na Tabela 09 é apresentada a estatística descritiva para o índice de clorofila em estádios fenológicos da cultura de soja, avaliados no ano de 2010 (estádios V3, V6 e R1) e 2011 (estádios R1, R2 e R3) e cultura de milho, avaliados no ano de 2011 (estádios V3, V6 e R1) e 2012 (estádios V3, V6 e R1).

Tabela 09 Estatística descritiva dos índices de clorofila em estádios fenológicos da cultura de soja (2010/11 e 2011/12) e milho (2011 e 2012), Serranópolis do Iguazu – PR

Índice de clorofila na folha de soja 2010/11									
Estádio	Mín.	Média	Mediana	Máx.	DP	CV(%)	Assim.	Curt.	Normal*
V3	32,57	34,89	34,76	38,92	1,22	3,50 (b)	0,88(b)	1,51(A)	Sim
V6	34,03	38,39	38,37	40,91	1,50	3,92 (b)	-0,49(a)	0,46(A)	Sim
R1	40,20	43,72	43,53	48,27	1,82	4,17 (b)	0,44(a)	-0,30(A)	Sim
Índice de clorofila na folha de soja 2011/12									
R1	32,60	40,61	41,05	45,90	2,82	6,94 (b)	-0,73(c)	0,55(A)	Não
R2	38,20	44,82	44,90	51,40	3,12	6,95 (b)	-0,08(a)	-0,39(A)	Sim
R3	38,10	44,39	44,40	51,40	3,18	7,16 (b)	-0,17(a)	-0,70(A)	Sim
Índice de clorofila na folha do milho 2011									
V3	34,00	38,38	38,40	40,90	1,56	4,06 (b)	-0,39(a)	0,14(A)	Sim
V6	43,90	47,46	47,30	51,90	1,82	3,83 (b)	0,45(a)	-0,15(A)	Sim
R1	55,40	61,69	60,70	72,30	3,80	6,16 (b)	0,88(b)	0,47(A)	Não
Índice de clorofila na folha do milho 2012									
V3	51,10	57,28	57,00	69,40	2,42	4,23 (b)	1,98(b)	10,36(B)	Sim
V6	51,90	63,38	63,70	72,60	3,60	5,67 (b)	-0,27(a)	1,43(A)	Sim
R1	55,50	63,51	63,40	70,40	3,81	5,99 (b)	-0,05(a)	-1,02(C)	Sim

DP – Desvio Padrão; Coeficiente de Variação (C.V.): baixo (b); médio (m). alto (a). muito alto (ma); Assimetria: Simétrica (a); Assimétrica positiva (b); Assimétrica negativa (c); Curtose: Mesocurtica (A); Platicurtica (B); Leptocurtica (C); Normal – Normalidade; * Teste de normalidade Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov.

Para ambas as culturas, em todos os estádios fenológicos analisados e nos anos estudados, o CV do índice de clorofila foi classificado como baixo (CV < 10%), indicando homogeneidade dos dados. Hurtado *et al.* (2009), estudando a variação espacial da

resposta do milho à adubação nitrogenada, encontraram baixo CV para o índice de clorofila em todos os estádios fenológicos avaliados e distribuição simétrica para a maioria dos dados. Gholizadeh *et al.* (2009) também encontraram baixos coeficientes de variação para o índice de clorofila em diferentes estádios vegetativos da cultura de arroz. Para a cultura de soja, os estádios V3 (2010/11) e R1 (2011/12) apresentaram distribuição assimétrica positiva e assimétrica negativa, respectivamente. Os restantes dos dados mostraram comportamento simétrico.

Para a cultura de milho, o índice de clorofila nos estádios R1 (2011) e V3 (2011) apresentaram distribuição assimétrica positiva. Todos os outros estádios avaliados apresentaram comportamento simétrico. Com exceção dos estádios V3 e R1 da cultura de milho do ano de 2012 (que apresentaram distribuição platicúrtica e leptocúrtica), todos os estádios estudados das culturas de soja e milho apresentaram distribuição platicúrtica. Apenas nos estádios R1 da soja (2011/12) e milho R1 (2011) os índices de clorofila não apresentaram normalidade dos dados. Garcia *et al.* (2009), em estudos com capim braquiária, encontraram distribuição simétrica para os dados de índice de clorofila.

Na Figura 05 são apresentados os gráficos com os valores médios de índice de clorofila encontrados em cada estágio fenológico da cultura de soja (Figura 4a e 04b) e milho (Figura 05c e 05d).

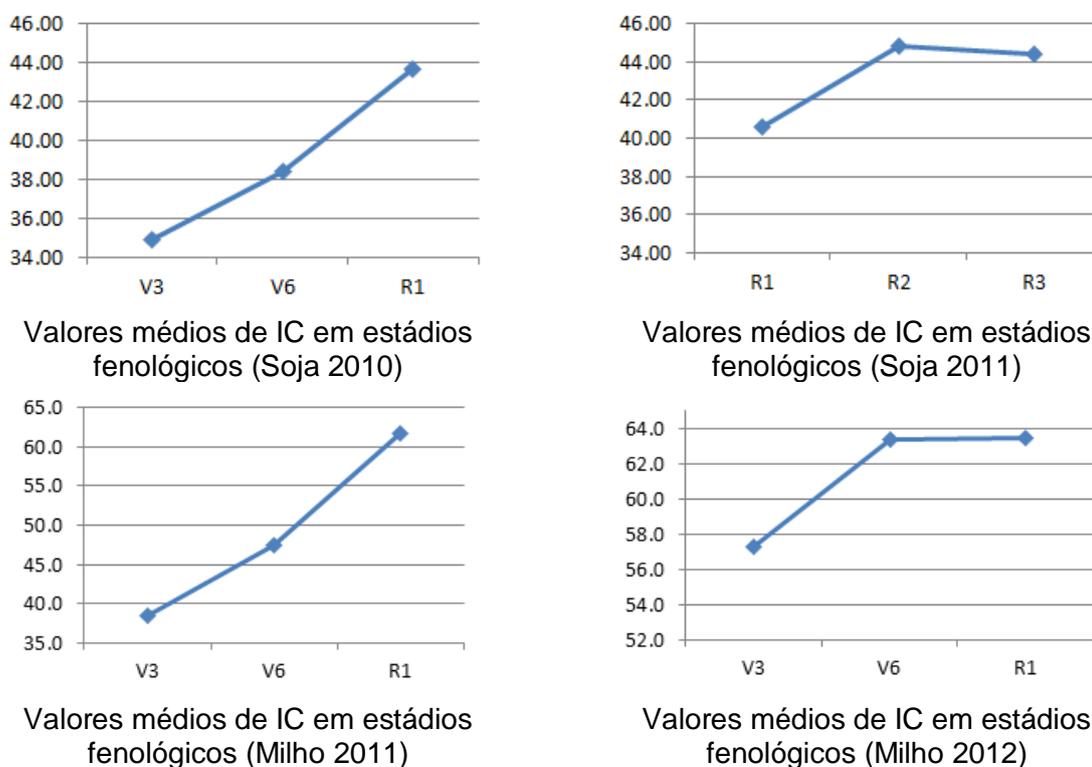


Figura 05 Gráficos das médias dos índices de clorofila em estádios fenológicos para as culturas de soja e milho.

Observa-se, para o ano de 2010, que os índices de clorofila para a cultura de soja (Figura 5a) aumentou diretamente com o estágio fenológico da cultura. Ainda para soja, no ano de 2011 (Figura 5b) é possível perceber incremento nos valores de IC do estágio R1 para o R2, e a redução destes valores quando observado o progresso da cultura do estágio R2 para o R3. Para a cultura do milho do ano de 2011 (Figura 5c), observa-se comportamento semelhante ao da cultura de soja, em que os valores de IC aumentam enquanto a cultura se desenvolve. O mesmo não se observa para a cultura de milho do ano de 2012 (Figura 5d), em que existe incremento dos valores do estágio V3 para o V6, e a estabilidade destes valores quando observado do estágio V6 para o R1.

5.5 Análise geoestatística

Os modelos ajustados para os semivariogramas (Tabela 10) para os atributos químicos do solo dos anos de 2010 e 2011 foram o exponencial (11 ocorrências), o gaussiano (três ocorrências) e o esférico (oito ocorrências).

Tabela 10 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os atributos químicos do solo, Serranópolis do Iguazu – PR (2010 e 2011)

Atributo	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	C ₁	a(m)	IDE (%)
Atributos químicos do solo 2010						
C (g dm ⁻³)	Gaussiano	2,130	3,366	1,236	77	37 Mo
P (g dm ⁻³)	Exponencial	63,711	123,313	59,602	409	48 Mo
K (cmolcdm ⁻³)	Esférico	0,009	0,020	0,011	409	55 Mo
Ca (cmolcdm ⁻³)	Exponencial	0,285	0,614	0,329	477	54 Mo
Mg (cmolcdm ⁻³)	Esférico	0,079	0,191	0,112	247	66 Mo
Cu (mg dm ⁻³)	Exponencial	1,129	1,944	0,815	182	42 Mo
Fe (mg dm ⁻³)	Gaussiano	34,740	39,360	4,623	409	12 Fo
Mn (mg dm ⁻³)	Gaussiano	317,900	434,940	117,040	200	27 Mo
Zn (mg dm ⁻³)	Exponencial	1,129	1,881	0,752	137	40Mo
H+Al ³	Exponencial	0,218	0,252	0,034	409	13 Fo
pH	Exponencial	0,052	0,086	0,034	409	39 Mo
Atributos químicos do solo 2011						
C (g dm ⁻³)	Esférico	8,659	9,712	1,053	391	11 Fo
P (g dm ⁻³)	Exponencial	140,070	148,516	8,446	109	6 Fo
K (cmolcdm ⁻³)	Esférico	0,028	0,048	0,020	380	45 Mo
Ca (cmolcdm ⁻³)	Exponencial	0,733	1,0600	0,327	243	31 Mo
Mg (cmolcdm ⁻³)	Exponencial	0,136	0,227	0,091	409	40 Mo
Cu (mg dm ⁻³)	Esférico	1,857	2,708	0,851	194	31 Mo
Fe (mg dm ⁻³)	Esférico	23,570	43,773	20,203	328	46 Mo
Mn (mg dm ⁻³)	Esférico	1089,500	1228,710	139,210	136	11 Fo
Zn (mg dm ⁻³)	Exponencial	18,901	30,778	11,887	409	39 Mo
H+Al ³	Esférico	0,317	0,523	0,206	267	39Mo
pH	Exponencial	0,063	0,083	0,020	259	24 Fo

C0 = Efeito Pepita; C1= Sill; C0+C1= Patamar; a = Alcance; IDE – Índice de dependência espacial: fraca (Fr), moderada (Mo) e forte (Fo)

O alcance indica o limite da dependência espacial do atributo analisado, ou seja, determinações realizadas a distâncias maiores que o alcance têm distribuição espacial aleatória e, por isso, são independentes entre si, podendo ser aplicada a estatística clássica.

Por outro lado, determinações realizadas em distâncias menores que o alcance são correlacionadas umas às outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores que os amostrados (SILVA et al., 2003). No ano de 2010, o maior alcance foi observado para o atributo Ca (477 m) e o menor para o Mn (200 m). Para o ano de 2011, o maior alcance foi observado para o atributo Ca (477 m) e o menor alcance para o atributo C (77 m).

Para 2010 e 2011, os atributos químicos do solo apresentaram, em sua maioria, moderada dependência espacial. Como exceção, dos atributos químicos Fe e $H+Al^3$ (2010) e C, P Mn e pH (2011), que apresentaram forte dependência, todos os atributos analisados apresentaram moderada dependência espacial. Machado *et al.* (2007), estudando a variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional, também encontraram dependência espacial moderada para os atributos Ca e $H+Al^3$ e forte para os atributos C e pH.

Silva e Chaves (2006) encontraram resultados semelhantes quando avaliaram a variabilidade espacial de atributos químicos de um solo do perímetro irrigado de Petrolina. Motomiya *et al.* (2011), estudando a variabilidade espacial de atributos químicos do solo e a produtividade do algodoeiro, encontraram forte dependência espacial para o atributo P, concordando com os obtidos neste experimento no ano de 2011.

Os modelos gaussiano e exponencial são encontrados com frequência em pesquisas relacionadas a atributos do solo (MACHADO et al., 2007; MELO et al., 2006; ZANÃO JÚNIOR; LANA; GUIMARÃES, 2007; CRUZ et al., 2010; CARVALHO, et al., 2011). Para o ano de 2010, o modelo gaussiano foi o que melhor se ajustou para os dados de C, Fe, Mn, o modelo exponencial para P, Ca, Cu, Zn, $H+Al^3$ e pH e apenas o K e o Mg obtiveram melhor ajuste com o modelo esférico.

Para o ano de 2011, o modelo exponencial melhor se ajustou para os dados de P, Ca, Mg, Zn e pH. Os dados de C, K, Cu, Fe, Mn e $H+Al^3$ melhor se ajustaram ao modelo esférico. Os modelos ajustados para os semivariogramas dos atributos físicos do solo para o ano de 2010 e 2011 (Tabela 11) foram o exponencial (11 ocorrências) e o esférico (seis ocorrências).

Tabela 11 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os atributos microporosidade, densidade do solo, macroporosidade, porosidade total, teor de água, argila, silte e areia das amostras coletadas em profundidades de 0-20 cm e resistência do solo à penetração em profundidades de 00-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, Serranópolis do Iguaçu – PR (2010 e 2011)

Atributo	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	C ₁	a(m)	IDE (%)
Atributos físicos do solo 2010						
Micro (%)	Exponencial	5,261	9,996	4,735	186	47 Mo
Densidade (g cm ⁻³)	Exponencial	0,004	0,007	0,003	388	43 Mo
Macro (%)	Exponencial	0,580	0,657	0,077	291	12 Fo
Poros. Total (%)	Esférico	1,571	7,934	6,363	55	80 Fr
Teor de água (%)	Esférico	0,169	0,2690	0,100	129	37 Mo
RSP 00-10 cm	Exponencial	0.528	0,785	0.257	101	33 Mo
RSP 10-20 cm	Exponencial	0.376	0.5070	0.131	194	26 Mo
RSP 20-30 cm	Exponencial	0.255	0.428	0.173	125	40 Mo
RSP 30-40 cm	Exponencial	0.247	0,467	0.220	170	47 Mo
Atributos físicos do solo 2011						
Micro (%)	Exponencial	2.847	4,507	1.660	210	37 Mo
Densidade (g cm ⁻³)	Esférico	0,005	0,006	0,002	498	29 Mo
Macro (%)	Esférico	5,236	6,531	1,295	409	20 Fo
Poros. Total (%)	Exponencial	5,027	7,154	2,127	348	30 Mo
Teor de água (%)	Esférico	0.152	0,593	0.441	138	74 Mo
Textura do Solo						
Argila (g kg ⁻¹)	Exponencial	16.585	29,853	13.268	248	44 Mo
Silte (g kg ⁻¹)	Exponencial	12,047	22,017	9,970	162	45 Mo
Areia (g kg ⁻¹)	Esférico	0.695	10.339	9,644	328	93 Fr
Topografia						
Altitude (m)	Gaussiano	0,138	4,371	4,233	273	97 Fr

C0 = Efeito Pepita; C1= Sill; C0+C1= Patamar; a = Alcance; IDE – Índice de dependência espacial: fraca (Fr), moderada (Mo) e forte (Fo); RSP – Resistência do solo a penetração; Macro = Macroporosidade; Micro = Microporosidade.

O atributo físico do solo macroporosidade apresentou forte dependência espacial para os dois anos de estudo. A porosidade total (2010), o teor de areia do solo e a altitude apresentaram fraca dependência espacial. Os demais atributos apresentaram moderada dependência espacial nos dois anos analisados. Souza *et al.* (2006) encontrou moderada e forte dependência espacial quando estudaram a resistência do solo à penetração e o teor de água em diversas profundidades, concordando com os resultados obtidos neste trabalho. Vieira, Mello e Lima (2006), estudando a variabilidade espacial de atributos físicos do solo, encontraram moderada dependência espacial para os atributos texturais do solo argila e silte, concordando com os resultados obtidos neste trabalho.

Para Bertolani e Vieira (2001), os atributos do solo, após as sucessivas alterações provocadas por atividades agrícolas, são bastante diferenciados ao longo da paisagem. Portanto, a variabilidade espacial da textura do solo não é apenas atribuída aos processos de formação do solo, como também aos sistemas de preparo do solo, uma vez que estes provocam perdas de solos na camada superficial.

Os atributos de resistência do solo à penetração apresentaram alcance de 101, 194, 125 e 170 m nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm, respectivamente. Na profundidade de 10 a 20 cm, a resistência do solo à penetração mostrou o maior alcance (194 m). Com relação à textura do solo e à altitude, os alcances

encontrados foram de 248 m para a argila, 162 m para o silte, 328 m para a areia e 273 m para a altitude.

Os resultados da análise geoestatística para produtividade da cultura de soja do ano agrícola 2010/11 e 2011/12 e milho, ano 2011 e 2012 (Tabela 12) mostram que todos os dados apresentaram dependência espacial.

Tabela 12 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para a produtividade das culturas de soja (2010/11 e 2011/12) e milho (2011 e 2012), Serranópolis do Iguaçu – PR

Cultura	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	C ₁	a(m)	IDE (%)
Produtividade 2010/11 e 2011/12						
Soja (t ha ⁻¹)	Esférico	0,096	0,112	0,016	88	14 Fo
Soja (t ha ⁻¹)	Esférico	0.043	0.073	0.030	117	41Mo
Produtividade 2011e 2012						
Milho (t ha ⁻¹)	Esférico	0.506	0,829	0.323	194	39Mo
Milho (t ha ⁻¹)	Esférico	0,134	0,234	0,100	194	43 Mo

C0 = Efeito Pepita; C1= Sill; C0+C1= Patamar; a = Alcance; IDE – Índice de dependência espacial: fraca (Fr), moderada (Mo) e forte (Fo)

A produtividade da soja apresentou forte dependência espacial para o ano agrícola de 2010/11 e moderada para o ano agrícola de 2011/12, tendo o modelo esférico como melhor ajuste para ambos os dados. Pontelli (2006), estudando a variabilidade espacial das características do solo e da produtividade das culturas, encontrou moderada dependência espacial para a cultura de soja (2001, 2003 e 2004) e modelo esférico como melhor ajuste. A produtividade da cultura do milho (2011 e 2012) apresentou moderada dependência espacial para os anos avaliados e modelo esférico como melhor ajuste dos dados. Silva *et al.* (2003), avaliando a variabilidade espacial da produtividade de milho, encontrou moderada dependência espacial, concordando com os obtidos neste experimento.

Os modelos ajustados para os semivariogramas dos índices de clorofila das culturas de soja (2010/11 e 2011/12) e milho (2011 e 2012) (Tabela 13) foram o exponencial (três ocorrências), o gaussiano (cinco ocorrências) e o esférico (quatro ocorrências).

Tabela 13 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para o índice de clorofila em estádios fenológicos da cultura de soja (2010 e 2011) e milho (2011 e 2012), Serranópolis do Iguaçu – PR

Estádio	Modelo	C ₀	C ₀ +C ₁	C ₁	a(m)	IDE (%)
Índice de clorofila na folha de soja 2010						
V3	Exponencial	0.819	1.414	0.595	170	42Mo
V6	Gaussiano	0.813	2.304	1.491	251	65Mo
R1	Gaussiano	2,929	3,661	0,732	150	20 Fo
Índice de clorofila na folha soja 2011						
R1	Gaussiano	4.472	7,826	3.354	73	43Mo
R2	Esférico	5,705	10,885	5,180	109	48 Mo
R3	Exponencial	8,431	10,356	1,925	57	19 Fo
Índice de clorofila na folha do milho 2011						
V3	Esférico	1.357	2.055	0.698	271	34Mo
V6	Gaussiano	1,032	3,801	2,769	73	73 Mo
R1	Exponencial	6.544	14.095	7.551	287	54Mo
Índice de clorofila na folha do milho 2012						
V3	Gaussiano	2,466	6,166	3,700	53	60 Mo
V6	Esférico	7,556	13,979	6,423	97	46 Mo
R1	Esférico	5.957	14,893	8.936	275	60Mo

C₀ = Efeito Pepita; C₁= Sill; C₀+C₁= Patamar; a = Alcance; IDE – Índice de dependência espacial: fraca (Fr), moderada (Mo) e forte (Fo)

Para 2010 e 2011, os índices de clorofila apresentaram, em sua maioria, moderada dependência espacial. Como exceção tem-se o estádio R1 para soja 2010 e o R3 para soja de 2011, os quais apresentaram forte dependência espacial. Hurtado *et al.* (2009), estudando a variação espacial da resposta do milho à adubação nitrogenada, encontraram modelo gaussiano e esférico como melhor ajuste dos dados e moderada dependência espacial para a maioria destes dados. Ruas *et al.* (2005), em pesquisas com a cultura de café, encontraram moderada dependência espacial (69%) para o índice de clorofila e modelo exponencial como melhor ajuste dos dados. Gholizadeh *et al.* (2009), avaliando o índice de clorofila em função do crescimento do arroz, encontrou modelo exponencial e esférico para as fases analisadas e fraca dependência espacial.

5.6 Mapas temáticos

Para os atributos químicos e físicos do solo, o índice de clorofila e a produtividade das culturas de soja e milho foram gerados os mapas temáticos, com objetivo de representar a distribuição espacial dos dados. Ressalte-se que a amplitude dos dados após a interpolação por krigagem é menor que a dos dados originais, uma vez que este interpolador suaviza a distribuição, ou seja, aumenta os valores mínimos e diminui os máximos (KONOPATZKI, 2011). Este fato pode ser visualizado comparando-se os limites de cada mapa temático (Figuras 6 a 29) com os apresentados na análise descritiva (Tabelas 5, 7, 8 e 9).

Os mapas temáticos dos atributos texturais do solo (Figura 6) mostram que o maior conteúdo de argila (Figura 6a) está localizado na metade inferior da área experimental

(região sul), com variação na faixa de 53,5 a 57,5 g kg^{-1} , enquanto os maiores conteúdos de areia (Figura 6c) estão presentes na parte superior da área (norte), variando na faixa de 17,0 a 22,0 g kg^{-1} . Para o silte (Figura 6b), observa-se predominância dos valores na faixa de 30,4 e 33,2 g kg^{-1} . A noroeste, observa-se uma pequena área com variações dentro da faixa de 32,2 e 36,0 g kg^{-1} , sendo estes os maiores valores encontrados no mapa.

Quanto ao mapa temático da altitude do terreno (Figura 6d), pode se perceber os maiores valores localizados na região sudoeste, decrescendo conforme se direciona a sentido noroeste. Sanchez *et al.* (2009) ressaltaram que locais da paisagem sob a mesma classe de solo e manejo, influenciados por diferentes formas de paisagem e declives, possuem padrões de variabilidade espacial dos atributos do solo diferenciados.

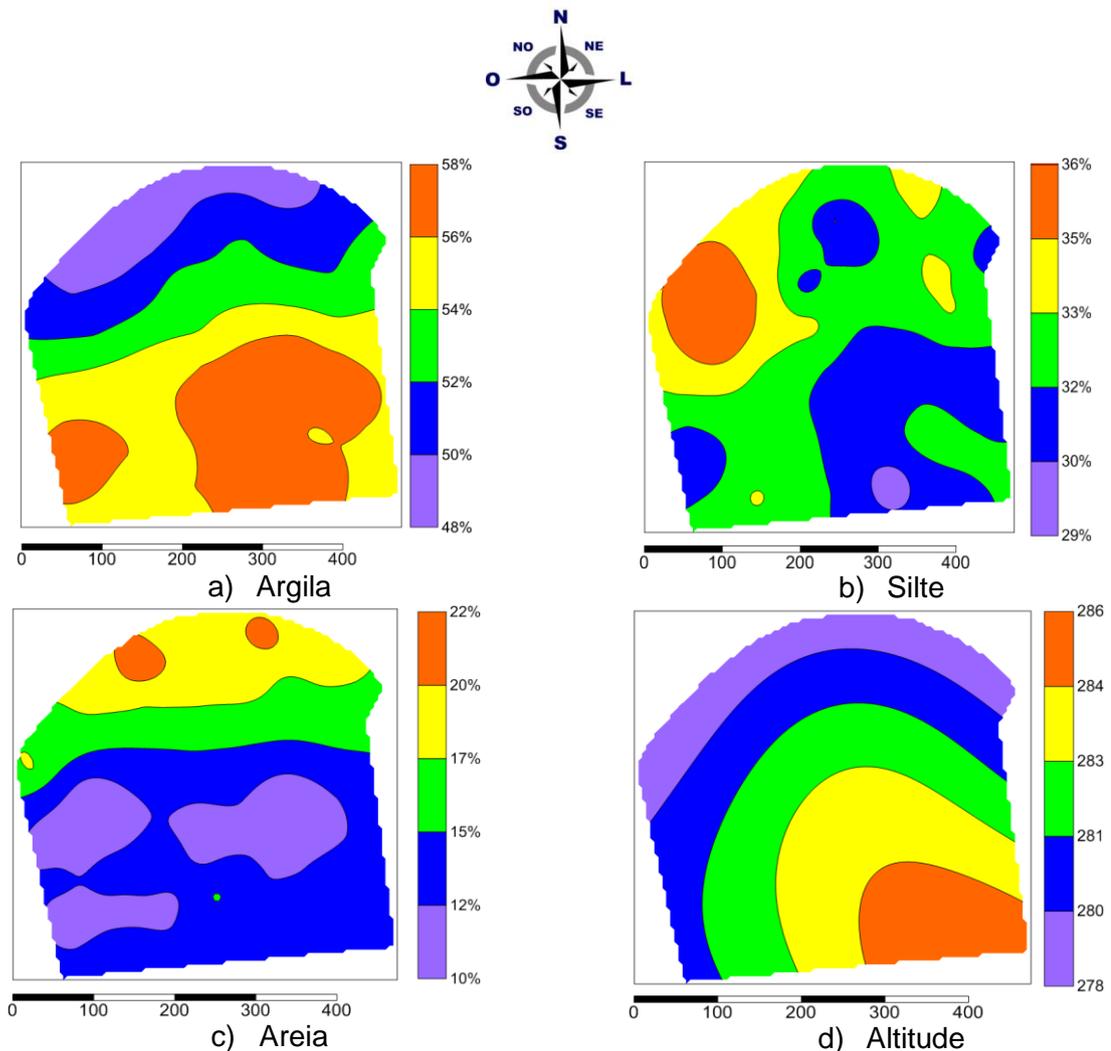


Figura 06 Distribuição espacial dos atributos texturais (g kg^{-1}) argila (a), silte (b), areia do solo(c) e altitude (m) da área experimental, Serranópolis do Iguaçu – PR

O atributo $H+Al^3$ no ano de 2010 (Figura 7a) apresentou variação na faixa de 3,65 a 3,76 na maior parte da área experimental, sendo estes os maiores valores encontrados no

mapa. A sul, observa-se a concentração dos menores valores, compreendidos entre 3,49 e 3,60. Para o ano de 2011 (Figura 7b), na região central e leste, observa-se a concentração dos maiores valores, compreendidos entre 4,50 e 4,90. Na região sul e leste e norte concentram-se os valores na faixa de 3,90 e 4,30, sendo estes os menores valores encontrados no mapa. Observando os dois mapas, nota-se a tendência dos menores teores de $H+Al^3$ estarem dispostos na região sul da área experimental, sendo esta a região mais alta da área experimental. O mapa de diferença percentual deste atributo dos anos de 2011 e 2010 (Figura 7c) mostra que, em toda a área experimental, os valores do atributo $H+Al^3$ de 2011 foram maiores que no ano de 2010, especialmente na região central.

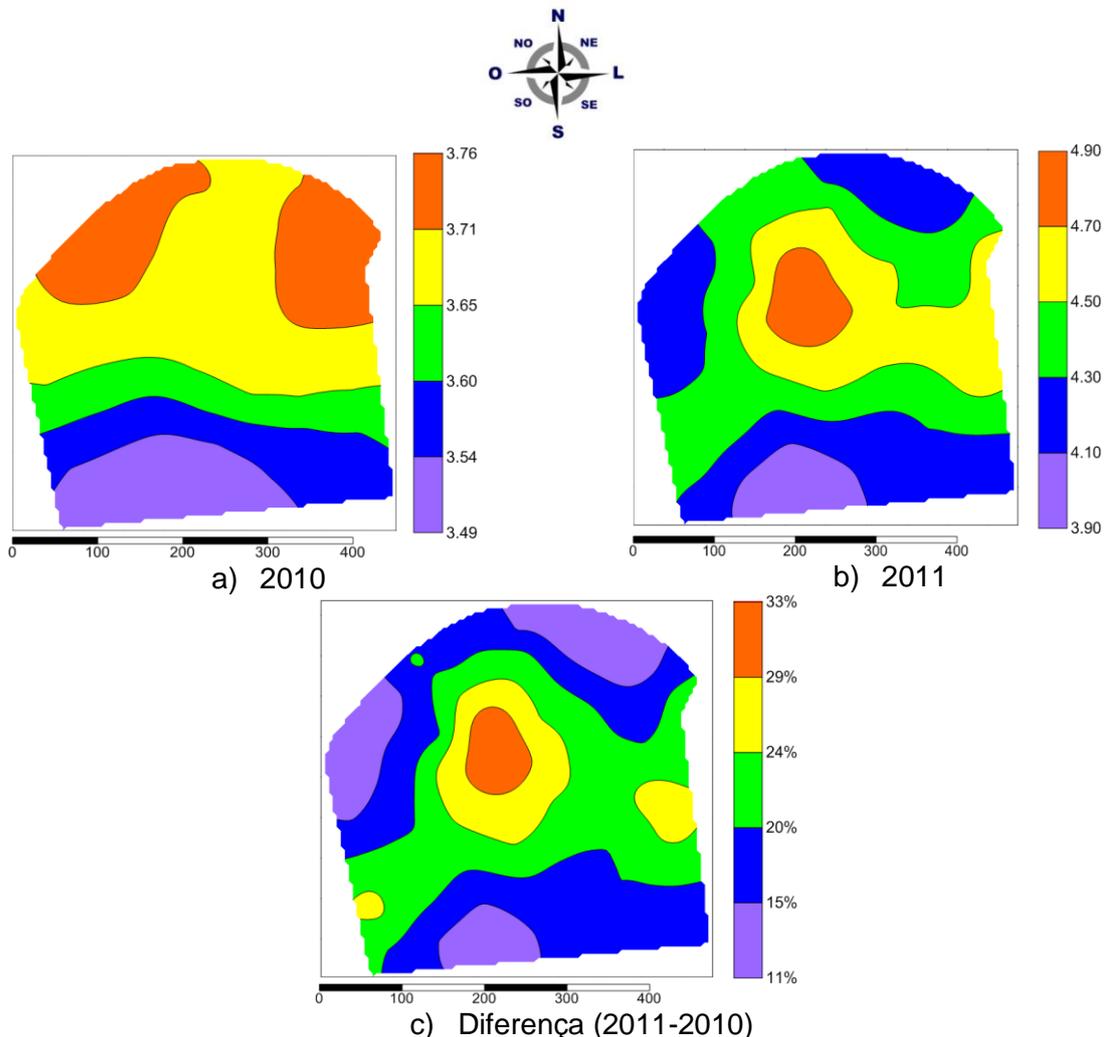


Figura 07 Distribuição espacial do atributo químico $H+Al^3$ em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

O atributo pH no ano de 2010 (Figura 8a) apresentou a em toda a região norte da área experimental norte, variação na faixa de 5,52 a 5,65 na maior parte da área experimental, sendo estes os menores valores encontrados no mapa. A sul observa-se a

concentração dos maiores valores, compreendidos entre 5,71 e 5,84. Para o ano de 2011 (Figura 8b), na porção sul do mapa, observa-se a concentração dos maiores valores, compreendidos entre 5,52 e 5,61. Na região central concentram-se os valores na faixa de 5,39 e 5,48 sendo estes os menores valores encontrados no mapa. Observando os dois mapas, nota-se a tendência dos maiores valores estarem concentrados na porção sul da área e na porção central norte a disposição dos menores valores, sendo estas as regiões mais altas e baixas, respectivamente. Observando o mapa do atributo químico $H+Al^3$ para os anos de 2010 e 2011, observa-se certo padrão nos mapas nas regiões de concentração dos maiores e menores valores. O mapa da diferença percentual deste atributo dos anos de 2011 e 2010 (Figura 8c) mostra que em toda a área experimental os valores do atributo pH de 2010 foram maiores que no ano de 2011, especialmente na região sul.

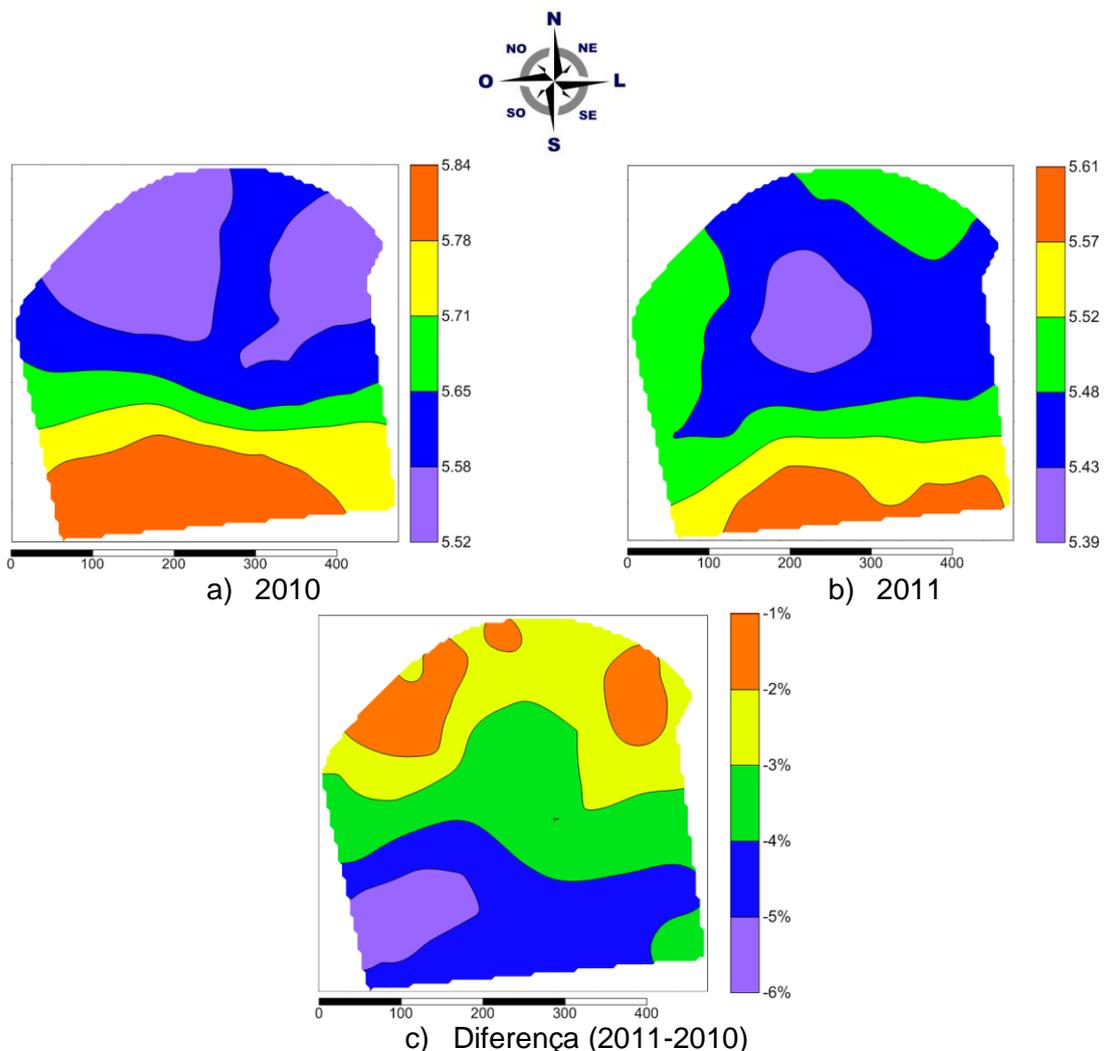


Figura 08 Distribuição espacial do atributo químico pH em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

O atributo químico do solo carbono do ano de 2010 (Figura 9a) apresenta, na porção norte e leste do mapa, variação na faixa de 15,2 a 16,3 g dm⁻³, compreendendo estes os menores valores encontrados no mapa. A sul e noroeste é observada a concentração dos maiores valores de C, sendo estes na faixa de 16,9 a 18,0 g dm⁻³. Já no ano de 2011 (Figura 9b), observa-se acréscimo destes valores, predominando a faixa de 21,7 a 21,9 g dm⁻³, encontrados da região norte à sul. A leste é observada a porção de menores valores, compreendidos entre 20,7 e 21,0 g dm⁻³. Quando analisados os dois mapas, observa-se a tendência dos valores mais altos de concentrarem-se na porção sul da área e os menores na porção leste. O mapa da diferença percentual deste atributo dos anos de 2011 e 2010 (Figura 9c) mostra que em toda a área experimental os valores do atributo C de 2011 foram maiores que no ano de 2010, mostrando que os restos culturais da cultura anterior da amostragem colaboraram para um aumento nos teores de C.

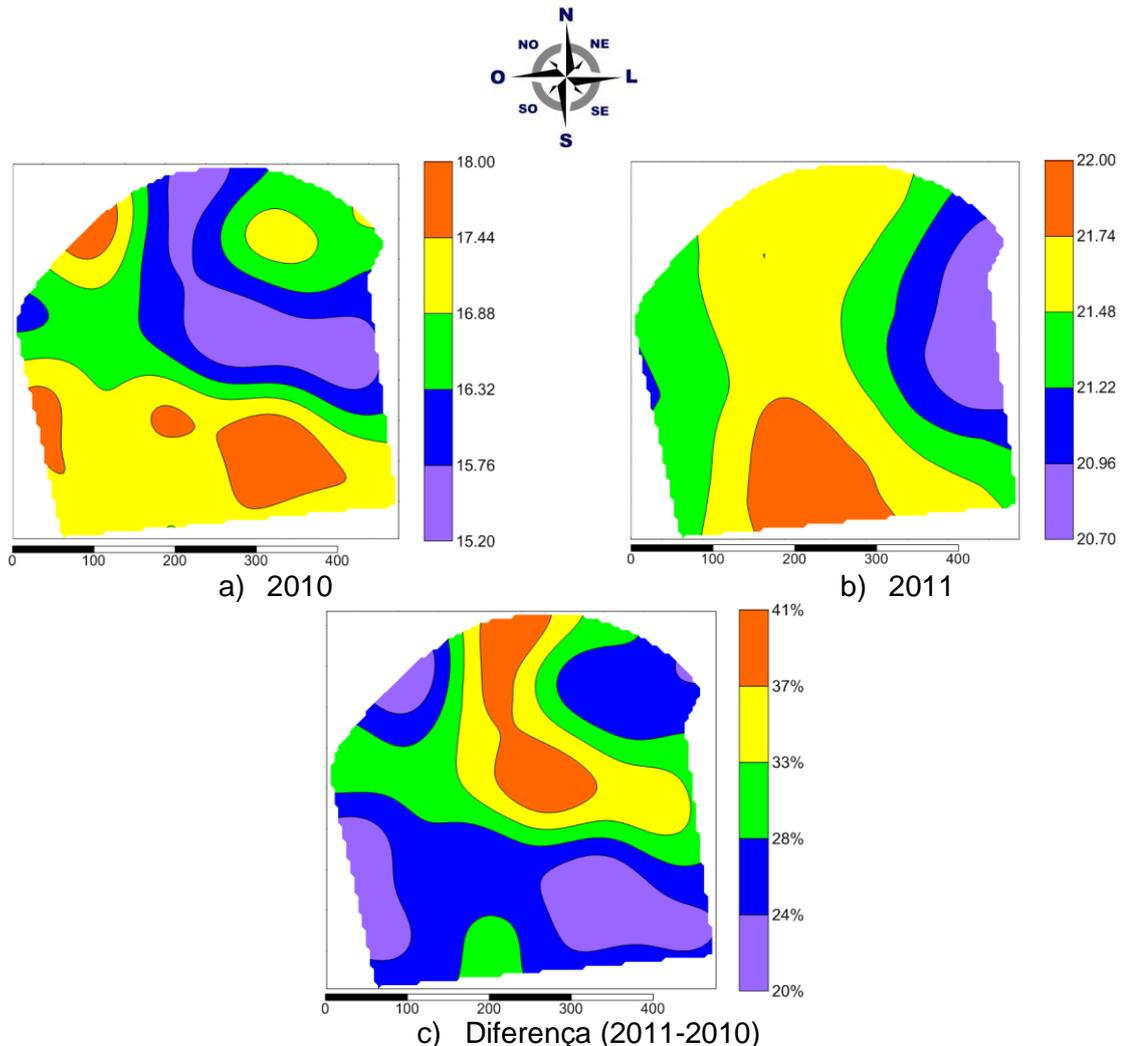


Figura 09 Distribuição espacial do atributo químico carbono (g dm⁻³) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

O atributo fósforo no ano de 2010 (Figura 10a) apresentou variação na faixa de 16,0 a 20,6 g dm⁻³ na maior parte da área experimental, sendo estes os menores valores encontrados na área. A noroeste e a sudeste, observa-se a concentração dos maiores valores, compreendidos entre 22,9 e 27,5 g dm⁻³. Para o ano de 2011 (Figura 10b), a norte e a sul, observa-se a concentração dos maiores valores, compreendidos entre 23,8 e 25,0 g dm⁻³. A leste e oeste, concentram-se os valores na faixa de 22,1 a 23,3 g dm⁻³, sendo estes os menores valores do mapa. Observando os dois mapas, nota-se a tendência de oeste a leste de concentrarem os menores valores dos teores de fósforo. No mapa de diferença percentual deste atributo dos anos de 2011 e 2010 (Figura 10c), observa-se que, no ano de 2010, nas regiões sudeste e noroeste da área os teores do atributo P foram maiores que no ano de 2011. No restante da área, observa-se que em 2011 os valores encontrados foram maiores que no ano de 2010.

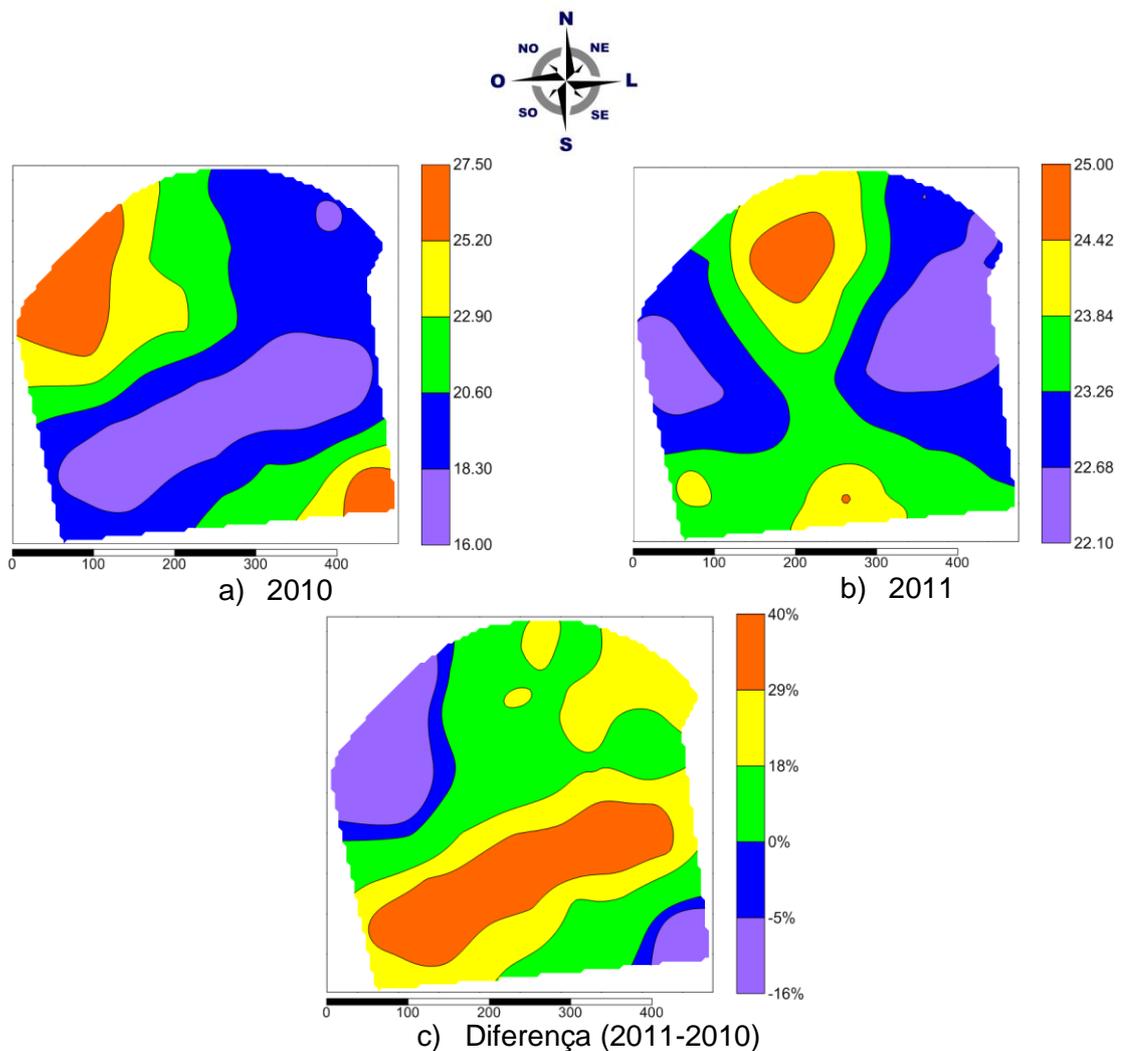


Figura 10 Distribuição espacial do atributo químico fósforo (g dm⁻³) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

O atributo químico do solo cálcio para o ano de 2010 (Figura 11a) apresentou, na parte sul do mapa, variação na faixa de 6,33 a 6,65 cmolcdm^{-3} , sendo estes os maiores valores encontrados no mapa. Na região central e norte, observa-se concentração dos valores compreendidos entre 5,85 e 6,65 cmolcdm^{-3} . Para o ano de 2011 (Figura 11b), observa-se a sul a concentração dos maiores valores, entre 7,48 e 7,80 cmolcdm^{-3} .

Ao longo do mapa, observa-se predominantemente valores na faixa 7,00 a 7,32 cmolcdm^{-3} . Observando os dois mapas, nota-se a disposição dos maiores valores concentrados na porção sul da área e a tendência dos menores valores serem encontrados na região central e norte, sendo esta a região mais alta da área. Uma vez que este elemento tem sua disponibilidade influenciada pelo pH, observa-se que as regiões menos ácidas da área experimental, apresentam maiores teores de Ca. O mapa da diferença percentual deste atributo dos anos de 2011 e 2010 (Figura 11c) mostra que em toda a área experimental os valores do atributo Ca de 2011 foram maiores que no ano de 2010, especialmente na região noroeste.

No mapa temático referente ao atributo químico do solo potássio, para o ano de 2010 (Figura 12a), a faixa predominante foi de 0,34 a 0,46 cmolcdm^{-3} , sendo estes os menores valores encontrados no mapa. Ao norte, observa-se concentração dos maiores valores, compreendidos entre 0,52 e 0,64 cmolcdm^{-3} . Para o ano de 2011 (Figura 12b), percebe-se maior predominância dos valores compreendidos entre 0,28 e 0,40 cmolcdm^{-3} . A norte e a sudeste, observa-se áreas dos valores mais altos de teor de potássio, compreendidos entre 0,47 e 0,50 cmolcdm^{-3} .

Observando os dois mapas (Figura 12a e Figura 12b), nota-se a disposição dos maiores valores concentrados na porção norte da área, sendo este o local mais baixo da área, e dos menores na região central. Devido à ação de inibição competitiva, pode-se perceber que regiões de maiores concentração de Ca apresentam os menores valores de K. No mapa de diferença percentual deste atributo dos anos de 2011 e 2010 (Figura 12c), observa-se que no ano de 2010, apenas na região leste da área os teores do atributo K foram maiores que no ano de 2011. No restante da área, observa-se que em 2011 os valores encontrados foram superiores aos do ano de 2010.

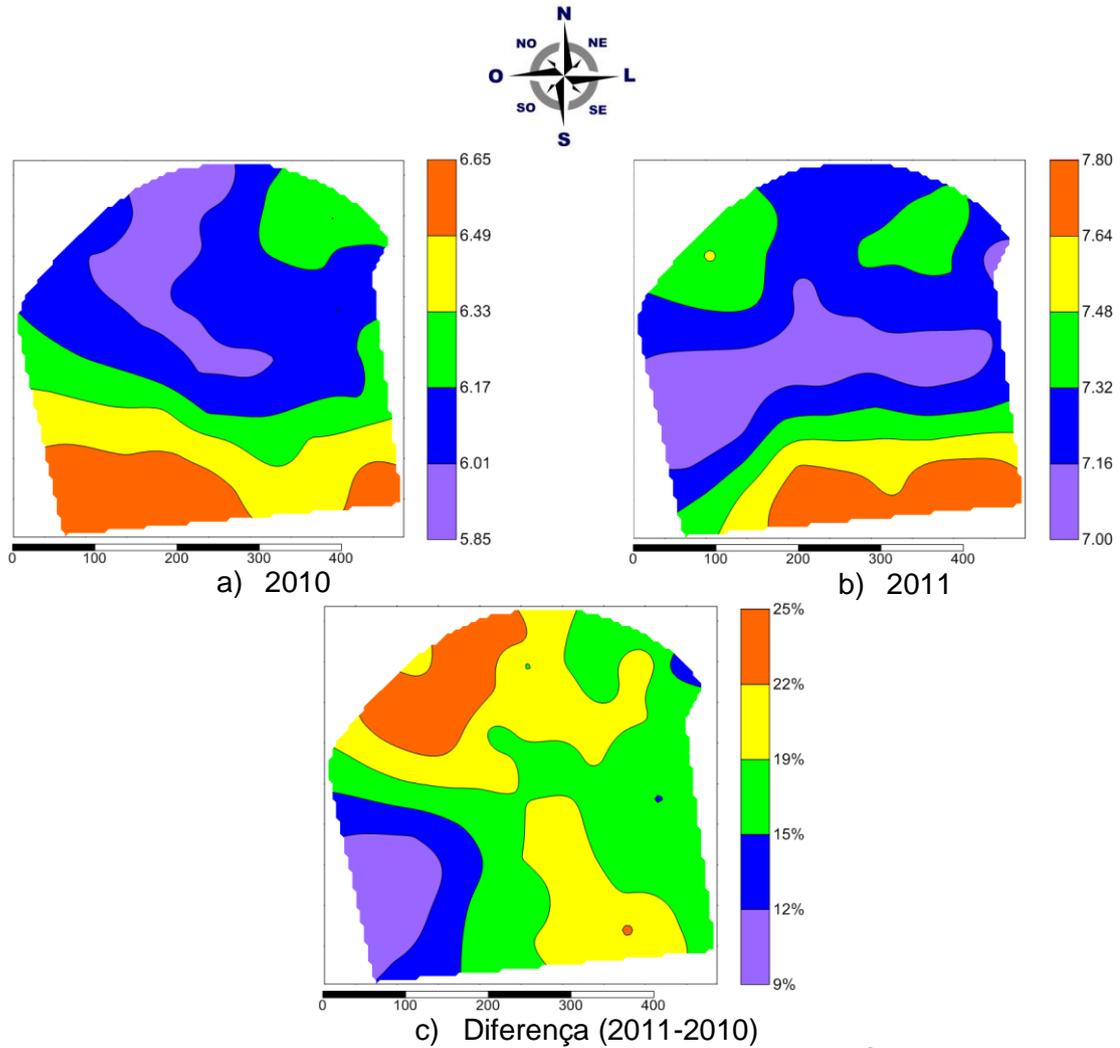


Figura 11 Distribuição espacial do atributo químico cálcio (cmolcdm⁻³) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

O mapa temático do atributo químico do solo magnésio para o ano de 2010 (Figura 13a) apresenta na região norte a predominância dos menores valores encontrados no mapa, compreendidos entre 2,20 e 2,72 cmolcdm⁻³. A região sul apresenta concentração de valores na faixa de 2,98 a 3,50 cmolcdm⁻³, sendo estes os maiores valores encontrados no mapa. Para o ano de 2011 (Figura 13b), observa-se semelhança com o mapa de 2010, uma vez que a norte continua presente a concentração dos menores valores encontrados no mapa, estando estes compreendidos entre 2,35 e 2,63 cmolcdm⁻³.

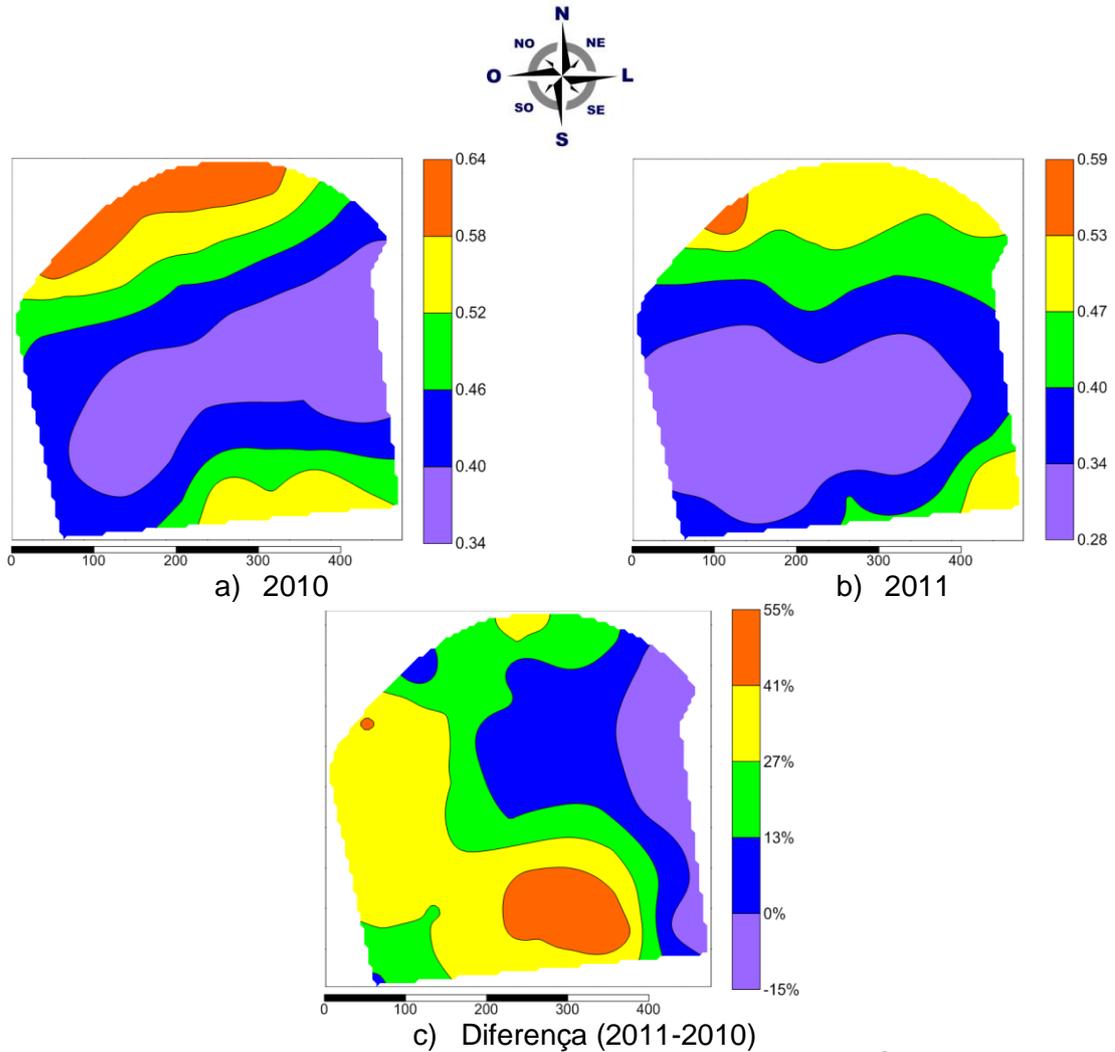


Figura 12 Distribuição espacial do atributo químico potássio (cmolcdm⁻³) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu - PR

A sul, observa-se predominância dos valores entre 2,77 e 3,05 cmolcdm⁻³. Observando os dois mapas, nota-se a tendência dos menores valores dos teores de Mg estarem concentrados na porção norte da área, e dos maiores, na região sul, sendo estas as porções mais baixa e alta da área, respectivamente. Pelo fato de que este elemento tem sua disponibilidade influenciada pelo pH, observa-se que as regiões menos ácidas da área experimental apresentam maiores teores de Mg. No mapa de diferença percentual deste atributo dos anos de 2011 e 2010 (Figura 13c), observa-se que, no ano de 2011, apenas na região norte da área os teores do atributo Mg foram maiores que no ano de 2010.

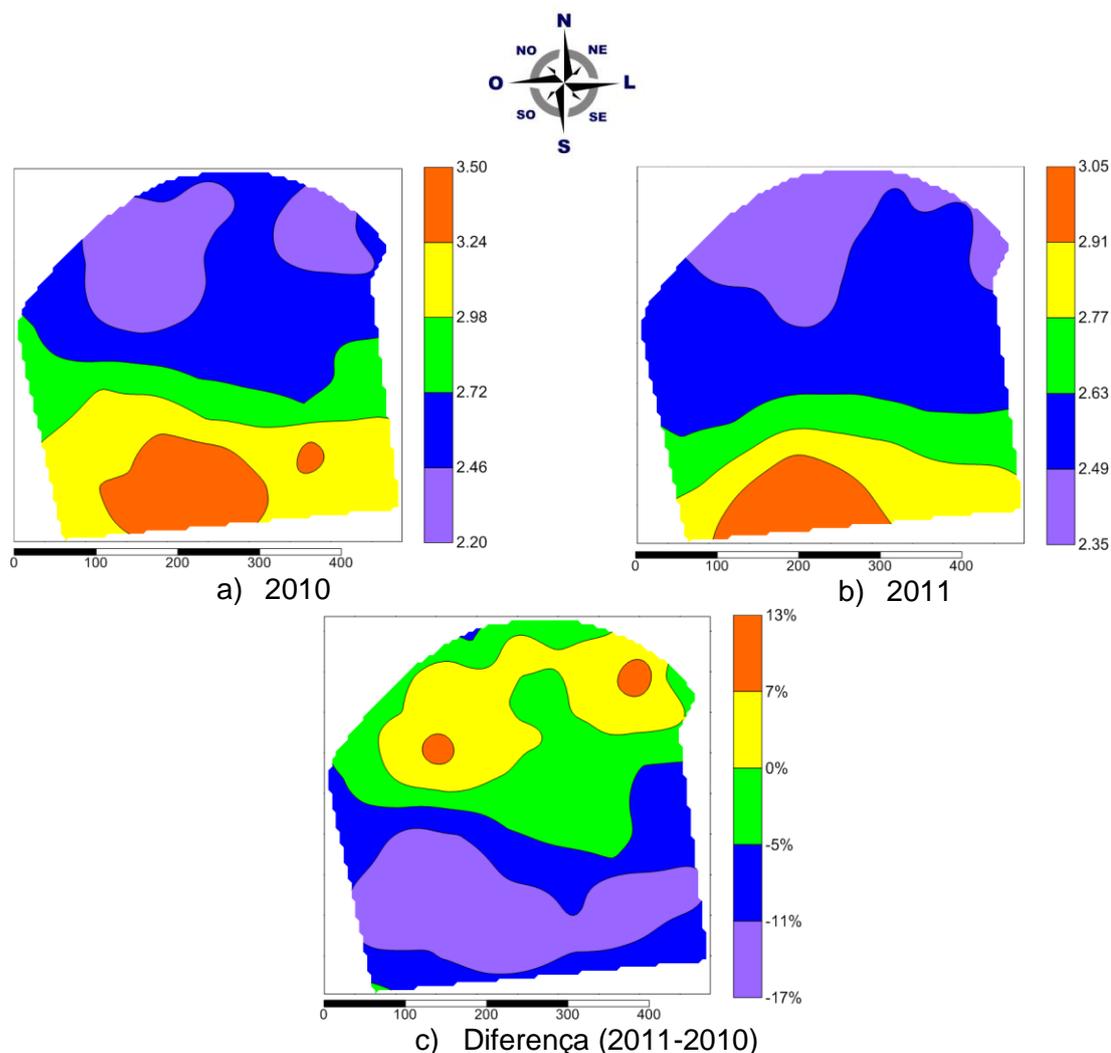


Figura 13 Distribuição espacial do atributo químico magnésio (cmolcdm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

Analisando o mapa temático para atributo químico do solo cobre para o ano de 2010 (Figura 14a), observa-se que o mesmo apresenta na região sul a concentração dos menores valores, compreendidos entre $8,00$ e $9,36 \text{ mg dm}^{-3}$. A norte, observa-se a concentração dos valores na faixa de $10,04$ a $11,40 \text{ mg dm}^{-3}$. Para o ano de 2011 (Figura 13b), observa-se semelhança com o mapa de 2010, uma vez que a norte, encontram-se os maiores valores, os quais vão de $8,24$ a $9,60 \text{ mg dm}^{-3}$ e a sul, a predominância dos menores valores, compreendidos entre $6,20$ e $7,56 \text{ mg dm}^{-3}$.

Nota-se, quando observados os dois mapas (Figura 14a e Figura 14b), a tendência dos maiores teores de Cu estarem dispostos na região norte (região mais baixa) da área experimental, e dos menores, a sul (região mais alta). Observa-se também que as regiões menos ácidas da área experimental, apresentam maiores teores de Cu, uma vez que este elemento tem sua disponibilidade influenciada pelo pH. No mapa de diferença percentual deste atributo dos anos de 2011 e 2010 (Figura 14c), observa-se que no ano de 2011, apenas em uma pequena porção na região nordeste da área, os teores de Cu foram

maiores que no ano de 2010. Devido ao fato de uma ação antagônica, nota-se que regiões de maiores teores de Ca apresentaram os menores teores de Cu, uma vez que a presença deste primeiro nutriente diminui a toxidez do segundo.

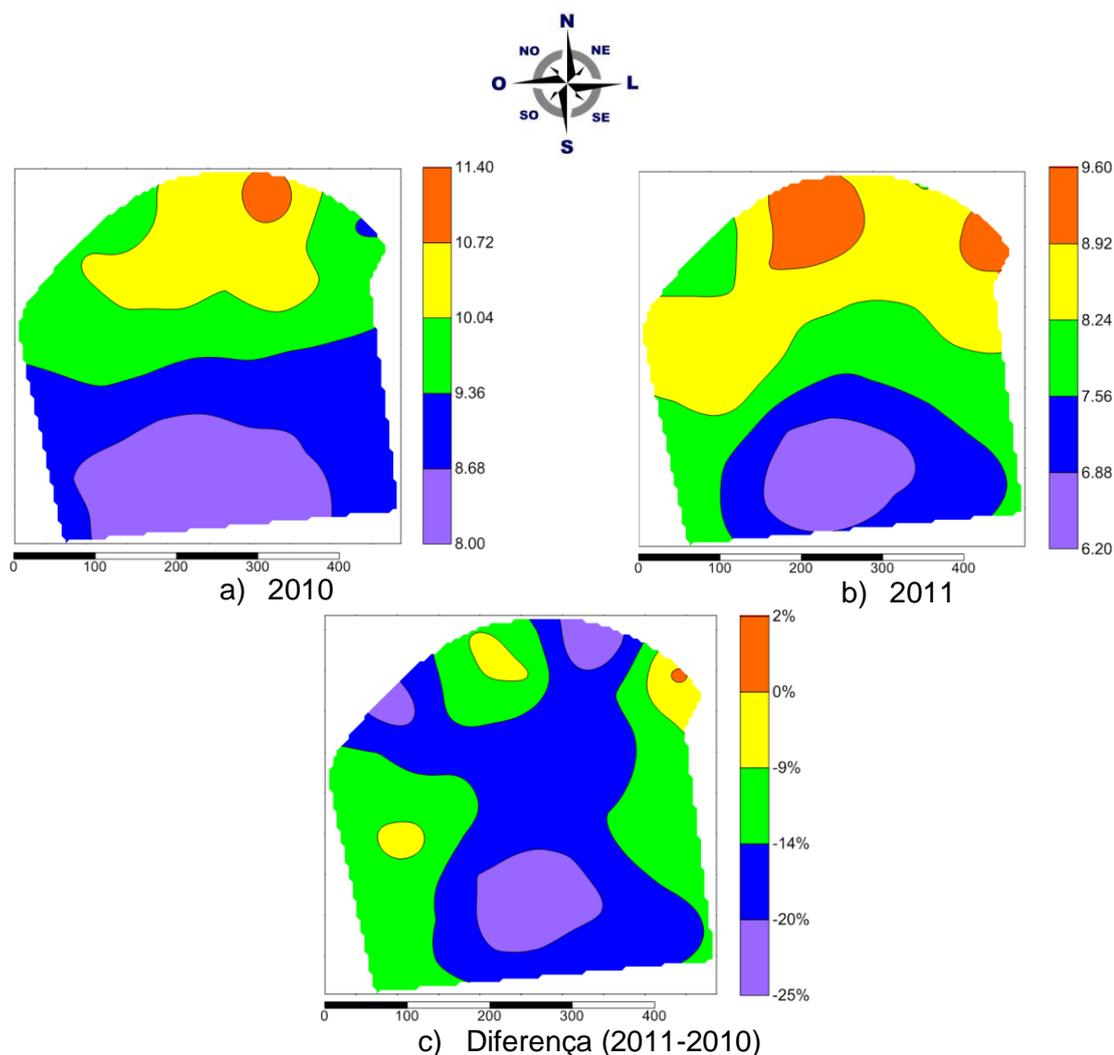


Figura 14 Distribuição espacial do atributo químico cobre (mg dm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

O atributo químico do solo ferro do ano de 2010 (Figura 15a) apresenta na porção leste do mapa variação na faixa de $26,7$ a $30,5 \text{ mg dm}^{-3}$, compreendendo estes os maiores valores encontrados no mapa. A sul e oeste é observada a concentração dos menores valores de Fe, sendo estes na faixa de $21,0$ a $24,8 \text{ mg dm}^{-3}$. Já no ano de 2011 (Figura 15b), observa-se como predominante a faixa de $21,0$ a $28,8 \text{ mg dm}^{-3}$. A leste e a sudoeste é observada a porção de maiores valores, compreendidos entre $28,8$ e $34,0 \text{ g dm}^{-3}$. Observando os dois mapas, nota-se a tendência dos menores valores estarem concentrados na porção noroeste e sudoeste da área, e os maiores a leste.

No mapa de diferença percentual deste atributo dos anos de 2011 e 2010 (Figura 15c), observa-se que no ano de 2011 apenas a região central da área os teores do atributo

Fe foram menores que no ano de 2010. No restante da área, é observado que em 2011 os valores encontrados foram superiores aos do ano de 2010.

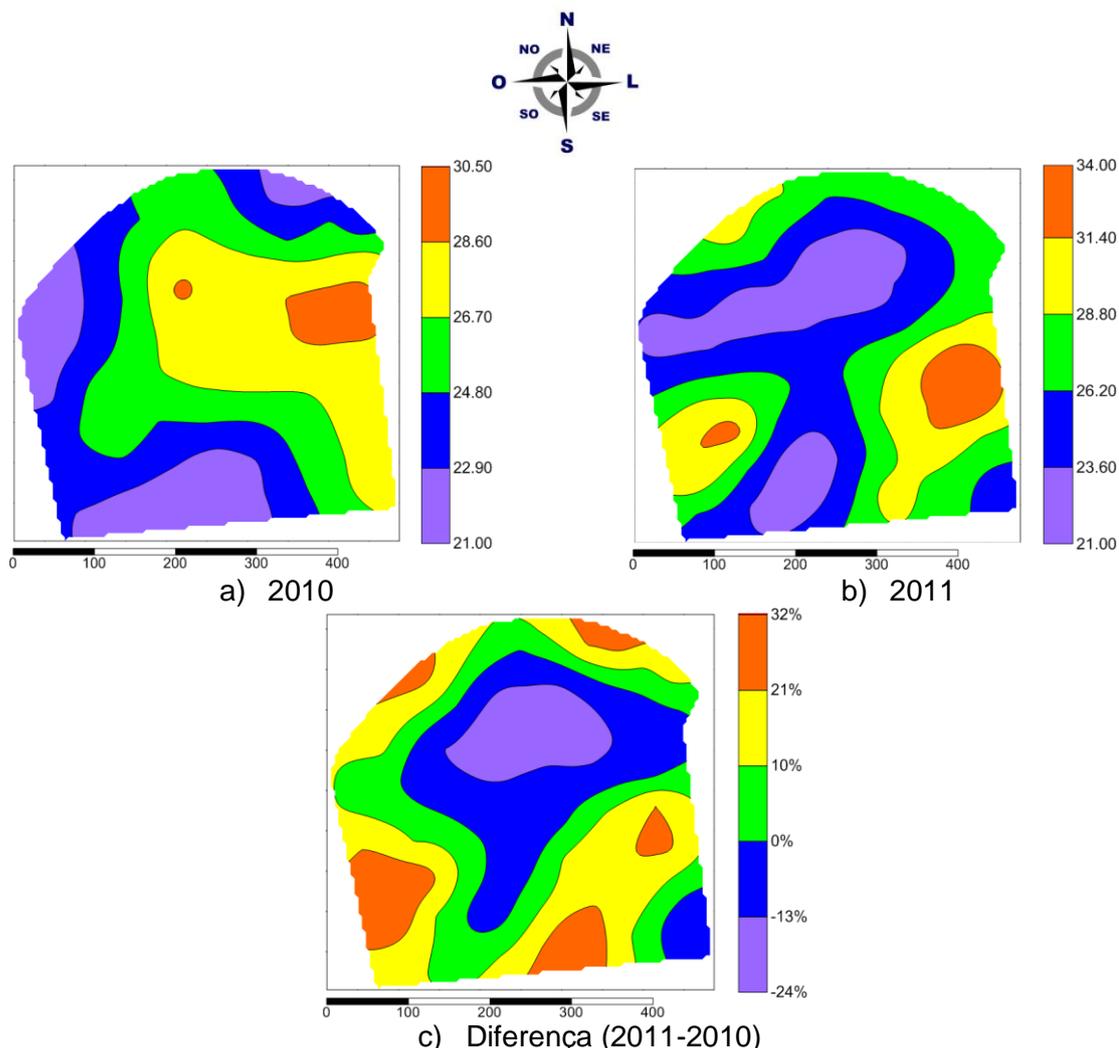


Figura 15 Distribuição espacial do atributo químico ferro (mg dm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

Observando a distribuição espacial do atributo químico do solo manganês para o ano de 2010 (Figura 16a), é possível observar a noroeste a concentração dos valores compreendidos entre 103 e 118 mg dm^{-3} , sendo estes os menores valores encontrados no mapa. A porção sul do mapa apresenta valores na faixa de 119 e 129 mg dm^{-3} . Já para o ano de 2011 (Figura 16b), observa-se acréscimo destes valores, sendo que a porção sudeste apresenta variação entre 214 e 223 mg dm^{-3} . Na porção centro norte observa-se a concentração dos menores valores compreendidos entre 201 e 210 mg dm^{-3} . Observando os dois mapas, nota-se a tendência dos maiores valores estarem concentrados na porção sul (região mais alta) da área e na porção central a disposição dos menores valores.

Observa-se também que as regiões menos ácidas da área experimental apresentam maiores teores de Mn, uma vez que este elemento tem sua disponibilidade

influenciada pelo pH. O mapa da diferença percentual deste atributo dos anos de 2011 e 2010 (Figura 16c) mostra que em toda a área experimental os valores do atributo Mn de 2011 foram maiores que no ano de 2010, especialmente na região noroeste.

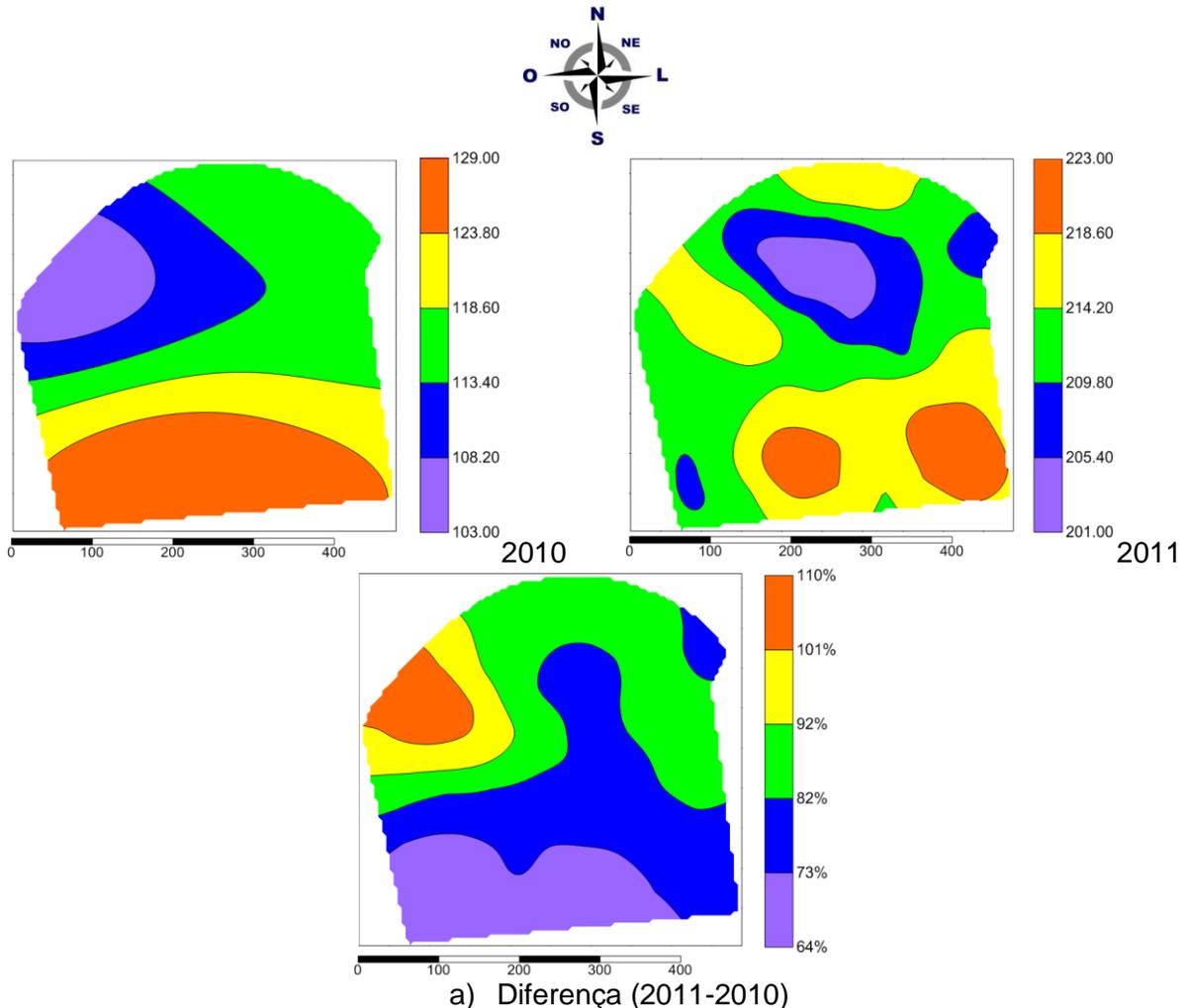


Figura 16 Distribuição espacial do atributo químico manganês (mg dm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

O mapa temático do atributo químico do solo zinco para o ano de 2010 (Figura 17a) apresenta, na região norte, a predominância dos menores valores encontrados no mapa, compreendidos entre $4,20$ e $5,64 \text{ mg dm}^{-3}$. A região sul, apresenta concentração de valores na faixa de $6,36$ a $7,80 \text{ mg dm}^{-3}$, sendo estes os maiores valores encontrados no mapa. Para o ano de 2011 (Figura 17b), as regiões leste e sul, apresentam variação na faixa de $4,20$ e $6,68 \text{ mg dm}^{-3}$, sendo estes os menores valores encontrados no mapa. A oeste e a norte, observa-se a concentração dos maiores valores, variando na faixa de $7,92$ a $10,40 \text{ mg dm}^{-3}$. Observando estes dois mapas (Figura 17a e Figura 17b), nota-se que os mesmos não apresentam semelhanças. O mapa da diferença percentual deste atributo dos anos de 2011 e 2010 (Figura 17c) mostra que em toda a área experimental os valores do atributo Zn de 2011 foram maiores que no ano de 2010, especialmente na região noroeste.

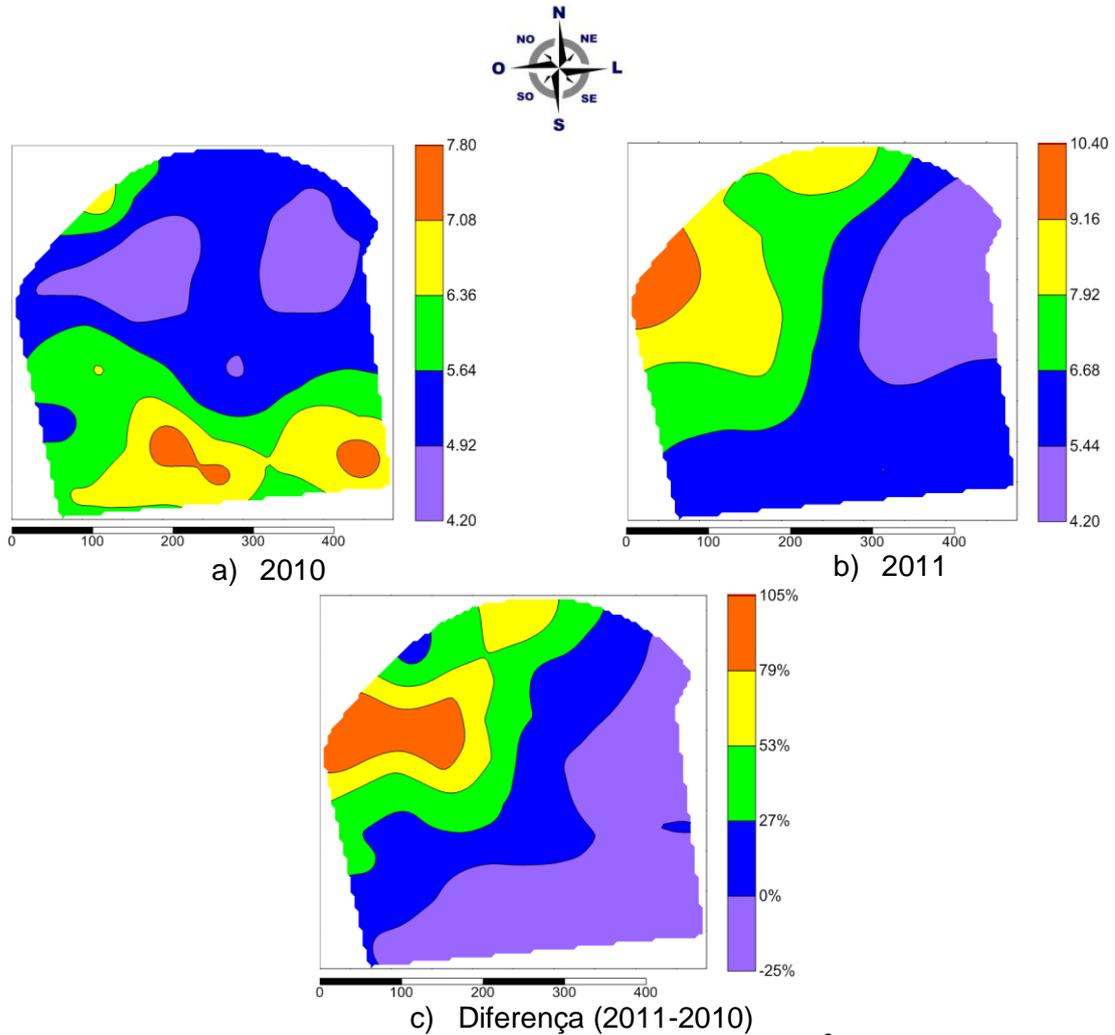


Figura 17 Distribuição espacial do atributo químico zinco (mg dm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

O atributo físico do solo microporosidade do ano de 2010 (Figura 18a) apresenta nas porções central e leste do mapa, variação na faixa de 35,0 a 36,4%, compreendendo estes os maiores valores encontrados no mapa. A oeste e a sul é observada a concentração dos menores valores de microporosidade, sendo estes na faixa de 32,8 a 34,2%. Já no ano de 2011 (Figura 18b), observa-se decréscimo destes valores, predominando a faixa de 32,0 a 33,4%, encontrados da região sul a oeste. A nordeste é observada a porção de menores valores, compreendidos entre 29,8 e 31,2%. O mapa da diferença percentual dos anos de 2011 e 2010 (Figura 18c) mostra que em toda a área experimental os valores do atributo microporosidade de 2010 foram maiores que no ano de 2011, especialmente na região oeste.

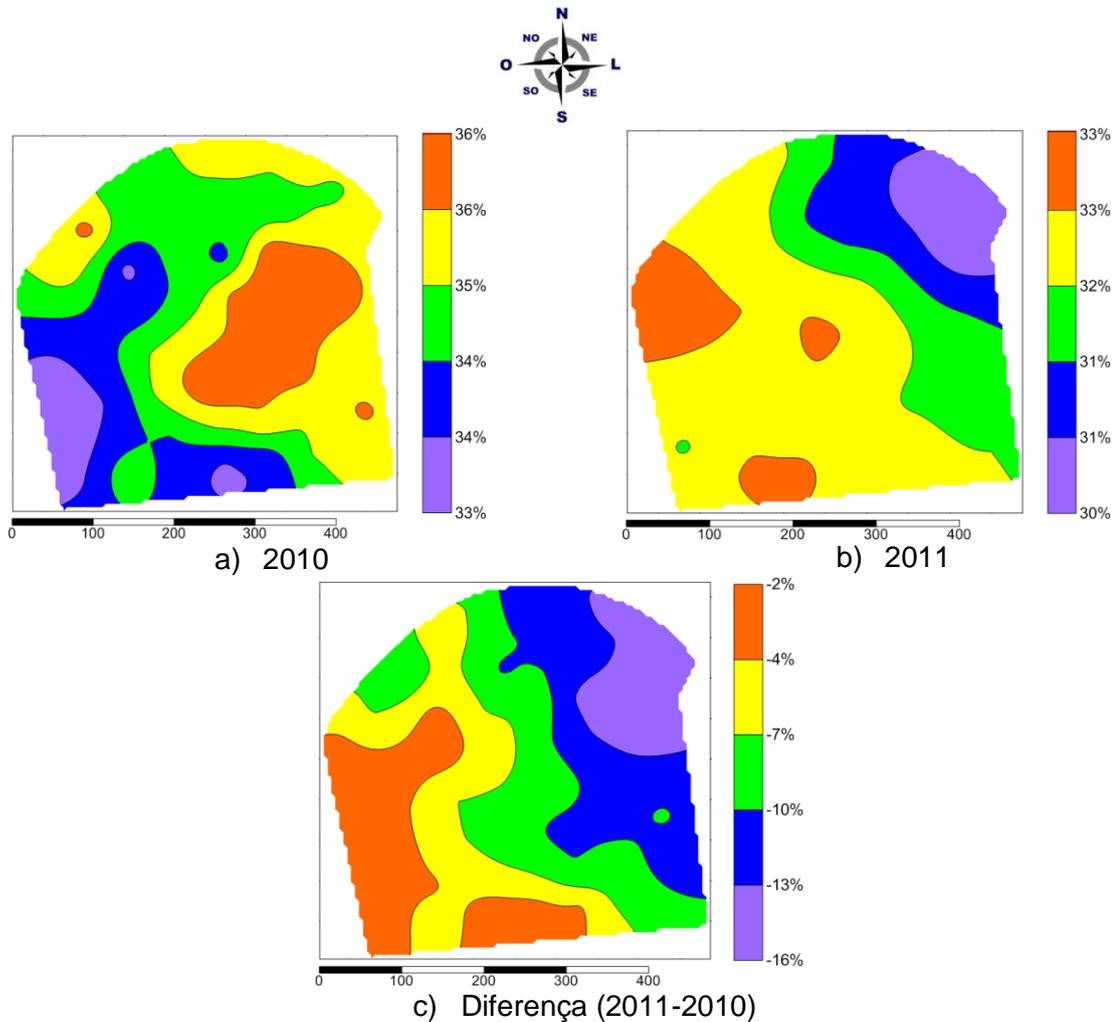


Figura 18 Distribuição espacial do atributo microporosidade (%) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

Na distribuição espacial do atributo físico do solo densidade para o ano de 2010 (Figura 19a), observou-se a sudoeste a concentração dos valores compreendidos entre 1,44 e 1,46 g cm^{-3} , sendo estes os maiores valores encontrados no mapa. As porções central e leste do mapa apresentam valores na faixa de 1,41 e 1,43 g cm^{-3} . Já para o ano de 2011 (Figura 19b), observa-se acréscimo destes valores, sendo que as porções sul e sudoeste apresentam valores entre 1,58 e 1,63 g cm^{-3} . A porção norte caracteriza-se pela concentração dos menores valores compreendidos entre 1,50 e 1,55 g cm^{-3} . Nota-se, quando observados os dois mapas, a tendência dos maiores valores de densidade estarem dispostos na região sudoeste da área experimental. O mapa de diferença percentual deste atributo nos anos de 2011 e 2010 (Figura 19c) mostra que em toda a área experimental os valores de densidade em 2011 foram maiores que no ano de 2010, especialmente na região sul.

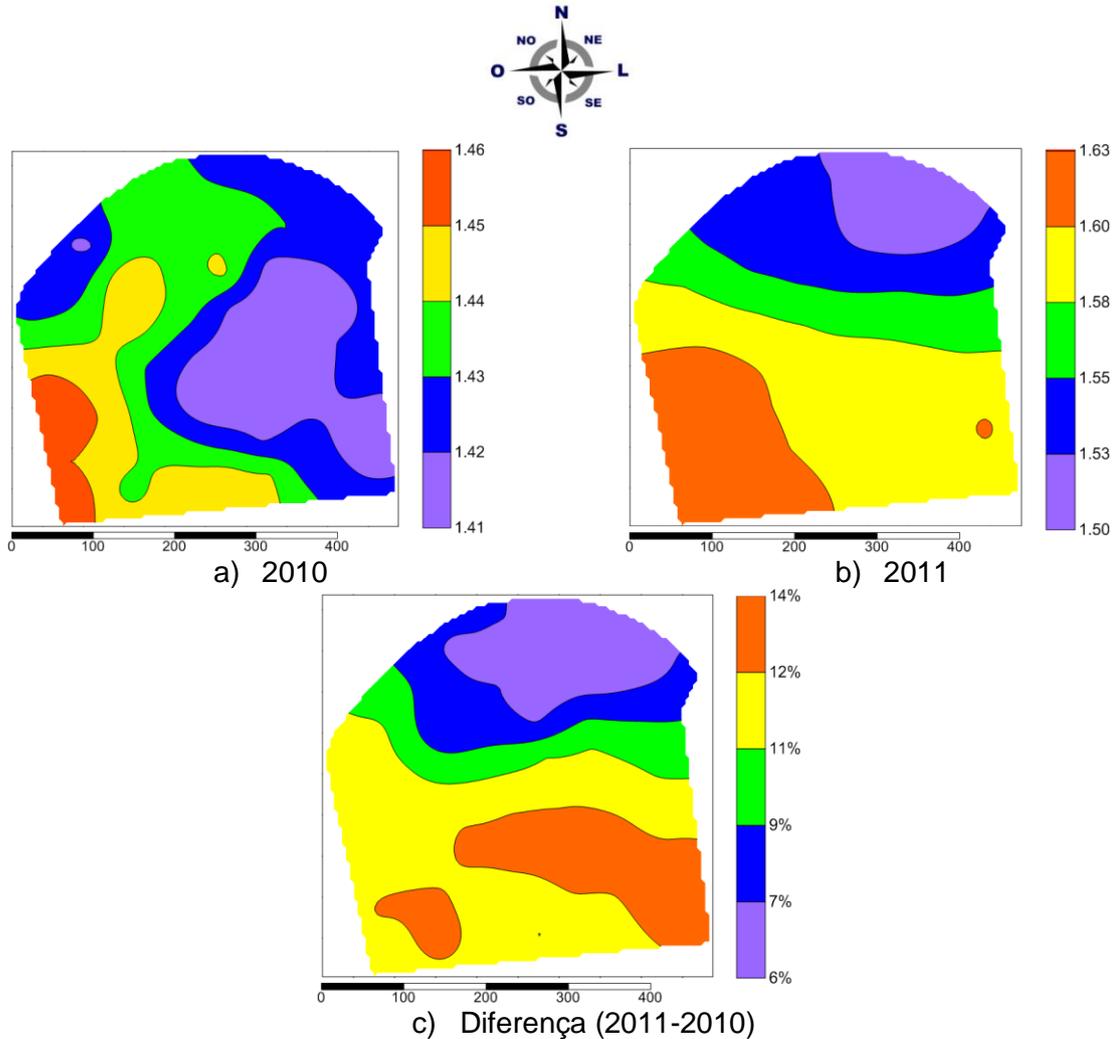


Figura 19 Distribuição espacial do atributo densidade (g cm^{-3}) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguçu – PR

O atributo físico do solo macroporosidade do ano de 2010 (Figura 20a) apresenta nas porções norte e leste do mapa, variação na faixa de 12,15 a 12,37%, compreendendo estes os menores valores encontrados no mapa. A oeste e a sudoeste é observada a concentração dos maiores valores de microporosidade, sendo estes na faixa de 12,47 a 12,69%. Já no ano de 2011 (Figura 20b), observa-se como predominante a faixa de 6,90 a 7,94%. A nordeste observa-se a porção de maiores valores, com variações na faixa de 8,46 a 9,50%. Quando observados os dois mapas, nota-se comportamento direcional inverso, uma vez que para o ano de 2010 os maiores valores estavam dispostos a sudoeste e os menores a nordeste e, em 2011, os maiores valores estão dispostos a nordeste e os menores, a sudoeste. O mapa da diferença percentual dos anos deste atributo de 2011 e 2010 (Figura 20c) mostra que em toda a área experimental os valores do atributo macroporosidade de 2010 foram maiores que no ano de 2011, especialmente na região sudoeste.

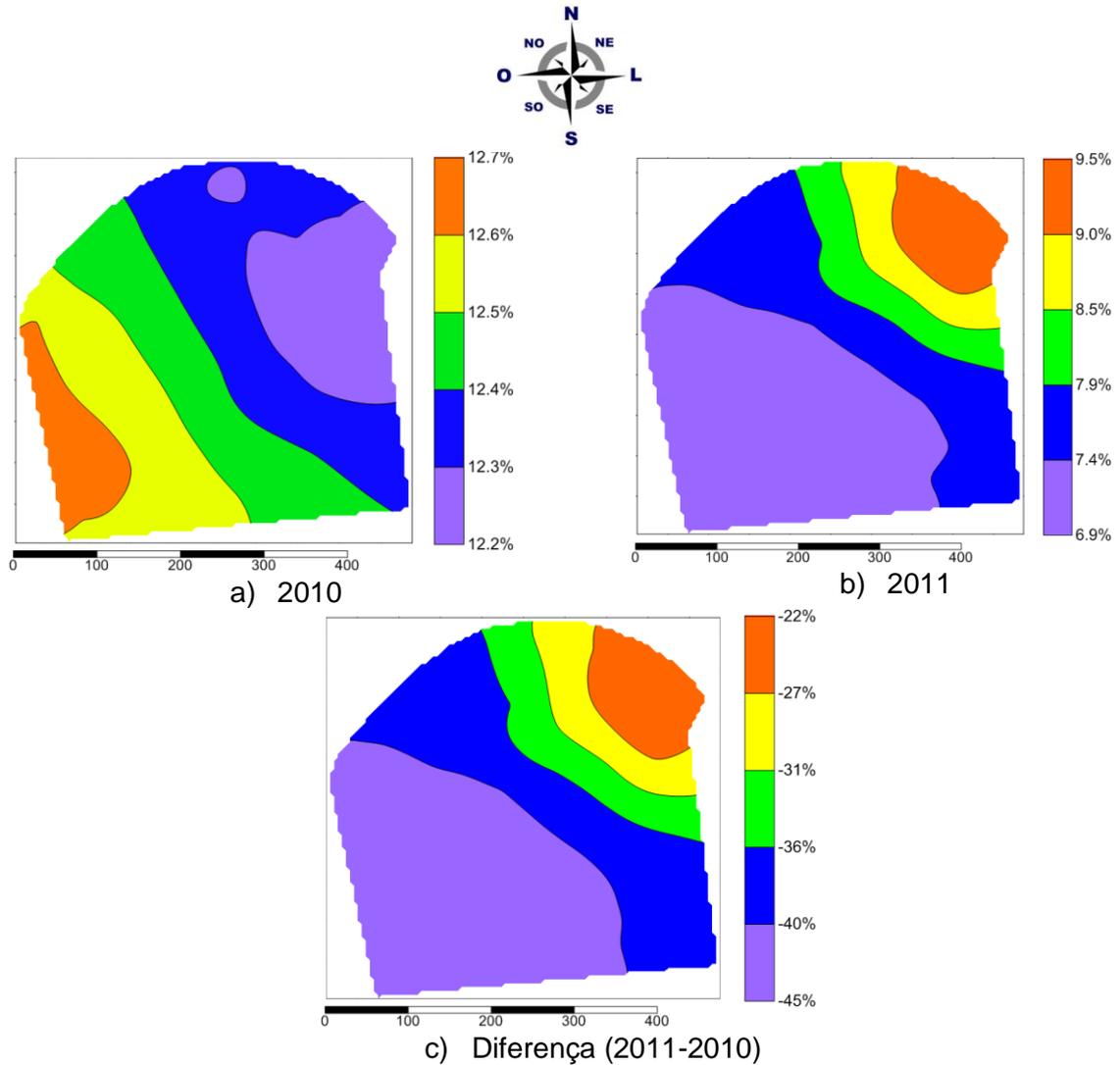


Figura 20 Distribuição espacial do atributo macroporosidade (%) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguçu – PR

O mapa temático do atributo porosidade total para o ano de 2010 (Figura 21a) apresenta, nas regiões central, sudeste e noroeste, áreas com os maiores valores encontrados no mapa, compreendidos entre 46,9 e 48,6%. A região sudoeste apresenta concentração de valores na faixa de 45,8 a 46,9%, sendo estes os menores valores encontrados no mapa. Para o ano de 2011 (Figura 21b), observa-se a noroeste e a nordeste a concentração dos maiores valores encontrados no mapa, sendo estes compreendidos entre 39,7 e 40,2%. A sudeste e a sudoeste observa-se regiões com os menores valores, entre 39,0 e 38,5%. Observando os dois mapas, nota-se a tendência dos maiores valores na porção noroeste e nordeste da área. Na porção central norte, há a disposição de uma pequena área com menores valores. O mapa da diferença percentual dos anos de 2011 e 2010 (Figura 21c) mostra que em toda a área experimental os valores do atributo porosidade total de 2010 foram maiores que no ano de 2011, especialmente na região sudeste.

O atributo teor de água no ano de 2010 (Figura 22a) apresentou nas porções

central e noroeste variações na faixa de 20,6 a 20,8%, sendo estes os maiores valores encontrados no mapa. Observam-se porções dos menores valores a leste, a sul e a noroeste, sendo estes compreendidos entre 20,2 e 20,4%.

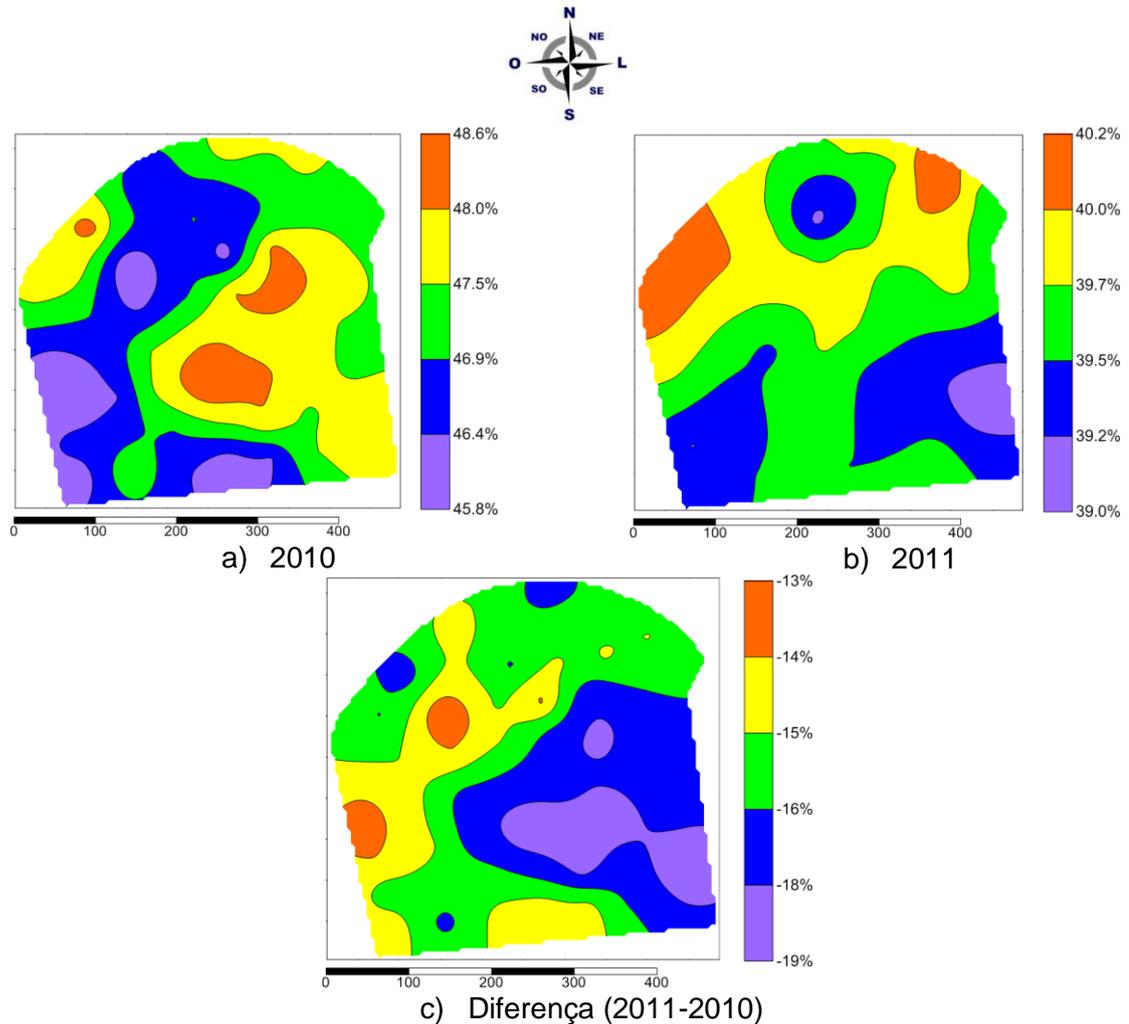


Figura 21 Distribuição espacial do atributo porosidade total (%) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguçu – PR

Para o ano de 2011 (Figura 22b), observa-se concentração em uma pequena área dos maiores valores, compreendidos entre 20,4 e 22,0%. A maioria da área experimental apresenta variação dos valores de teor de água na faixa de 18,0 e 19,6%, sendo estes os menores valores encontrados no mapa. O mapa da diferença percentual dos anos de 2011 e 2010 (Figura 22c) mostra que na maior parte da área experimental os valores do atributo em 2010 foram maiores que no ano de 2011, exceto em uma pequena área na região sul.

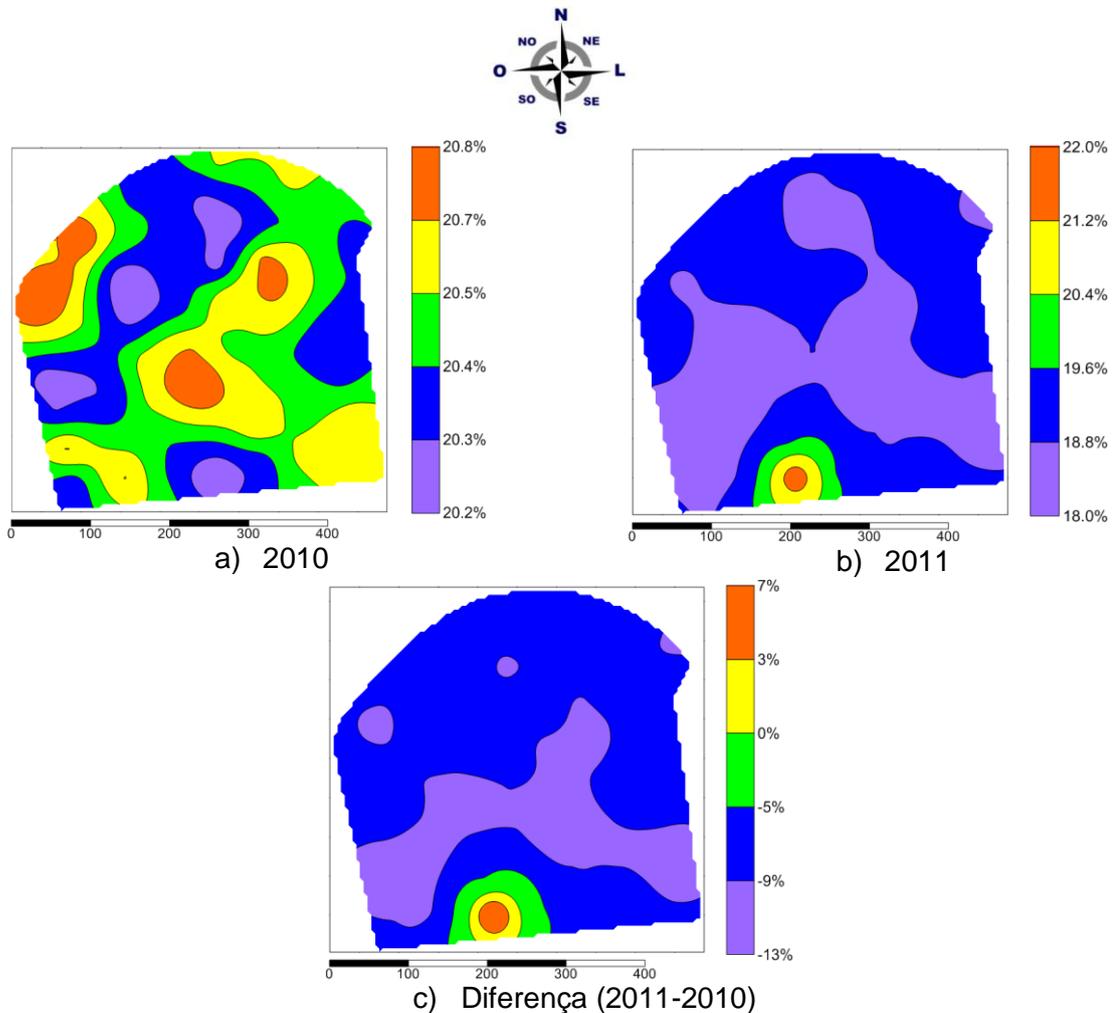


Figura 22 Distribuição espacial do atributo teor de água (%) em 2010 (a) e 2011 (b) no solo e diferença percentual entre 2011-2010 (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

No mapa da distribuição espacial da resistência do solo à penetração na profundidade de 0 a 10 cm (Figura 23a), observa-se a noroeste e a sudeste, a concentração dos maiores valores, compreendidos na faixa de 4,20 a 4,70 MPa. A nordeste e a sudoeste, é observado a concentração dos menores valores, sendo estes na faixa de 3,45 a 3,95 MPa. Para a profundidade de 10 a 20 cm (Figura 23b), observa-se que as porções nordeste e noroeste apresentam os maiores valores de resistência do solo à penetração, sendo estes entre 5,13 e 5,34 MPa. A sul e a sudeste concentram-se os valores na faixa de 4,82 e 5,03 MPa, sendo estes os menores.

Quando observados estes dois mapas, percebe-se a tendência da porção noroeste de apresentar os maiores valores encontrados no mapa. Observando o mapa da diferença entre as profundidades 10–20 e 0–10 cm (Figura 23e), percebe-se que os valores de 10-20 cm são maiores que 0-10 cm, especialmente na região sudoeste.

Quando observado o mapa para a profundidade de 20 a 30 cm (Figura 23c) as regiões percebe-se a predominância dos valores compreendidos entre 4,73 e 5,05 MPa, sendo estes os maiores valores observados no mapa. Nas regiões noroeste e sudeste,

observa-se a concentração de valores compreendidos na faixa de 4,25 a 4,57 MPa. Na profundidade de 30 a 40 cm (Figura 23d), na porção inferior direita (região sudeste), concentram-se os valores na faixa de 5,72 e 6,20 MPa, sendo estes os maiores valores encontrados no mapa. A região noroeste apresenta a concentração dos menores valores, sendo estes compreendidos entre 5,00 e 5,48 MPa.

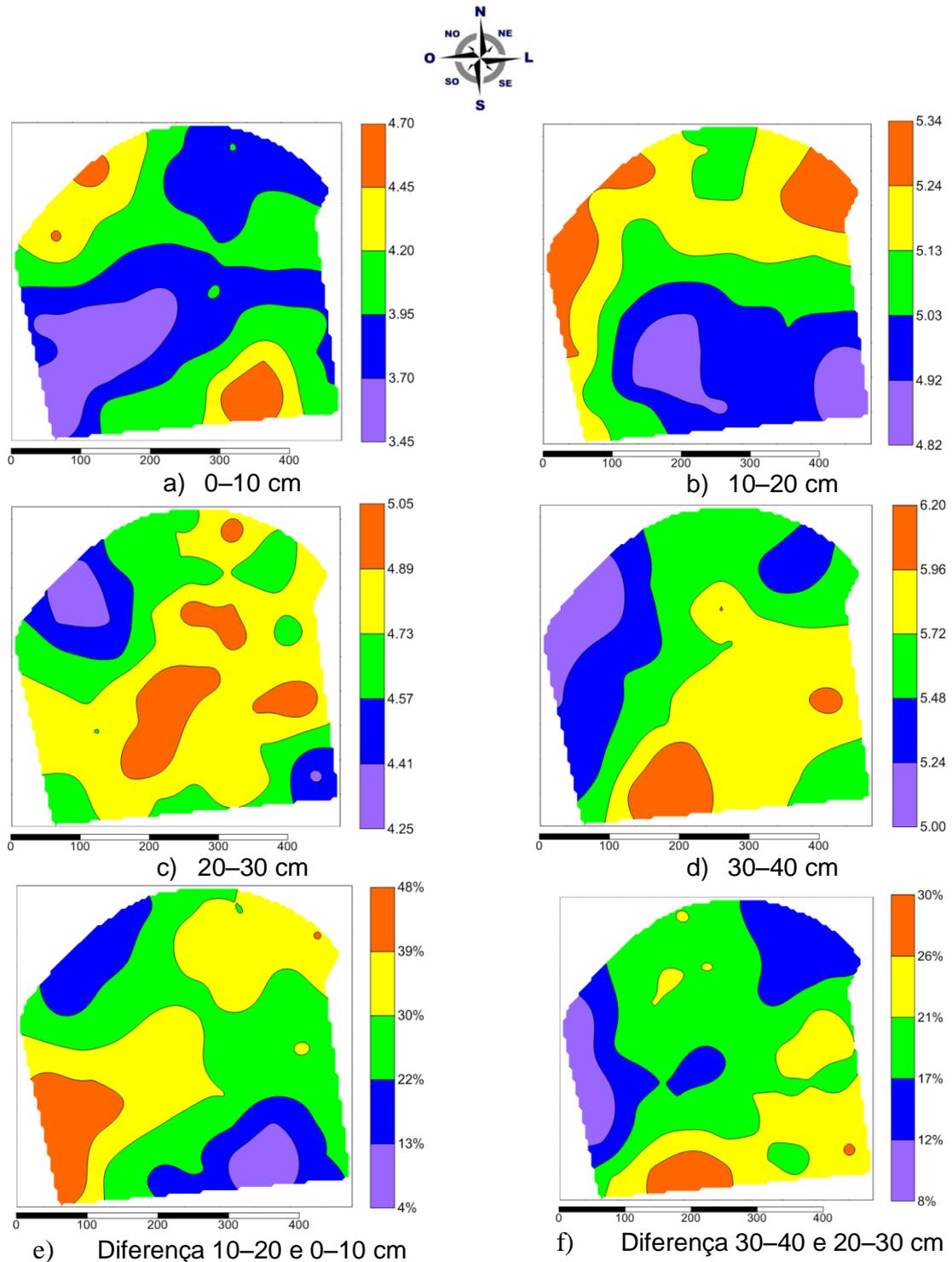


Figura 23 Distribuição espacial da resistência do solo a penetração (MPa) de 0–10 (a), 10–20 (b), 20–30 (c) e 30–40 (d) cm e diferença percentual entre 10–20 e 0–10 (e) cm e entre 30–40 e 20–30 (f) cm, Serranópolis do Iguaçu – PR

Observando estes dois mapas, percebe-se a tendência da porção central sul de apresentar os maiores valores encontrados no mapa. Observa-se também a noroeste a tendência de se encontrar os menores valores de resistência do solo à penetração. Observando o mapa da diferença deste atributo entre as profundidades 30-40 e 20-30 cm (Figura 23f), percebe-se que os valores de resistência do solo à penetração de 30-40 cm são superiores do que 20-30 cm, principalmente na região sul. Analisando os mapas temáticos referentes à resistência do solo à penetração, é possível perceber que, quanto mais profundo o solo, maiores os valores de RSP.

O mapa temático dos índices de clorofila para a cultura de soja do ano agrícola de 2010/11 em estádio V3 (Figura 24a) apresenta maior concentração de valores na faixa compreendida entre 34,3 e 35,1. A nordeste e a sudoeste, observa-se concentração dos maiores valores, sendo estes na faixa de 35,4 a 36,2.

Para o estádio V6 (Figura 24b), observa-se a predominância dos maiores valores, concentrados na porção centro sul do mapa, compreendidos entre 38,4 e 40,0. A norte, observa-se concentração dos menores índices, sendo estes na faixa de 36,0 a 37,6.

O mapa temático para o estádio R1 (Figura 24c) apresenta na porção central, os maiores valores, variando na faixa de 43,8 a 44,5. Os menores valores foram encontrados a noroeste e a sul, onde observam-se valores na faixa de 42,7 e 43,1. Observando os mapas das diferenças entre índices de clorofila (Figuras 24d a 24f), pode-se perceber que, em toda a área, conforme a cultura se desenvolveu, os índices de clorofila também aumentaram.

Para o ano de 2011, o índice de clorofila para a cultura de soja em estádio R1 (Figura 25a) apresentou maior concentração de valores na faixa compreendida entre 39,6 e 42,0. As regiões sudeste e noroeste apresentam áreas de concentração dos menores valores, compreendidos entre 37,2 e 39,6.

No estádio R2 (Figura 25b), observa-se maior predominância dos valores entre 42,9 e 45,7. Nas regiões central e noroeste, observam-se pequenas áreas com variações na faixa de 45,7 a 48,5.

O mapa temático para o estádio R3 (Figura 25c) apresenta maior predominância nas faixas que compreendem os valores entre 43,7 e 44,6. A noroeste e a leste, observa-se a concentração dos maiores valores, sendo estes compreendidos na faixa de 44,6 a 45,5 e os menores valores, compreendidos entre 43,2 e 44,1 estão dispostos em sua maioria, a sul da área experimental.

Observando os mapas das diferenças entre índices de clorofila (Figuras 25d a 25f), com exceção da diferença do estádio R3-R2 (Figura 25f), pode-se perceber que em toda a área, conforme a cultura se desenvolveu, os índices de clorofila também aumentaram.

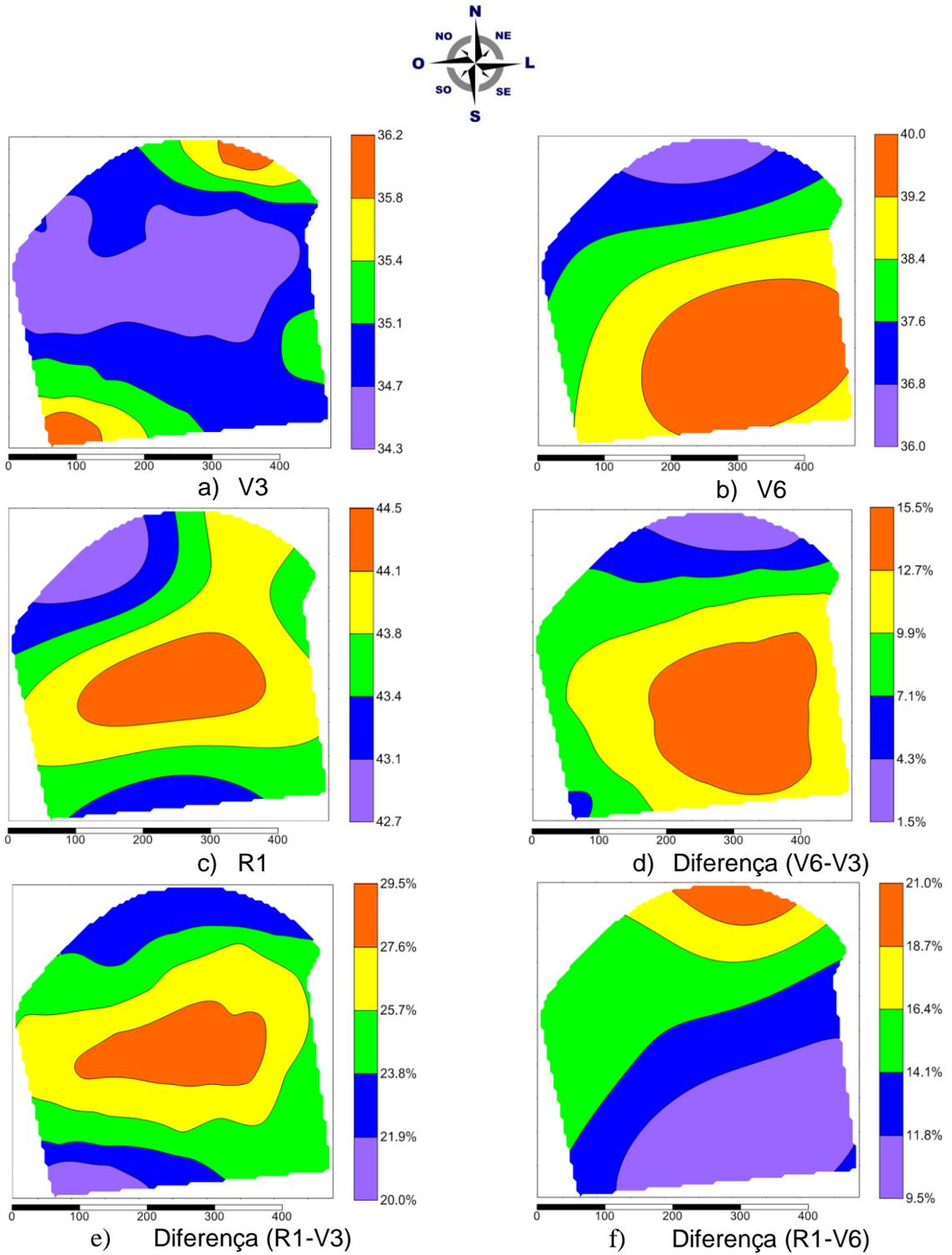


Figura 24 Distribuição espacial do índice de clorofila na cultura de soja em estádios fenológicos V3 (a), V6 (b) R1 (c) do ano de 2010, Serranópolis do Iguaçu – PR

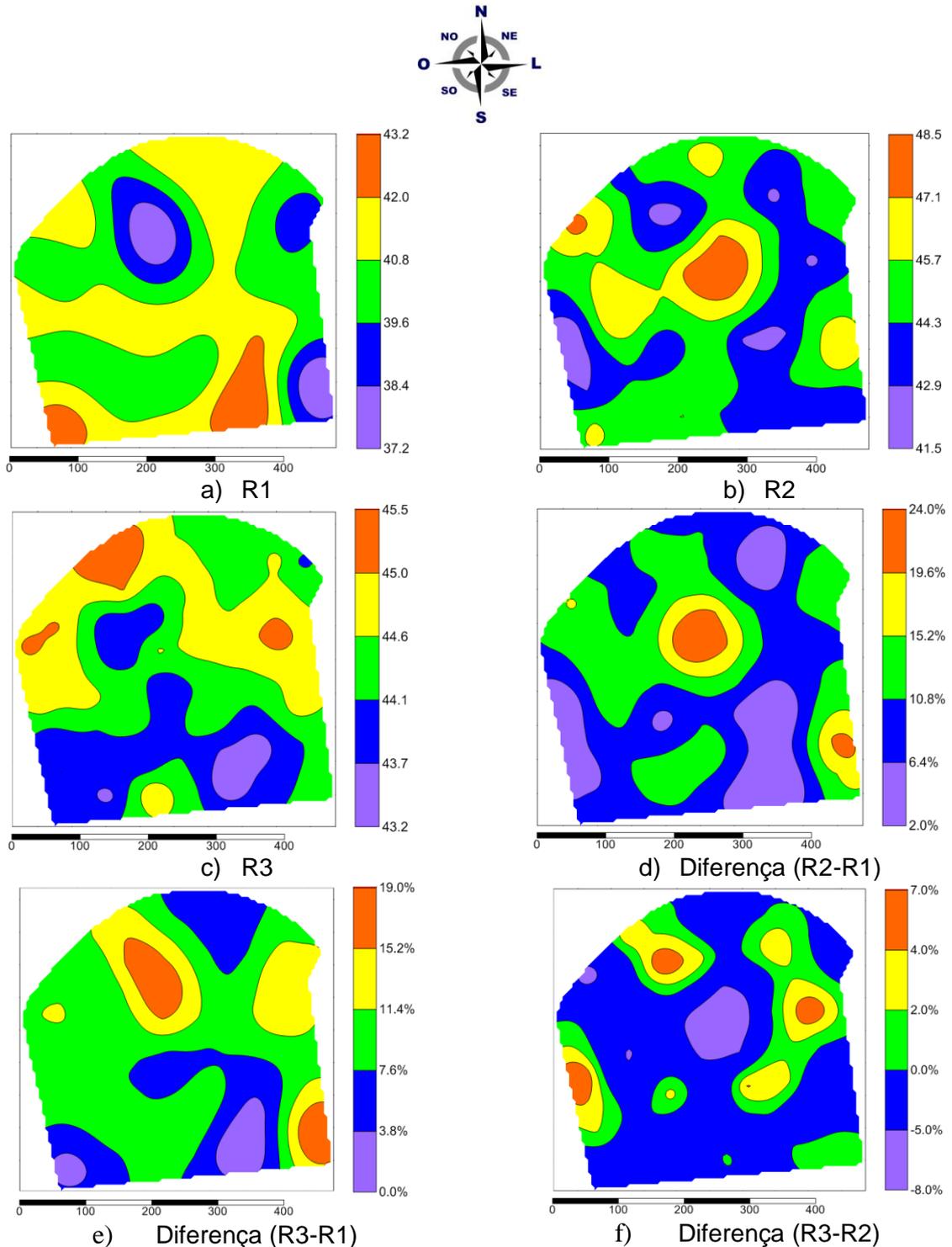


Figura 25 Distribuição espacial do índice de clorofila na cultura de soja em estádios fenológicos R1 (a), R2 (b) R3 (c) do ano de 2011, Serranópolis do Iguaçu – PR

O mapa temático dos índices de clorofila para a cultura de milho do ano de 2011 em estádio V3 (Figura 26a) apresenta maior concentração de valores entre 38,5 e 39,6, sendo estas características da região central e sudoeste do mapa, sendo estes os maiores valores encontrados neste mapa. A norte observa-se a concentração dos menores valores, compreendidos entre 36,8 e 37,9. Para o estádio V6 (Figura 26b), observa-se nas regiões central e sudeste, áreas que variam entre 48,60 e 51,00. Observa-se a predominância dos

valores compreendidos entre 45,0 e 47,4. O mapa temático para o estágio R1 (Figura 26c) apresenta a norte a concentração dos maiores valores de índice de clorofila, sendo estes na faixa de 62,8 a 66,0. A sul, observa-se a variação dos valores na faixa de 58,0 a 61,2, sendo estes os menores valores encontrados no mapa. Observando os mapas das diferenças entre índices de clorofila (Figuras 26d a 26f), pode-se perceber que em toda a área, conforme a cultura se desenvolveu, os índices de clorofila também aumentaram.

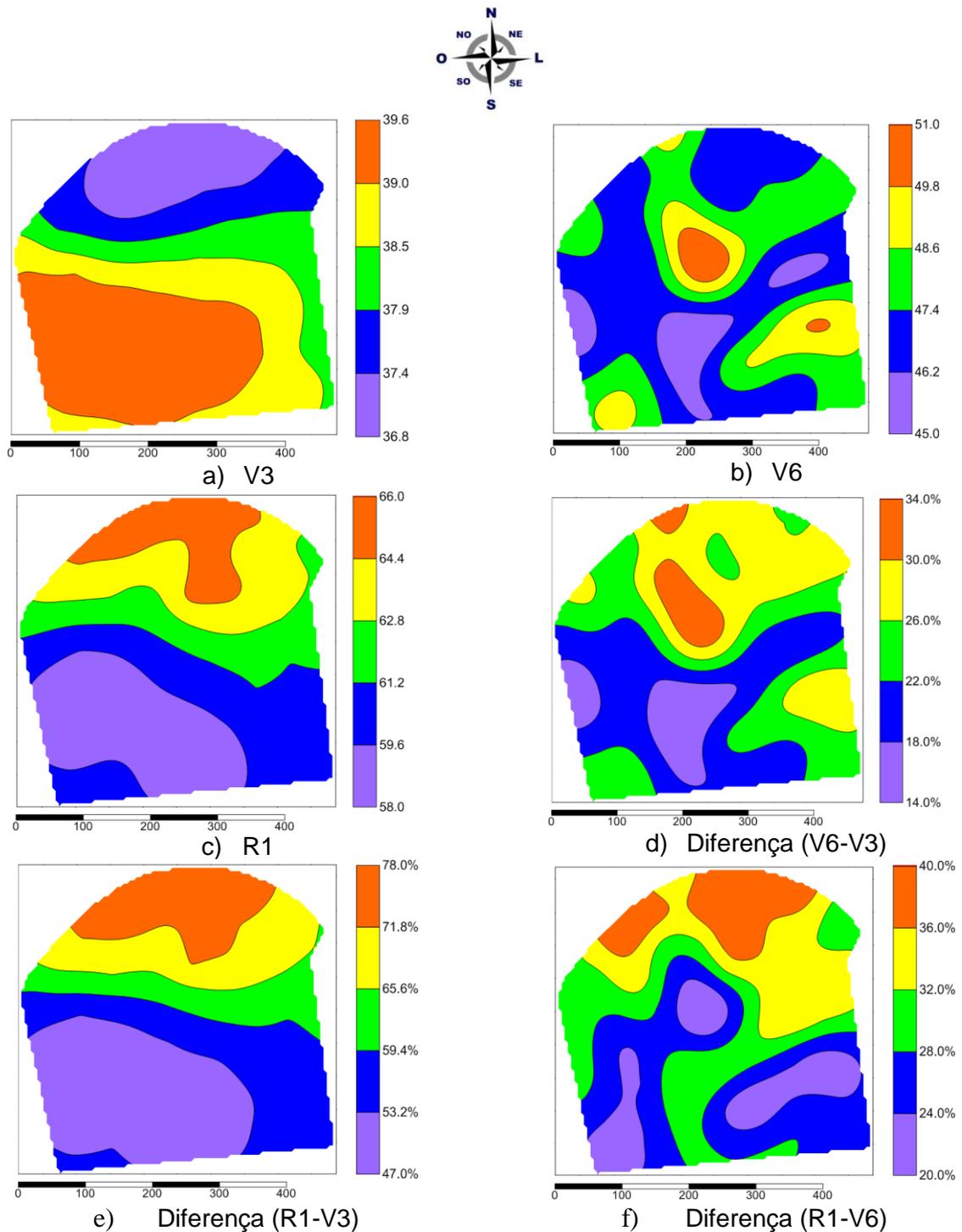


Figura 26 Distribuição espacial do índice de clorofila na cultura de milho em estádios fenológicos V3 (a), V6 (b) R1 (c) do ano de 2011, Serranópolis do Iguaçu – PR

No mapa da distribuição espacial do índice de clorofila para a cultura de milho do ano de 2012, o estádio V3 (Figura 27a) apresenta maior concentração de valores na faixa compreendida entre 55,6 e 59,8.

A noroeste é observada uma pequena área com valores entre 59,8 e 64,0, que correspondem aos maiores valores encontrados. Para o estádio V6 (Figura 27b), observa-se maior concentração de valores na faixa entre 62,4 e 64,1. A norte e a nordeste apresentam-se áreas com variações entre 64,1 e 67,5.

O mapa temático do índice de clorofila em estádio R1 (Figura 27c) apresenta, a norte, a concentração dos maiores valores, sendo estes compreendidos entre 64,4 e 68,0. A sul da área experimental, observa-se uma variação de 59,0 a 62,6 no índice de clorofila, sendo estes os menores valores encontrados no mapa. Observando os mapas das diferenças entre índices de clorofila (Figuras 27d a 27f), com exceção da diferença do estádio R1-V6 (Figura 27f), pode-se perceber que, em toda a área, conforme a cultura se desenvolveu, os índices de clorofila também aumentaram.

A interpretação do mapa de produtividade é de suma importância para a correção dos fatores de produção que persistem ao longo do tempo, como a variação do tipo de solo na área plantada, acidez do solo em locais específicos, deficiência de fertilizantes ou, até, formulação inadequada de N-P-K e locais com falta ou excesso de água (SILVEIRA, 2004).

Para o ano agrícola de 2010/11 (Figura 28a), a produtividade da cultura de soja, na maior parte da área (48%), variou entre 2,15 e 2,29 t ha⁻¹, seguido da classe que compreende os valores entre 2,25 e 2,29 t ha⁻¹, contando esta com 33% do mapa.

A sudoeste e a noroeste, é possível observar a concentração dos maiores valores, compreendidos entre 2,29 e 2,39 t ha⁻¹, correspondendo a 12% do mapa.

No mapa temático referente à produtividade da soja do ano agrícola de 2011/12 (Figura 28b), é possível observar a noroeste e na porção centro sul a concentração dos maiores valores, compreendidos entre 1,52 t ha⁻¹ e 1,70 t ha⁻¹, sendo que esta classe representa 46% do mapa.

A norte e a leste observa-se a variação de valores na faixa de 1,26 t ha⁻¹ a 1,44 t ha⁻¹, representando 40% do mapa, e sendo estes os menores valores de produtividade encontrados na área.

Observando os dados dos mapas, constatou-se que a produtividade do ano agrícola de 2011/12 foi 36% menor em relação ao ano de 2010/11. Observando o mapa da diferença de produtividade entre os dois anos (Figura 28c), percebe-se que a produtividade do ano agrícola 2010/11 foi maior que o ano de 2011/12 em toda a área.

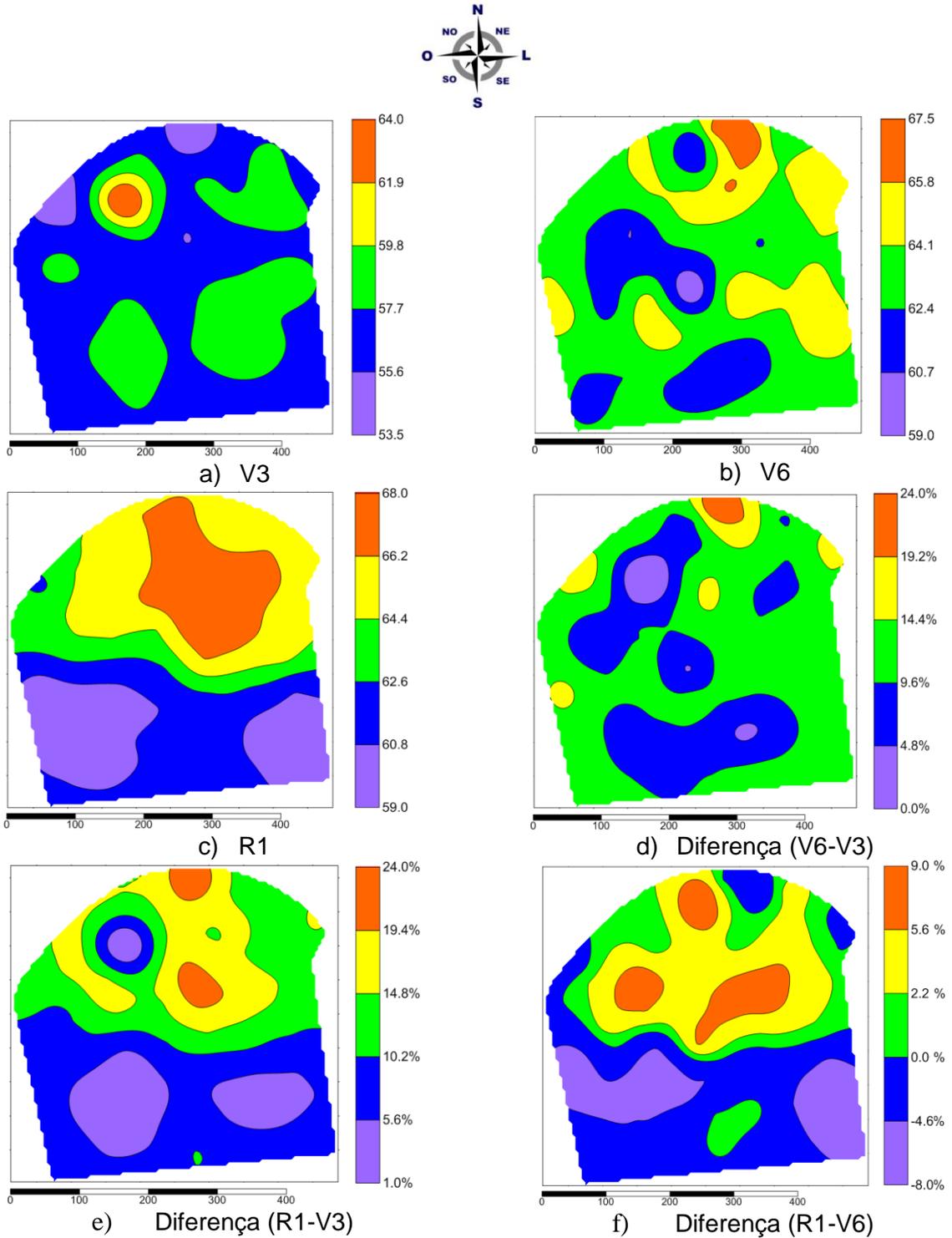


Figura 27 Distribuição espacial do índice de clorofila na cultura de milho em estádios fenológicos V3 (a), V6 (b) R1 (c) do ano de 2012, Serranópolis do Iguaçu – PR

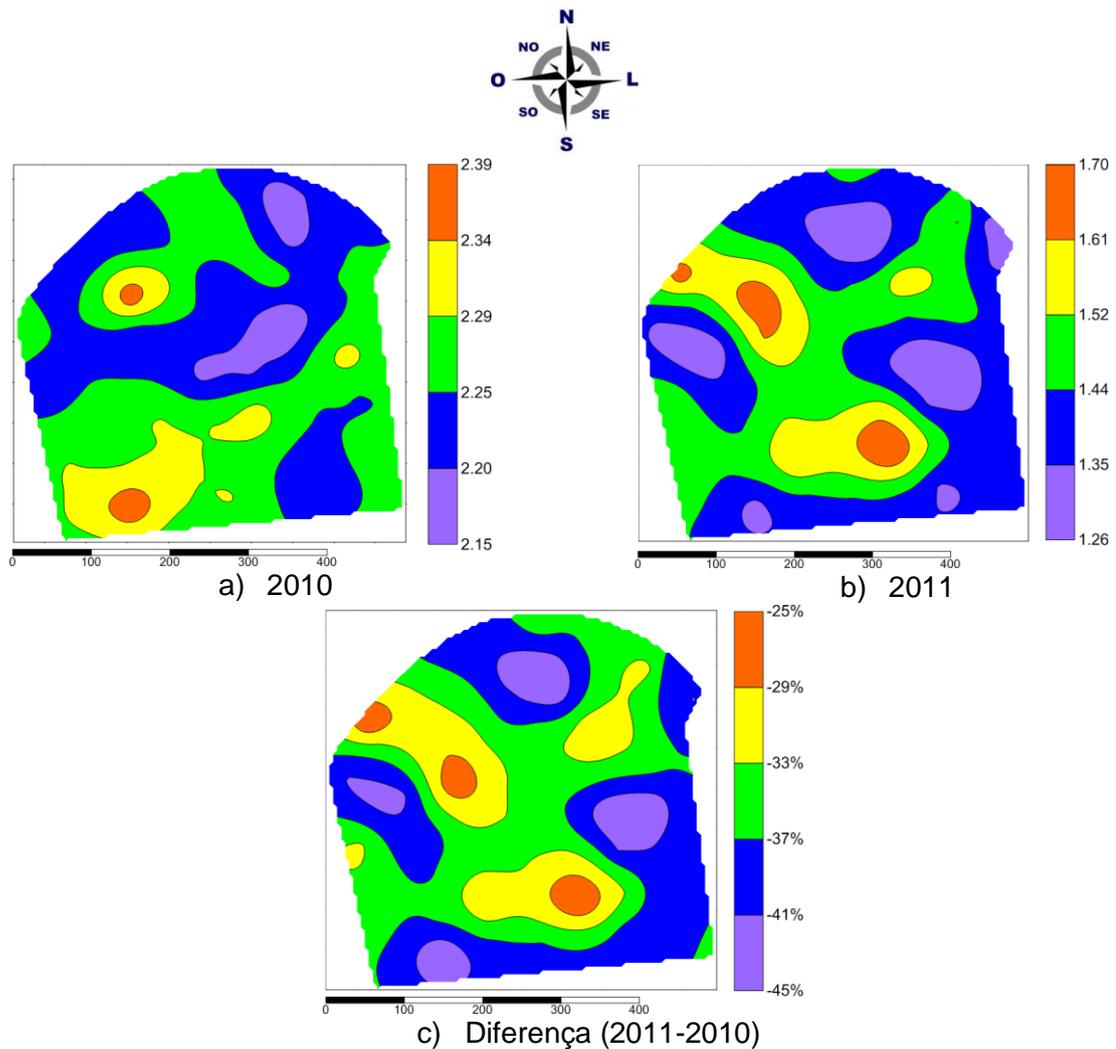


Figura 28 Distribuição espacial da produtividade ($t\ ha^{-1}$) da cultura de soja nos anos agrícola de 2010/11 (a) e 2011/12 (b) e diferença percentual entre os dois anos (c), Serranópolis do Iguaçu – PR

A produtividade da cultura de milho para o ano de 2011 (Figura 29a) variou em sua maior parte (39%) na faixa compreendida entre 4,06 a 4,42 $t\ ha^{-1}$. A noroeste do mapa é possível observar a concentração dos menores valores (3,70 a 4,06 $t\ ha^{-1}$), contando esta com 16% do mapa. Ao sul, é observada a concentração (20% do mapa) dos valores de mais alta produtividade, compreendidos entre 4,78 e 5,50 $t\ ha^{-1}$.

No mapa temático referente à produtividade do milho do ano de 2012 (Figura 29b), é possível observar maior predominância da classe de valores compreendida entre 4,30 e 4,50 $t\ ha^{-1}$, sendo este presente em 46% do mapa. Na região nordeste e sudoeste do mapa é observada uma pequena concentração dos valores compreendidos entre 4,5 a 4,70 $t\ ha^{-1}$, sendo esta classificada como zona de mais alta produtividade, presente em 5% do mapa. Na porção centro norte do mapa, observa-se a concentração da faixa de menor produtividade (3,70 a 3,90 $t\ ha^{-1}$), representando 8% do mapa.

Observando o mapa da diferença de produtividade entre os dois anos (Figura 29c), percebe-se que, na maior parte da área, a produtividade do ano de 2011 foi superior ao ano

de 2012. Nas porções central, noroeste e nordeste da área observam-se regiões de maior produtividade no ano de 2012.

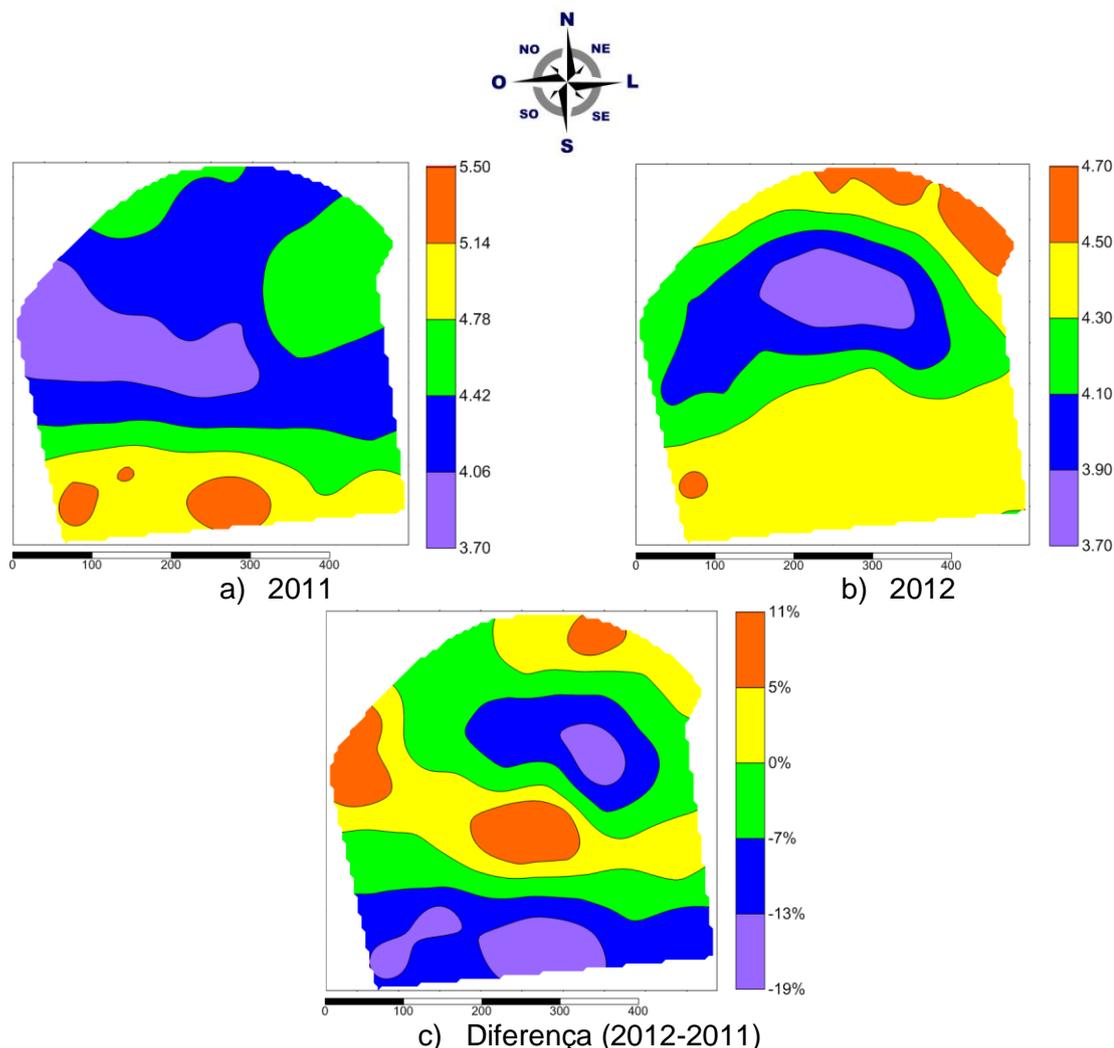


Figura 29 Distribuição espacial da produtividade ($t\ ha^{-1}$) da cultura de milho nos anos agrícola de 2011 (a) e 2012 (b) e diferença percentual entre os dois anos (c), Serranópolis do Iguazu – PR

5.7 Análise da correlação espacial

Na Tabela 14 são apresentados os resultados simplificados da análise das correlações espaciais, utilizando significância de 5% para os atributos químicos do solo (2010 e 2011), o índice de clorofila e a produtividade para a cultura soja (2010/11 e 2011/12) e milho (2011 e 2012).

Os dados de produtividade da cultura de soja do ano agrícola de 2010/11 apresentaram correlação espacial significativa positiva com os atributos C, Ca, Mg, Mn, Zn e pH e correlação negativa com K, Cu, Fe e $H+Al^3$. Dos estádios fenológicos avaliados, apenas o índice de clorofila em estágio V6 apresentou correlação com atributos químicos do solo, sendo esta significativa positiva com os atributos C, Ca, Mg, Mn, Zn e pH e significativa

negativa para os atributos P, K, Cu, Mn, Zn e $H+Al^3$.

Tabela 14 Correlação espacial para os atributos químicos do solo (2010 e 2011), índice de clorofila e produtividade das culturas de soja e milho, Serranópolis do Iguçu – PR.

Atributos químicos do solo (2010), índice de clorofila e produtividade da cultura de soja (2010/11)												
	C	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	$H+Al^3$	pH	Prod.
Prod.	0,03*	-0,01	-0,03*	0,03*	0,07*	-0,06*	-0,03*	0,03*	0,04*	-0,04*	0,05*	-
IC V3	0	-0,02	0	0,01	0,01	-0,01	-0,01	0,01	0,01	-0,02	0,02	0
IC V6	0,04*	-0,04*	-0,1*	0,04*	0,15*	-0,12*	0,01	0,07*	0,07*	-0,04*	0,07*	0,04*
IC R1	-0,01	-0,02	-0,02	0	0,01	0	0,02	0,01	-0,01	0,01	0	0
Atributos químicos do solo (2011), índice de clorofila e produtividade da cultura de soja (2011/12)												
Prod.	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02	0	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	-
IC R1	0,01	-0,01	0	0	0,02	-0,02	0	0,01	0	-0,01	0,01	0
IC R2	0	0	0	-0,01	-0,02*	0,02	-0,01	0	0,01	0,02	-0,02	0
IC R3	-0,01	-0,02*	0,01	-0,02*	-0,03*	0,04*	0	-0,02	0,01	0,01	-0,02	-0,01
Atributos químicos do solo (2011), índice de clorofila e produtividade da cultura do milho (2011)												
Prod.	0	0	-0,02	0,01	0,05*	-0,05*	0,02	0,01	-0,03*	-0,01	0,01	-
IC V3	0	-0,01	-0,07*	0	0,07*	-0,12*	0,02	0,04	-0,01	-0,01	0,01	0,05*
IC V6	0	0	0	0,01	-0,01	0	-0,01	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	-0,01
IC R1	-0,01	0	0,05*	-0,03	-0,09*	0,13*	-0,01	-0,05*	0	0,04*	-0,03	-0,05*
Atributos químicos do solo (2011), índice de clorofila e produtividade da cultura do milho (2012)												
Prod.	-0,01	-0,01	-0,01	0,01	0,03	-0,03	0,02	0,02	-0,02	-0,02	0,02	-
IC V3	0	-0,01	-0,07*	0	0,07*	-0,12*	0,02	0,03*	-0,02	-0,01	0,01	-0,16*
IC V6	0	0	0,01	0,01	-0,01	0	-0,01	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,03
IC R1	-0,01	0	0,05*	-0,03	-0,09*	0,13*	-0,01	-0,04*	0	0,04*	-0,04*	-0,03

Prod. – Produtividade; IC – Índice de clorofila. *valores significativos para nível de significância 5%; *Significativo.

Para o ano agrícola de 2011/12, o índice de clorofila em estágio R2 apresentou correlação significativa negativa com o Mg. O estágio R3 apresentou correlação significativa positiva com o Cu e negativa com P, Ca e Mg. Esta baixa correlação entre os atributos químicos estudados e os índices provavelmente se deve às medições terem sido realizadas em estádios reprodutivos¹.

Os dados de produtividade da cultura de milho do ano de 2011 apresentaram correlação significativa positiva com o atributo químico do solo Mg e significativa negativa com Cu e Zn. Em estágio V3, houve correlação significativa positiva com o magnésio e a produtividade e negativa com K e Cu. Para os resultados da correlação para o estágio R1, observa-se correlação significativa positiva para o K e Cu e $H+Al^3$ e negativa para Mg, Mn e produtividade. Para os dados da cultura de milho do ano de 2012, observa-se correlação positiva do índice de clorofila em estágio V3 com Mg e Mn e negativa com K, Cu e produtividade. Em estágio R1, houve correlação significativa positiva com K, Cu e $H+Al^3$ e negativa para Mg, Mn e pH.

¹ Devido a transtornos climáticos e falha na comunicação com o produtor, foram perdidas as leituras em estádios vegetativos.

A correlação significativa positiva da produtividade e o estágio vegetativo com o C pode estar relacionada aos altos teores encontrados de matéria orgânica no solo, uma vez que, segundo Embrapa (2004), a matéria orgânica é, em grande parte, responsável pela estabilidade das características físicas dos solos, como a relação adequada entre macro e microporos, a retenção de água, e outros, que, por sua vez, afetam direta ou indiretamente a produtividade da soja.

De acordo com Deon (2007), desordens nutricionais podem ser induzidas por manejo da fertilização inadequada e excessiva, dentre elas toxidez e deficiência induzida de um nutriente por outro. Segundo Borkert *et al.* (1994), altos teores de fósforo no solo podem induzir à deficiência de zinco, desde que esses altos teores estejam associados com reduzidas absorção e translocação de Zn, Fe e Cu. Neste estudo, a concentração de P no solo foi classificada como muito alta em 93% da área (Tabela 6). Esta alta concentração de P pode ser o motivo da correlação significativa negativa entre o P e o índice de clorofila em estágio vegetativo e reprodutivo.

Para Caires *et al.* (2004), a calagem é a prática mais eficiente para a correção da acidez dos solos, uma vez que promove a elevação do pH, da saturação por bases e dos teores de cálcio, além de reduzir os níveis de alumínio e manganês trocáveis no solo. Este fato explica a correlação significativa positiva entre a produtividade e estádios fenológicos das culturas de soja e milho para o Ca, Mn, e pH e a significativa negativa para o $H+Al^3$.

Em estudos do efeito da aplicação de manganês no rendimento e na qualidade de sementes de soja, Mann *et al.* (2002) concluíram que a aplicação do Mn, independentemente da cultivar e da forma de aplicação, aumenta a produtividade de grãos, a germinação, a condutividade elétrica, o índice de velocidade de emergência e os teores de proteína e óleo da soja. Estes resultados convergem com os resultados de correlação positiva entre Mn, índices de clorofila nos estádios fenológicos estudados e produtividade obtidos neste trabalho.

As correlações positivas entre o atributo químico do solo Zn com índice de clorofila e produtividade pode ser devido ao fato deste micronutriente essencial estar relacionado às funções vitais que desempenha no metabolismo das plantas, relacionadas ao crescimento e à maturação (VITTI *et al.*, 2007).

Na Tabela 15 são apresentados os resultados simplificados da análise das correlações espaciais para os atributos físicos do solo (2010 e 2011), o índice de clorofila e a produtividade para a cultura soja (2010/11 e 2011/12) e milho (2011 e 2012).

Os dados de produtividade da cultura de soja do ano agrícola de 2010/11 apresentaram correlação espacial significativa positiva com os atributos macroporosidade e teor de argila e significativa negativa com os atributos microporosidade e areia. Dos estádios fenológicos avaliados, os índices de clorofila em estágio V3 apresentaram correlação significativa positiva com o atributo macroporosidade. Em estágio

V6, os dados apresentaram correlação significativa positiva com atributos macroporosidade, RSP 30-40 cm e teor de argila e significativa negativa para os atributos RSP 10-20 cm, areia e silte.

Tabela 15 Correlação espacial para os atributos físicos do solo (2010 e 2011), índice de clorofila e produtividade das culturas de soja e milho, Serranópolis do Iguçu – PR.

Atributos físicos do solo (2010), índice de clorofila e produtividade da cultura de soja (2010/11)												
	Micro	Dens	Macro	Poros	T. de água	RSP 00-10	RSP 10-20	RSP 20-30	RSP 30-40	Areia	Argila	Silte
Prod.	-0,03*	0,02	0,04*	-0,02	0	-0,01	-0,02	0,01	0,01	-0,06*	0,04*	-0,01
IC V3	-0,01	0	0,03*	0	0,01	-0,01	-0,01	0	-0,01	0,01	0	-0,01
IC V6	0	-0,02	0,03*	0,02	0,02	-0,01	-0,04*	0,04	0,06*	-0,18*	0,13*	-0,04*
IC R1	0	0	-0,02	0	-0,01	-0,02	0	0,02	0,01	-0,04	0,03	-0,01
Atributos físicos do solo (2011), índice de clorofila e produtividade da cultura de soja (2011/12)												
Prod.	0,03	0,03	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,04	0,02	-0,01
IC R1	0,01	0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,01	-0,01
IC R2	0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,01
IC R3	-0,01	-0,03	0,01	0,00	-0,02*	0,02*	0,03*	0,01	-0,01	0,05*	-0,04*	0,01
Atributos físicos do solo (2011), índice de clorofila e produtividade da cultura de milho (2011)												
Prod.	0,00	0,04*	-0,02	-0,01	0,01	0,01	0,00	0,03*	0,05*	-0,05*	0,05*	-0,03*
IC V3	0,08*	0,13*	-0,07*	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	0,03	0,04	-0,20*	0,13*	-0,02
IC V6	-0,01	-0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,01	0,00	0,02	-0,01	0,00
IC R1	-0,07*	-0,11*	0,05*	0,00	0,00	0,02	0,04*	-0,03	-0,04*	0,18*	-0,12*	0,02
Atributos físicos do solo (2011), índice de clorofila e produtividade da cultura de milho (2012)												
Prod.	-0,03*	-0,01	0,02	-0,01	0,01	-0,01	-0,03*	0,01	0,01	-0,02	0,01	-0,01
IC V3	-0,02	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,01	-0,01	0,01	-0,01
IC V6	-0,05*	-0,05*	0,05*	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,06*	-0,04*	0,01
IC R1	-0,07*	-0,12*	0,08*	0,01	0,00	0,02	0,05*	-0,01	-0,02	0,16*	-0,10*	0,02

Prod. – Produtividade; IC – Índice de clorofila; Micro – Microporosidade; Dens. - Densidade; Poros. – Porosidade Total; T. de água – Teor de Água; Macro – Macroporosidade; RSP – Resistência do solo a penetração.*Significativo.

Para o ano agrícola de 2011/12, os dados de produtividade apresentaram correlação espacial significativa positiva com os atributos microporosidade e densidade e negativa com macroporosidade. O índice de clorofila em estágio R3 apresentou correlação significativa positiva com RSP 00-10 cm, RSP 10-20 cm e areia e inversa com teor de água e argila.

Os dados de produtividade da cultura de milho do ano de 2011 apresentaram correlação significativa positiva com os atributos físicos do solo densidade, RSP 20-30 cm, RSP 30-40 cm e argila, e significativa negativa com areia e silte. Em estágio V3, houve correlação significativa positiva com microporosidade, densidade e argila, e negativa com macroporosidade e areia. Para os resultados da correlação para o estágio R1, observa-se correlação significativa positiva para macroporosidade, RSP 10-20 cm e areia e negativa para microporosidade, densidade, RSP 30-40 e teor de argila. Com os dados da cultura de milho do ano de 2012, observa-se a correlação negativa da produtividade com microporosidade e RSP 10-20 cm. Em estágio V6 e R1, observam-se correlações

significativas positivas com os atributos macroporosidade, RSP 10-20 cm (somente R1), e areia e significativa negativa para microporosidade, densidade e argila.

As correlações entre o índice de clorofila durante o desenvolvimento das culturas e a produtividade com os atributos texturais (argila silte e areia) podem estar relacionadas à influência destes atributos no desenvolvimento das plantas, como na regulação da aeração, o armazenamento e a circulação de água no solo, a penetração das raízes, a disponibilidade de nutrientes, a atividade micro e microbiológica e a temperatura do solo (COSTA et al., 2003; WEIRICH NETO et al., 2002).

Uma vez que a microporosidade, macroporosidade e, conseqüentemente, porosidade total estão relacionadas com o armazenamento de água no solo, a aeração e a circulação dos nutrientes (HILLEL, 1970; VEIGA, 2005) e que, segundo Kiehl (1979), quanto mais elevada a densidade do solo, maior será sua compactação, menor será sua estruturação, menor sua porosidade total e, conseqüentemente, maiores serão suas restrições para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, as correlações destas variáveis com os índices de clorofila em estádios fenológicos e a produtividade das culturas de soja e milho podem estar relacionadas ao impacto destas variáveis, principalmente no desenvolvimento radicular das plantas.

6 CONCLUSÕES

- A correlação espacial entre índice de clorofila e produtividade se mostrou significativa, em sua maior parte, nos estádios vegetativos, demonstrando sua importância, uma vez que nos primeiros estádios de desenvolvimento das culturas, ainda se pode intervir com o uso de insumos;
- A produtividade apresentou correlação espacial com atributos químicos e físicos do solo, demonstrando a importância de estudos de manejo destas variáveis para que as mesmas venham a interagir de forma positiva na nutrição das plantas e, conseqüentemente, aumentem a produtividade;
- Todos os atributos químicos e físicos do solo avaliados apresentaram estrutura de dependência espacial, permitindo o manejo localizado destes atributos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, I. N.; PINTO, J. E. B. P.; FURTINI NETO, A.E. Influence of nitrogen and phosphorus in the biomass production and induction of mucilage in “insulina” plants. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 20, n.4, p.536-540, 2002.
- ALCÂNTARA, G. R. **Variabilidade espacial de características físico-químicas e condutividade elétrica aparente do solo sob plantio direto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Goiás. Anápolis, GO, 2010, 91p.
- AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. Brasília. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1101-1110, 2007.
- ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. Solos, análises dizem o que falta. **Revista DBO Agrotecnologia**, local. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/artigos/microelementos.pdf>> Acesso em 17 jun. 2011.
- ARGENTA, G. SILVA.; P. R. F.; FOSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L. L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.109-119, 2003.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da.; BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 715-722. 2001b.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da.; BARTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001
- ASSUMPÇÃO, R.A. B.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G.; JOHANN, J.A. Uso da krigagem indicatriz na avaliação da probabilidade de produtividade da soja segundo os padrões Regional, Estadual e Nacional. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.2, p. 165-171, 2007.
- BAZZI, C. L. **Software para definição e avaliação de unidades de manejo em agricultura de precisão**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Cascavel, PR. 2011, 111p.
- BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho Amarelo, sob diferentes usos. Viçosa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.4, p.987-995 2001.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. Brasília. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.575-580, 2004.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.7, p.849-856, 2003.
- BINGHAM, F. T. Phosphorus. In: CHAPMAN, H.D., ed. **Diagnostic criteria for plants and soils**. Abilene, Homer D. Chapman. p.324-361, 1966.

BONHAM C. D.; REICH R. M.; LEADER K. K. Spatial cross-correlation of *Bouteloua gracilis* with site factors. **Journal of Japanese Society of Grassland Science**, Tochigi, v.41, n.1, p.196-201, 1995.

BORKERT, C. M.; YORINORI, J. T.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; ALMEIDA, A.M. R.; FERREIRA, L. P.; SFREDO, G.J. Seja o Doutor da sua Soja. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.66, 1994. 16 p. (Arquivo do Agrônomo).

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H.; (eds). Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade. **POTAFOS**, Piracicaba, p.63-145, 1993.

BULLOCK, D. G.; ANDERSON, D.S. Evaluation of the Minolta SPAD - 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.21, n.4 p.741-755, 1998.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.125-136, 2004.

CÂMARA, G. M. S. **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba, 2000. 450p.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURVO, R. F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A.; AQUINO, R. E. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. **Revista Agroambiente**, Boa Vista, v.6, n.1, p.09-16, 2012.

CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; BARTHOLO, G. F.; PEREIRA, A. A.; NOGUEIRA, Â. M.; CARVALHO, A. M. de. Comportamento de progênies F₄ obtidas por cruzamentos de 'Icatu' com 'Catimor'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.1, p.47-52, 2009.

CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; SILVA JÚNIOR, C. A.; CAVALIERI, K. M. V.; SANTOS, C. F. B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. Campina Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.9, p.940-949, 2011.

CARVALHO, M. P.; SORATTO, R. P.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos físicos em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob preparo convencional em Selvíria, estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1353-1361, 2002.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em vitória Brasil (sp). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p. 695-703, 2003.

CASTRIGNANO, A.; GIUGLIARINI, L.; RISALITI, R.; MARTINELLI, N. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. **Geoderma**, Amsterdam, v.97, n.1-2, p. 39-60, 2000.

CASTRO, O.M. Sistema de preparo de solo e rotação de culturas para milho e soja. **Relatório Técnico Anual**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1988.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.15, n.3, p.237-243, 2010.

CAVALCANTE, E.G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.6, p. 1329-1339, 2007.

CIRANI, C. B. S.; MORAES, M. A. F. D.de; Inovação na indústria sucroalcooleira paulista: Os determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão. **Revista Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.48 n.4 p.543-565, 2010.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London: Applied science publishers Ltda, 1979. 123p.

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.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento**, agosto 2011. Brasília: Conab, 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento**, agosto 2012. Brasília: Conab, 2012.

CORRÊA, M. J. P.; ALVES, L. da. C. A. Efeitos da aplicação de herbicidas sobre a eficiência fotoquímica em plantas de soja convencional e geneticamente modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.5, p.1136-1145, 2010.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

COSTA, J. M.; OLIVEIRA, E, F. Fertilidade do solo e nutrição das plantas. **COAMO/COODETEC**.2a.edição. Cascavel, 93 p. 2001.

CRESSIE, N. Fitting variogram models by weighted least squares. **Mathematical Geology**, New York, v.17, n.4, p. 563-586, 1985.

CRESSIE, N.A. **Statistics for spatial data**. Wiley Series in probability and mathematical statistics, New York: John Wiley & Sons, 1993. 900 p.

CRESSIE, N.A.; HAWKINS, D.M. Robust estimation of the variogram. **Mathematical Geology**, New York, v.12, n.2, p.115-125, 1980.

CRUZ, J. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MATIAS, S. S. R.; TAMAYO, J. H. C.; TAVARES, R. C. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar.. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, p.361-368, 2010.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNADES, M.S., ed. Nutrição mineral de plantas. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2006. p.328-352.

DENT, B. D. **Principles of thematic map design**. Reading: Addison-Wesley, 1985. 398 p.

DEON, M. D. **Crescimento e nutrição mineral da soja submetida a excesso de P, S, K, Ca e Mg em solução nutritiva**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, SP. 2007.

DRUCK, S. A geoestatística e os sistemas de informações geográficas. **Espaço & Geografia**, Planaltina, v.5, n.1, p.1-15,. 2002

DUARTE, J. O. Introdução e importância econômica do milho. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2002.

EMBRAPA –Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Cultivo do milho. **Sistemas de Produção – Embrapa Milho e Sorgo**, n.6, 2010.

EMBRAPA –Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999.

EMBRAPA – Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Tecnologias de produção de soja – Paraná – 2007. **Sistemas de Produção – Embrapa Soja**, Londrina, n.10, 2006. 217p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Response of common bean, upland rice, corn, wheat, and soybean to soil fertility of an Oxisol. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.20, p.1279-1289, 1997.

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E.A. A.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J.A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.463-476, 2008.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da Soja. **Circular Técnica 48**, Embrapa, Londrina, p. 1-9, 2007.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C.E. **Stages of Soybean Development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report, 80).

FELLER.C.; BEARE. M.H.; Physical control of soil organics matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.69-116. 1997.

FERNANDES, L. J. C.; BULL, L. T.; CORRÊA, J. C.; PAVAN, M. A.; IMAIZUMI, I. Resposta de plantas de alho livres de vírus ao nitrogênio em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.28, n.1, p.97-101, 2010.

FERNANDES, L. J. C.;VILLAS BÔAS, R. L.; BACKES, C.; LIMA, C. P.; BULL, L. T. Contribuição das concentrações de nitrogênio em bulbilhos de alho tratados com doses de N em cobertura. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.29, n.1, p.26-31, 2011.

FRANCHINI, J. C.; TORRES, E.; GONÇALVES, S. L.; SARAIVA, O.F. Manejo do solo para produção sustentável da soja. **Circular Técnica, 46**. Embrapa – Soja, Londrina – PR. 2007.

GARCIA, C. M. P.; CARVALHO, M. P.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; CARVALHO, F. L. B. M.; NEGRO, S. R. L.; ALMEIRA JÚNIOR, A. J. C. D.; PARIZ, C. M. Aspectos lineares e espaciais dos teores de nitrogênio foliar, proteína bruta e clorofila do capim braquiária em função da acidez de um latossolo vermelho aluminoférrico. Águas de Lindóia. **19ºCongresso brasileiro de zootecnia, FZEA/USP-ABZ**, 2009.

GENRO JÚNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.3, p. 477-484, 2004.

GHOLIZADEH A.; AMIN, M. S. M.; ANUAR, A. R.; AIMRUN, W. Evaluation of SPAD chlorophyll meter in two different rice growth stages and its temporal variability. **European Journal of Scientific Research**, Victoria Mahé, v.37, n.4, p.591-598, 2009.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BULL, L. T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1049-1056, 2003.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 223-227, fev. 2002.

GONÇALVES, A.C. A.; FOLEGATTI, M. V.;MATA, J.D.V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um argissolo vermelho. **ActaScientiarum**, Maringá, v.23, n.5, p. 1149-1157, 2001.

GUEDES, L.P. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A.; SOUZA, E.G. Anisotropia no estudo da variabilidade espacial de algumas variáveis químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2217-2226, dez. 2008.

HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231p.

HURTADO, S. M. C.; SILVA, C. A.; RESENDE A.V.;CORAZZA E. J.; SHIRATSUCHI L. S.; HIGASHIKAWA F. S. Sensibilidade do clorofilômetro para diagnóstico nutricional de nitrogênio no milho. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, vol. 34 n.3, jun. 2010.

HURTADO, S. M. C.; RESENDE, A. V.; SILVA, C. A.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Variação espacial da resposta do milho à adubação nitrogenada de cobertura em lavoura no cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.44, n.3, p.300-309, 2009.

HURTADO, S. M. C.; RESENDE, A. V. de; SILVA, C. A.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.6, p.1011-1017, 2011.

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

JOHANN, J. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E.G.; ROCHA, J.V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n.2-3, p. 212-219, dez. 2004.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

KONOPATZKI, M. R. S. **Variabilidade espacial e temporal da produtividade, atributos do solo, planta e características físico-químicas de frutos em um pomar de peras**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Cascavel, PR. 2011, 170p.

LAMPARELLI, A. C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, R. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba (Agropecuária), 2001. 118 p.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERTZ, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto.**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1131-1140, 2007.

LIMA, D. V.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; MORAIS, A. R.; CURI, N.; HIGA, N.T. Macro e micronutrientes no crescimento do braquiarião e da soja em latossolos sob cerrado da região de Cuiabá -MT. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, p.96-104, 2000.

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B.; QUARTEZANI, W. Z. Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo sob cultivo de pimenta-do-reino. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.15, n.3, p.290-298, 2007.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, Amsterdam, v.116, p.107-136, 2003.

LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa do Fosfato. 1995. 177p

LOPES, A.S. Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo. Piracicaba: **POTAFOS**, 1984, 2a.ed. 162p.

LOPES, L. H. A.; LOPES, E. A. **Mapas temáticos**. Expressão gráfica para análise de resultados de pesquisas envolvendo espaço e tempo. Curitiba, Graphica, 2007.

LSPA - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. **Dados de previsão da safra**. Novembro 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=2&z=t&o=26&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1>> Acesso em: 05 dez. 2012.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.591-599, 2007.

MAGALHÃES, C. P.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da produção de milho. **Circular Técnica 76**, Sete Lagoas, p. 1-10. set. 2006.

MAGALHÃES, R. T.; OLIVEIRA, I. P.; KLIEMANN, H.J. Relações da produção de massa seca e as quantidades de nutrientes exportados por *Brachiaria brizantha* em solos sob o manejo pelo sistema "barreirão". **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.32, p.13-20, 2002.

MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P.; LAVRES JUNIOR, O.A.J. Efeitos do manganês sobre a soja cultivada em solo de Cerrado do triângulo mineiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n.35, 1629-1636, 2000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações 2a. ed. **POTAFOS**, Piracicaba, 1997. 319p.

MANN, E. N.; RESENDE, P. M.; MANN, R. S.; CARVALHO, J. G.; PINHO, E. V. R. V. Efeito da aplicação de manganês no rendimento e na qualidade de sementes de soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.37, n.12, p.1757-1764, 2002.

MARENCO, R. A.; LOPES, N.F. **Fisiologia Vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV, 439p. 2005.

MATHERON, G. Principles of geostatistics: **Economic Geology Journal**, Littleton, 1963. p. 1246-1266.

MEGDA, M. M.; CARVALHO, M. P.; VIEIRA, M. X.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, E.C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um Latossolo Vermelho de Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p. 781-788, 2008.

MELLO, G.; BUENO, C.R. P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p. 294-305, 2006.

MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do deserto salino, no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 01, p. 19-27, 2008.

MIRANDA, J.I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Embrapa, Brasília, 2005. 425p.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão**: o gerenciamento da variabilidade. Piracicaba, SP, 2001. 83p.

MOREIRA, M. A.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; ARAÚJO, R. F. Índices para avaliar o estado de nitrogênio da batata multiplicada por distintos materiais propagativos. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.3 p. 384-392, 2011.

MOREL FILHO, P. B.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.7, p.1843-1848, 2008.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOTOMIYA, W. R.; MOLIN, J. P.; LIRA, A.; OLIVEIRA, J. R. G.; BISCARO, G. A. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro. **Revista Agrarian**, Dourados, v.4, n.11, p.01-09, 2011.

MURDOCK, L.; JONES, S.; BOWLEY, C.; NEEDHAM, P.; JAMES, J. HOWE, P. **Using a chlorophyll meter to make nitrogen recommendations on wheat**. Kentucky Cooperative Extension Service, Kentucky , 1997. 4p

OLIVEIRA, E. de; SILVA, F. M. da.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, Z. M. de. Eliminação de linhas em cafeeiros adensados por meio semimecanizado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.6, p.1826-1830, 2007.

OLNESS, A.; BENOIT, G.R. A closer look at corn nutrient demand. **Better Crops with Plant Food**, Atlanta, v.76, n.2, p.18-20, 1992.

PELTONEN, J.; VIRTANEN, A.; HAGGREN, E. Using a Chlorophyll meter to optimize fertilizer application. **Journal of Agronomy and crop science**, Berlin, v.174, n.5, p.309-318, 1995.

PENTEADO, S.R. **Adubação Verde e Produção de Biomassa**: Melhoria e Recuperação dos Solos. Campinas - SP, Fraga e Penteado: Livros Via Orgânica, 2007, 164p.

PEREIRA, A. R. Aspectos Fisiológicos da Produtividade Vegetal. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. Campinas, v.1, p.0139-142, 1989

PERES, L. E. P. **Nutrição Mineral**. Apostila, 2002. Disponível em: <<http://ebookbrowse.com/nutricao-mineral-de-plantas-pdf-d48132550>> Acesso em: 17 jun. 2011.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, G. H. Estatística Aplicada a Experimentos Agronômicos e Florestais. Piracicaba: **Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz**, 2002. 307 p.

PIMENTEL, M. A. G.; SANTOS, J. P. dos.; LORINI, I. Cultivo do milho – praga de grãos armazenados. **Embrapa milho e sorgo**. 7a. ed. 2011.

PONS, T. L.; PEARCY, R. W. Nitrogen reallocation and photosynthetic acclimation in response to partial shading in soybean plants. **Physiologia Plantarum**, Sweden, v.92, p.636-644, 1994.

PONTELLI, C. B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2006.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres.; **POTAFOS**, Piracicaba, 1991. 343p.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.12, n.4, p.381–384, 2008.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F. da.; ARGENTA, G.; SANGOI, L. Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p. 1637-1645, 2004.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F. da.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A. da.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M. Índices nutricionais de N e produtividade de milho em diferentes níveis de manejo e de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.4, p.390-397, 2011.

RAMIREZ-LOPEZ, L.; REINA-SANCHEZ, A.; CAMACHO-TAMAYO, J.H. Variabilidad espacial de atributos físicos de un Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colômbia. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p. 55-63, 2008.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L.E.A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.102, n.2, p. 242-254, 2009.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v.110, n.1-2, p.131-146, 2002.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 103, p. 1-20. 2003.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G.O. Como a planta de soja se desenvolve. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, p. 3-20, 1997.

ROESSING, A. C.; DALL'AGNOL, A.; LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H.; OLIVEIRA, A.B. O complexo agroindustrial da soja brasileira. **Circular Técnica**, 43. Embrapa soja. Londrina. 2007.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.283-293, 2009.

RUAS, R. A. A.; BRITO, A. B.; CERQUEIRA, E. S. A.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C. Análise da variabilidade espacial da clorofila em cultura de café. Londrina. SPCB – Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. **Anais...**, 2005.

SALLA, L.; RODRIGUES, J. C, MARENOS, R. A. Teores de clorofila em árvores tropicais determinados com o SPAD-502. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 59-161, 2007.

SANCHEZ, R. B.; MARQUES JUNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; MARTINS FILHO, M. V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Revista Bragantia**, Campinas, v.68, n.4, p.1095-1103, 2009.

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G.; MONTENEGRO, S. M, G. L.; ANDRADE, T. S. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.8, p.828–835, 2012.

SCHAFFRATH, V.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A.C. A.; FIDALSKI, J. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p. 1369-1377, 2008.

SCHEPERS, J. S. FRANCIS, D. D.; VIGIL, N.; BELOW, F. E. Comparisons of corn leaf nitrogen and chlorophyll meter readings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, n.17, p.2173-2187, 1992.

SEAB – Secretaria da agricultura e do abastecimento departamento de economia rural. **Análise da conjuntura agropecuária**. Curitiba: SEAB, 2011.

SHIBLES, R. M.; WEBER, C.R. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, Madison, v.6, p.55-59, 1966.

SHIBLES, R. M.; WEBER, C.R. Leaf area, solar radiation interception, and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, Madison, v.6, p.575-577, 1965.

SILVA, F. M. da.; ALVES, M. de. C.; SOUZA, J. C. S.; OLIVEIRA, M. S. Efeitos da colheita manual na bionalidade do cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.3, p.25-632, 2010.

SILVA, F. M. da.; SOUZA, Z. M. de; FIGUEIREDO, C. A. P. de; VIEIRA, L. H. de S.; OLIVEIRA, E. de. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.1, p.231-241, 2008.

SILVA, M. C. C.; COELHO, F. S.; BRAUN, H.; FONTES, P. C. R. Índice SPAD em função de diferentes horários e posições no folíolo da batata sob fertilização nitrogenada. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.42, n.4, p.971-977, 2011.

SILVA, M. C. C.; FONTES, P. C. R.; MIRANDA, G. V. Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.27, n.1, p.17-22, 2009.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G.; Avaliação da variabilidade espacial de atributos químicos de um solo do perímetro irrigado de Petrolina, PE. Areia. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.27, n.1, p.5-12, 2006.

SILVA, P.R. F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A.A. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p. 1011-1020, 2006.

SILVA, R.M. **Introdução ao geoprocessamento**: conceitos, técnicas e aplicações. Novo Hamburgo: Feevale, 2007, 176 p.

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 Arenico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1013-1020, 2003.

SILVEIRA, A. C.da. **Avaliação de desempenho aparelhos receptores GPS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Faculdade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2004, 164p.

SILVEIRA, P. M. da.; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.9, p.1083-1087, 2003.

SINCLAIR, J.B. Soybeans. In: BENNETT, W.F., ed. **Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants**, Saint Paul, APS, p.99-103, 1993.

SOFIATTI, V.; GREIGHT, G.; SILVA, F. M. O.; BRANDÃO, Z. N.; SILVA, D. M. A.; SILVA, V. N.B. **Determinação da concentração de pigmentos da fotossíntese em folhas de algodoeiro por meio do clorofilômetro portátil CLOROFILOG-1030**. Foz do Iguaçu, p. 852-858, 2009

SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um LATOSSOLO em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1067-1074, 2003.

SOUZA, G. S. de; LIMA, J. S. de S.; XAVIER, A. C.; ROCHA, W. S. D. da. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.11, n.1, p.073-081, 2010.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.937-944, 2004.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; BENTO, M.J.C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um LATOSSOLO Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.8, n.1, p.51-58, 2004.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, I. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e

do teor de água do solo sobcultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.128-134, 2006.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.937-944, 2004.

SPERANZA, E. A. **Métodos e ferramentas de interpolação para geração de mapas georreferenciados para tomada de decisão em Irrigação de Precisão**. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade São Paulo. São Carlos, SP. 2008.

STRUDLEY, M. W.; GREEN, T. R.; ASCOUGH, J. C. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.99, n.1, p. 4-48, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**.3.ed. Porto Alegre: Artmed, 719p., 2004.

TERRA, V. S. S.; REISSER JÚNIOR, C.; TIMM, L. C.; CARVALHO, F. L. C.; PEREIRA, J. F. M. Variabilidade espacial dos atributos físicos numa área cultivada com pêssego. In: **Agricultura de precisão: um novo olhar**. Embrapa Instrumentação, p.212-216, 2011.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A.C. S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.4, p. 795-801, 2002.

VALENCIA, L.I. O.; MEIRELLES, M.S. P.; BETTINI, C. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. cap.4.

VEIGA, M. **Propriedades de um Nitossolo Vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas**. 2005. 110p.Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

VENDRUSCULO, L.G.; MAGALHAES, P.S. G.; VIEIRA, S. R.; CARVALHO, J.R.P. Computational system for geostatistical analysis. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.1, p. 100-107, 2004.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.6, p. 1271-1280, 2007.

VIEIRA, S. R.; GONZALEZ, A.P. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p. 127-138, 2003.

VIEIRA, V. A. S.; MELLO, C. R.; LIMA, J. M. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma microbacia hidrográfica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1477-1485, 2007.

VITTI, C. G.; SERRANO, de E. G. C. O Zinco na agricultura. **Revista DBO Agrotecnologia**, São Paulo, v. 3, p. 10-11, 2007.

VON ELBE J.H. Colorantes. In: FENNEMA, O.W. **Química de los alimentos**. 2.ed. Zaragoza : Wisconsin - Madison, 2000. Cap.10, p.782 799.

WEIRICH NETO, P. H.; ROSA, A. L. T.; GOMES, J. A. Suscetibilidade de dois tipos de solo a compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.6, n.2, p.349-353, 2002.

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.

WOLFF, W. M.; FLOSS, E. L. Correlação entre teores de nitrogênio e de clorofila na folha com o rendimento de grãos de aveia branca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.6, p.1510-1515, 2008.

WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKONSKI, R. P.; CLAYTON M. K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer applications. **Journal of production agriculture**, Madison v.7, n.4, p.441-448. 1994.

YASREBI, J.; SAFFARI, M.; FATHI, H.; KARIMIAN, N.; MOAZALLAHI, M.; GAZNI, R. Evaluation and comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting methods for prediction of spatial variability of some soil chemical parameters. **Research Journal of Biological Sciences**, Faisalabad, v.4, n.1, p. 93-102, 2009.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p.1000-1007, 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No caso em estudo em que houve variabilidade espacial do índice de clorofila, as correções dos atributos a ela associada, principalmente o nitrogênio, deverá ser feita por aplicação localizada. Para tanto, a quantidade de N a ser aplicada deve ser definida em um experimento paralelo que relacione a necessidade de N a ser suplementada em função do IC, utilizando a mesma variedade de cultura e o mesmo tipo de solo.