



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

CAMPUS ARAGUATINS

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

LAFAIETE DE SOUSA SANTOS

**TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NO AUXÍLIO DA TOMADA DE
DECISÃO EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS**

ARAGUATINS

2016

LAFAIETE DE SOUSA SANTOS

**TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NO AUXÍLIO DA TOMADA DE
DECISÃO EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins – *Campus Araguatins*, para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Me Lineardo Ferreira de Sampaio
Melo

Coorientadora: Prof^a. Ma Suzana Daniela Rocha
Santos e Silva

ARAGUATINS

2016

Santos, Lafaiete de Sousa

Técnicas de agricultura de precisão no auxílio da tomada de
decisão em pequenas propriedades rurais:

/ Lafaiete de Sousa Santos. – Araguatins, 2016.

43 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado
em Agronomia) – Instituto Federal de Educação do Tocantins,
Campus Araguatins, 2016.

Orientador: Prof. Me. Lineardo Ferreira de Sampaio Melo

Coorientadora: Prof^ª. Ma Suzana Daniela Rocha Santos e Silva

1. Geoestatística. 2. GPS. 3. Fertilidade. I. Título

LAFAIETE DE SOUSA SANTOS

**TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO NO AUXÍLIO DA TOMADA DE
DECISÃO EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins – *Campus Araguatins*, para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Me Lineardo Ferreira de Sampaio
Melo

Aprovado em 01 de junho de 2016.

BANCA AVALIADORA

Prof. Me Lineardo Ferreira de Sampaio Melo (Orientador)
IFTO – *Campus Araguatins*

Prof. Dr. Alcione Talaska
IFTO – *Campus Araguatins*

Prof. Esp. Leyza de Souza Rodrigues
IFTO – *Campus Araguatins*

Dedico...

*Aos meus pais, Maria Dracy F.S. Santos e
Gonçalves Pereira Santos, por serem
principal fonte de incentivo.*

AGRADEÇO...

Primeiramente a Deus por ser fonte de fé e coragem, por me fazer uma pessoa forte e determinada para vencer.

A minha família que sempre estava ao meu lado dando forças.

Ao Prof. Me. Lineardo Ferreira de Sampaio Melo, que aceitou o desafio de ser orientador deste trabalho acreditando na minha capacidade e potencial.

A Prof^a. Dr. Roberta de Freitas Souza que durante anos foi minha orientadora em bolsas de pesquisas, dando forças, acreditando e auxiliando nos trabalhos.

A Prof^a.M^a Suzana Daniela Rocha Santos e Silva, que colaborou auxiliando a elaboração deste trabalho.

Aos professores da banca avaliadora, Prof. Dr. Alcione Talaska, Prof. Esp. Leyza de Sousa Rodrigues e o Prof. Dr. Raimundo Laerton de L. Leite que está participando como suplente.

A minha namorada (Luciana Da Silva) por acreditar em mim nas horas difíceis, e está sempre ao meu lado como minha amiga e conselheira.

Aos meus padrinhos Geraldo Ferreira e Vilma Santana que sempre me ajudaram em horas muitos difíceis.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Araguatins por ter concedido a bolsa de pesquisa.

Aos meus amigos Leonardo Alves Marinho e Kelbes Oliveira que estão sempre comigo dando apoio e descontração durante todos esses anos de luta.

Ao Grupo Capitão (Miqueias Alves, Raimundo Nonato e Luis Cesar) que foram parceiros de vários momentos animados de grandes amizades.

“No final tudo dar certo, se não deu certo é porque ainda não chegou o final.”

Maiada, R.N.S.

RESUMO

Objetivou-se analisar a viabilidade técnica de atividades de interpretação de amostras de solo utilizando recursos da agricultura de precisão em pequenas propriedades. A produção agrícola do nosso país enfrenta grandes desafios para os produtores se manterem competitivos no mercado que está sendo muito exigente do ponto de vista dos consumidores. A agricultura de precisão vem mudando a forma de produzir alimentos. Com eficiência e qualidade na aplicação correta dos insumos, gerenciamento e coleta do material de forma correta graças a técnica da geoestatística, receptores GPS e *softwares* com a plataforma SIG. O estudo foi realizado em uma área de plantio de milho, onde esta foi georreferenciada com uso de receptores GNS Topcon Hiper II, dividida em grades 25x25m e 35x35m no *software* QGIS e locado os pontos em campo e coletada as amostras de solo em cada célula da grade e encaminhado para o laboratório. A técnica de geoestatística foi aplicada utilizando o *software* ArcGis através de suas ferramentas de interpolação de dados amostrais aplicando o método matemático da krigagem. O elemento fósforo (P) apresentou maior valor do coeficiente de variação nos dois tipos de grade, o atributo potássio (K) e saturação por base (V%) apresentaram maior amplitude dos valores, e a manipulação dos dados criou-se os mapas para os atributos pH, P, K, V%, nos dois tipos de grade com malhas diferentes sendo que nas duas grades possibilitou a interpretação e visualização da distribuição espacial dos macronutrientes apresentando mapas semelhantes e os valores foram interpretados utilizando os manuais de recomendação de calagem e adubação. As técnicas de agricultura de precisão foram aplicadas proporcionando a geração de mapas de fertilidade e aplicações de corretivos e fertilizantes de acordo com as interpretações dos resultados.

Palavras-Chave: Geoestatística; GPS; Fertilidade.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the technical feasibility of interpretation of soil samples activities using resources of precision agriculture on small farms. The agricultural production of our country faces major challenges for producers to remain competitive in the market being very demanding from the point of view of consumers. Precision agriculture is changing the way of producing food. With efficiency and quality in the correct application of inputs, management and collection of the correct material form through the technique of geostatistics, GPS receivers and software with GIS platform. The study was conducted in a corn plantation area, where this has been georeferenced with use of GNS Topcon Hiper II receptors, divided into 25x25m and 35x35m grids in QGIS software and leased the points on the field and collected soil samples in each cell grid and sent to the laboratory. The geostatistical technique was applied using the ArcGIS software through their sample data interpolation tools applying the mathematical method of kriging. The element phosphorus (P) showed higher coefficient of variation of the two types of grid, potassium attribute (K) and base saturation (V%) had greater range of values, and the manipulation of data maps was created to pH attributes, P, K, V%, in both types of grid with meshes of which the two grids allowed the interpretation and visualization of the spatial distribution of macronutrients presenting similar maps and values were interpreted using the liming manuals and fertilizing. Precision farming techniques were applied providing generation fertility maps and correctives and fertilizers application according to the interpretation of results

Keywords: geostatistical. GPS. Fertility.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa de localização do Município de Sítio Novo e área experimental...	26
Figura 02 – Receptor topcon (base)	27
Figura 03 – Receptor topcon (rover)	28
Figura 04 – Representação da área com grade de 25x25m.	29
Figura 05 - Representação da área com grade de 35x35m	29
Figura 06 – Modelo de coleta das amostras de solo.	30
Figura 07 – Semivariograma esférico.....	31
Figura 08 – pH em água, (grade 25x25 m e grade 35x35 m).....	35
Figura 09 – P mg dm ⁻³ (grade 25x25 m e grade 35x35 m).....	36
Figura 10 – K mg dm ⁻³ (grade 25x25 m e grade 35x35 m).....	37
Figura 11 – V% (grade 25x25 m e grade 35x35m).....	38

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Brasil Área Plantada com cinco principais grãos (mil hectares).....	18
Tabela 2 - Valores máximos, mínimos, médias, coeficientes de variação (CV) e teste W para pH, P Mehlich-1, , K, V%, obtidos pela análise de terra em 14 pontos de amostragem, com grade amostral de 25x25 m.....	33
Tabela 3 - Valores máximos, mínimos, médias, coeficientes de variação (CV) e teste W para pH, P Mehlich-1, , K, V%, obtidos pela análise de terra em 07 pontos de amostragem, com grade amostral de 35x35 m.....	33

LISTA DE SIGLAS

BACEN	Banco Central do Brasil.
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil.
COFSEMG	Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento a Agricultura Familiar.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Produção Agrícola no Brasil.....	16
3.2 Crédito Rural.....	18
3.3 Agricultura de Precisão (AP)	20
3.4 Geoestatística	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1 Materiais	25
4.2 Métodos e procedimentos operacionais.....	25
4.2.1 Caracterização da área em estudo	25
4.2.2 Levantamento e tratamento dos dados.....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
6 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS.....	40

INTRODUÇÃO

Nos dias atuais a agricultura vem passando por um enorme desafio, o de atender uma demanda crescente por alimentos de qualidade e produzidos de forma sustentável. Para alcançar estes objetivos, faz-se necessário à introdução de tecnologias inovadoras e acessíveis a todos os produtores. No entanto, é importante quebrar os paradigmas que ainda encontramos no meio rural, principalmente em pequenas propriedades de mão de obra familiar. A produção agrícola de pequenas propriedades tem papel fundamental no mercado interno, que faz importante sua introdução ao agronegócio (ASSAD e ALMEIDA, 2004).

A disputa para permanecer no mercado competitivo, direciona os agricultores muitas vezes a caminhos duvidosos e técnicas incertas para sua propriedade. A agricultura de precisão – (AP) traz possibilidades de se trabalhar um melhor gerenciamento dos sistemas agrícolas. Segundo Tschiedel e Ferreira (2002), a AP é uma ciência de gestão agrícola que parte de informações precisas, exatas.

A utilização de *softwares* empregados no processamento dos dados amostrais revolucionou o setor agrícola, pois através destes programas possibilitou a elaboração de mapas temáticos de atributos químicos do solo. A utilização dos SIG (Sistemas de Informações Geográficas) direcionado a agricultura trouxe avanços importantes em termos de produtividade, sendo que o GPS (*Global Positioning System*) foi o responsável pela aplicação de manejo localizado deixando um pouco de lado as coletas de dados por estimativas (COELHO, 2005), diminuindo assim os erros amostrais.

A utilização de ferramentas e técnicas amostrais como a coleta de solo por meio de equipamentos como trados, pás, tipo e origem dos sacos de coleta de amostras, entre outros, tem resultado direto na eficácia da amostra de solo retirada, ou seja, é necessário qualidade durante a coleta das amostras e na análise laboratorial (INAMASU e BERNARDI, 2014). Observações e detalhamento tem papel importante no processo de quantificação e manipulação dos dados.

O gerenciamento correto de uma propriedade possibilita a identificação dos pontos críticos da atividade agrícola, sendo que a identificação reflete diretamente na lucratividade do processo de produção. A aplicação correta das técnicas direcionada a melhoria na qualidade, gestão e aplicações de insumos torna

os agricultores mais competitivos, com uma visão de onde deve-se aplicar seus recursos para obtenção de melhores lucros.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica de atividades de amostragem e interpretação de análise de solo realizado na Agricultura de Precisão (AP) aplicada em pequenas propriedades rurais.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Integrar as técnicas de mapeamento e fertilidade do solo.
- ✓ Desenvolver mapas temáticos dos atributos químicos de fertilidade do solo.
- ✓ Demonstrar tecnologias acessíveis aos produtores rurais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Produção Agrícola no Brasil

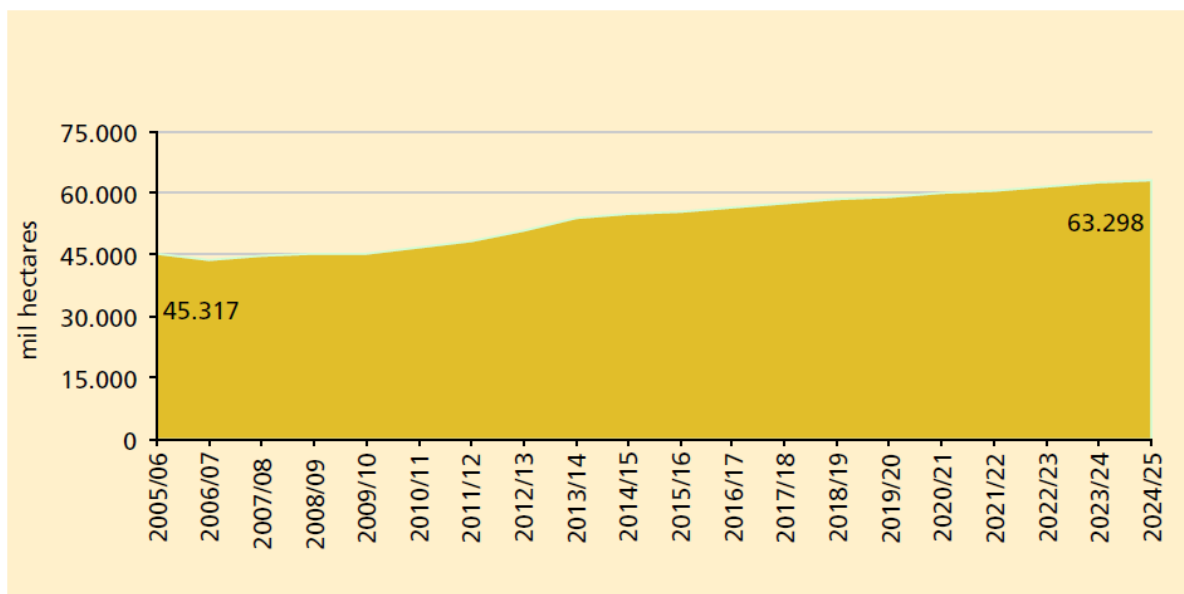
Com a crescente preocupação de uma possível falta de alimentos no futuro, oriundas de crises econômicas, degradação dos solos, mudanças climáticas, elevação do preço de insumos e leis ambientais mais rigorosas, o setor agrícola está buscando novos investimentos e novas tecnologias sustentáveis que proporcionem produção de qualidade e preservação dos ecossistemas.

A produção agrícola nacional vem sendo destaque no mercado mundial, e tal posição se dão aos avanços tecnológicos, novas áreas com aptidão agrícola e crescimento do consumo pelo mercado interno (IBGE, 2012).

As principais culturas cultivadas em nosso país e de grande valorização no mercado de commodities são milho e a soja. Estas culturas obtiveram aumento significativo nas últimas décadas: A soja, por exemplo, no ano 2013 teve crescimento de 16% na produção quando comparado com o ano anterior e conseguiu uma margem de lucro de R\$ 80,2 bilhões (CNA, 2014). Isso ocorreu através de novos estudos que vem sendo realizados no setor, como melhoramento genético desenvolvendo novas sementes para determinada região, uso de técnicas de agricultura de precisão que viabiliza o uso correto dos insumos e a elevada produção de animais como gado, aves e suínos (IBGE, 2012), que demandam esse produto para fabricação de ração.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – (CONAB, 2016), a safra 2015/16 teve um acréscimo de 1,3% na produção de grãos, com uma estimativa de 210,3 milhões de toneladas, valores estes que tem relação direta com a aplicação de técnicas de qualidade. Porém, de acordo com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – (MAPA, 2015), os estudos apontam crescimento na produtividade para os próximos dez anos, sendo que os grãos com maior destaque em termo de elevação na produtividade são arroz, milho e algodão, e a soja deve permanecer com cerca de $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ nos anos 2024/25 (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Brasil Área Plantada e previsão de área 5 Principais Grãos*



Fonte: AGE/ Mapa e SGE/ Embrapa *arroz, feijão, milho, soja e trigo (2015).

A produção de grãos na região Norte, safra 2015/16 teve um decréscimo comparado com os dados da safra 2014/15, sendo que a diferença foi de 0,1% na área plantada e uma produção de 2.487,0 mil ha na safra 2015/16 e 2.489,0 mil ha na safra 2014/2015. O estado do Tocantins obteve variação de 3,2% na área plantada cultivadas na safra 2015/16 (CONAB, 2016).

Segundo as projeções para os próximos dez anos (Tabela 01), as safras de grãos deve ter uma taxa de crescimento de 2,6% ao ano até 2024/25, correspondendo a um aumento de 29,4% em uma década (MAPA, 2015). Esse crescimento é resultado da criação de novas cultivares, recuperação de áreas degradadas por meio de técnicas de AP e gerenciamento eficiente das propriedades, tornando estas adequações desafios aos produtores.

Tabela 1 - Brasil Área Plantada e projeções com cinco principais grãos (mil hectares)

	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15
Arroz	3.018	2.967	2.875	2.909	2.765	2.820	2426,7	2.400	2.373	2.344
Feijão	4.224	4.088	3.993	4.148	3.609	3.990	3262,1	3.075	3.366	3.174
Milho	12.964	14.055	14.766	14.172	12.994	13.806	15178,1	15.829	15.829	15.166
Soja	22.749	20.687	21.313	21.743	23.468	24.181	25042,2	27.736	30.173	31.504
Trigo	2.362	1.758	1.852	2.396	2.428	2.150	2166,2	1.895	2.210	2.758
Total	45.317	43.554	44.799	45.368	45.263	46.947	48.075	50.936	53.951	54.946

	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25
Arroz	2.247	2.149	2.052	1.954	1.857	1.759	1661,667	1.564	1.467	1.369
Feijão	3.089	2.960	2.849	2.730	2.615	2.498	2381,977	2.266	2.149	2.033
Milho	15.210	15.254	15.299	15.343	15.387	15.431	15475,4	15.520	15.564	15.608
Soja	32.533	33.550	34.515	35.479	36.433	37.388	38340,61	39.293	40.246	41.198
Trigo	2.612	2.665	2.718	2.771	2.824	2.877	2930	2.983	3.036	3.089
Total	55.691	56.579	57.432	58.277	59.116	59.953	60.790	61.626	62.462	63.298

Fonte: AGE/ Mapa e SGE/ Embrapa (2015).

3.2 Crédito Rural

Um dos fatores que proporcionaram o aumento da produção agrícola no país deve-se ao uso de programas de financiamento e fomento aplicados nos investimentos e custeio dos cultivos. O crédito rural tem a finalidade de suprir os proprietários de terra financeiramente através de empréstimos disponibilizados por entidades públicas e privadas que atendem a lei nº 4.829/65 que regulariza o crédito rural (BRASIL, 1965).

Os empréstimos são disponibilizados tanto para pessoa física quanto pessoa jurídica que se enquadram como produtores rurais. O crédito rural é de grande importância, pois através dele os agricultores tem capacidade de permanecerem no campo, incentivando o desenvolvimento e possibilitando a aquisição de novos elementos de produção (SCHUMPETER, 1997).

A disponibilização de crédito para o setor agrícola, objetiva atender investimentos rurais como produção, armazenamento, beneficiamento e industrialização dos produtos agropecuários. Além de investimentos são abordados pelo decreto nº 58.380/66, recursos destinados a custeio, visando beneficiar a produção e comercialização agropecuária (BRASIL, 1966).

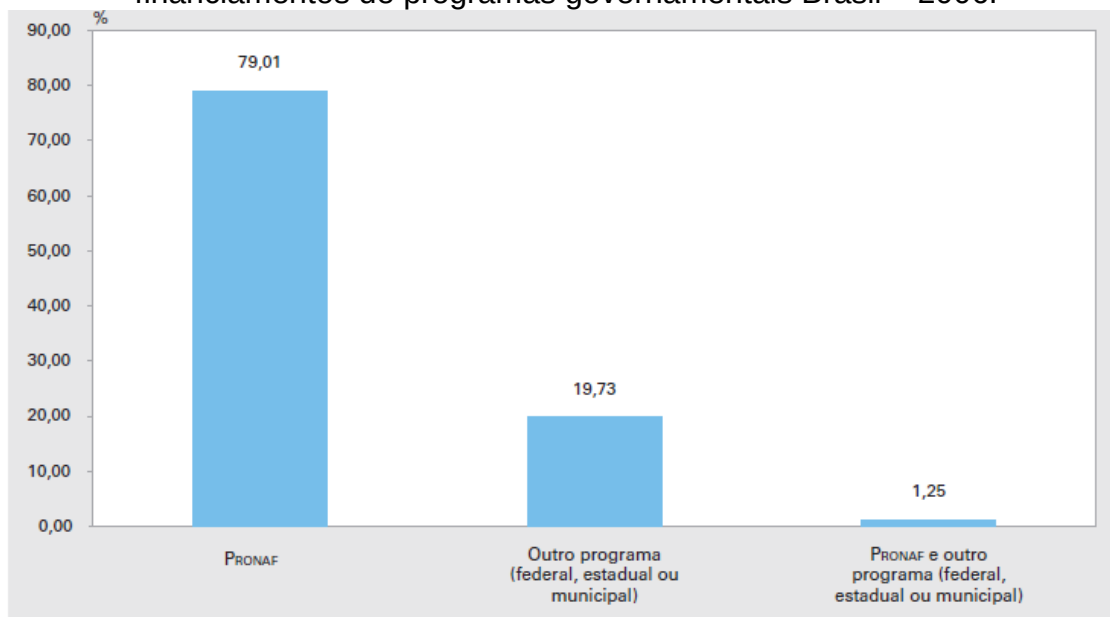
Segundo Coint e Raitman (2011), o crédito rural é fundamental para acompanhar o desenvolvimento, assim como políticas públicas de assistência e produção são essenciais para os produtores. No entanto, as linhas de créditos, por volta da década de 1970/80, eram direcionadas apenas para grandes proprietários de terras, inviabilizando a produção em pequenas propriedades, pois, as metas do governo e dos bancos eram disponibilizar crédito a produtores que visavam o mercado de exportação (PEREIRA e NASCIMENTO, 2014).

Através de reformas políticas do setor do agronegócio viu-se a necessidade de linhas de créditos direcionadas aos pequenos produtores que, por sua vez tem grande influência na receita agrícola. Através desses, em 1996, foi criado o Programa Nacional de Fortalecimento a Agricultura Familiar (PRONAF), (BRASIL, 1996). Com o surgimento deste programa os pequenos produtores tiveram acesso a tecnologias de produção agropecuárias.

Bacen (2012) define o PRONAF como programa de apoio financeiro as atividades agropecuárias e não-agropecuárias, desde de que a mão de obra seja direta ou sua maior parte oriundas da família do produtor rural. Com a aplicação de linhas de créditos específicas para pequenos agricultores objetiva-se a diminuição da pobreza, que era um problema em grande parte dos pequenos produtores rurais de mão de obra familiar (MAGALHÃES et al., 2006).

O Gráfico 2 demonstra o avanço do uso de recursos financeiros aplicados através do PRONAF (IBGE, 2012).

Gráfico 2 - Percentual dos estabelecimentos que receberam recursos de financiamentos de programas governamentais Brasil – 2006.



Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 2006.

De acordo com o Gráfico 2, com o surgimento do PRONAF houve uma crescente demanda das pequenas propriedades por crédito, sendo que 79,01% utilizaram esta linha de empréstimo quando comparado com outros programas de fomento voltado para agricultura familiar.

No estado do Tocantins, segundo o Censo Agropecuário 2006, a agricultura familiar predomina em 42.899 propriedades rurais, corresponderam ao total de 76% e ocupando uma área de 2,69 milhões de hectares, (IBGE, 2009).

3.3 Agricultura de Precisão (AP)

De acordo com Inamasu e Bernardi (2014), a agricultura de precisão compreende com um sistema de gestão que dá importância à variabilidade espacial do campo, visando resultados sustentáveis. No entanto, a AP vem sendo aplicada de forma a obtenção de melhores resultados na produtividade.

A variabilidade espacial do terreno é sempre reconhecida pelos produtores que observam suas áreas com olhares mais aguçados e que estão sempre procurando aprimorar sua produção. Porém, quando o produtor destaca que existe essa variabilidade, logo se percebe que o campo não é homogêneo e possui

características agronômicas diferenciadas, independente do tamanho da propriedade (INAMASU e BERNARDI, 2014).

O uso da tecnologia empregada na AP tem como princípio o levantamento e armazenamento de dados que geram informações sobre fertilidade do solo, produtividade, tipo de terreno e suas formas encontradas no campo (KNOB, 2006). Para Diovane (2012), a AP desenvolve diversas ferramentas que auxiliam nas diversas atividades dentro da propriedade que vai do preparo do solo até a colheita. Com a obtenção e coleta dos dados antes durante e após o cultivo podem ser empregadas técnicas de mapeamento que deixam de forma mais clara como foi ou como está o sistema agrícola avaliado, possibilitando ainda a criação de mapas de fertilidade e produtividades entre outros.

Segundo Molin (2012), a AP surgiu com a ideia de trabalhar as áreas extensas como os pequenos produtores trabalham que é observando todas as diferenças de sua área de forma detalhada como se pratica na AP utilizando a variabilidade espacial ou zonas de manejo. Sendo que através de conhecimentos empíricos os pequenos produtores tinham ideias das mudanças que existiam dentro de sua propriedade ou área cultivada, aplicando assim tratamento localizado. No entanto, esse monitoramento direcionado para grandes áreas são aplicados juntos com os estudos acumulado pelas ciências agrárias.

Através das grandes inovações tecnológicas, a criação de programas computacionais teve papel fundamental na agricultura. Com a vinda dos *softwares* com a plataforma SIG (*Sistemas de Informações Geográficas*) tornou a elaboração de mapas uma atividade mais simples, bem como a utilização do Sistema Global de Navegação por satélites (*Global Navigation Satellite Systems – GNSS*), que conta com vários artifícios de posicionamento global como, por exemplo, o GPS (*Global Positioning System*), na qual possibilitou o uso de receptores que captam coordenadas precisas utilizando ferramentas desse sistema. Gerando assim aplicações diretas na agricultura (INAMASU e BERNARDI, 2014).

Molin (1997) caracteriza uma evolução na AP, através da popularização dos métodos de posicionamento, como o GPS e o DGPS, que permitiram uma divisão espacial da propriedade em áreas bem menores que afetou diretamente no sistema de gestão das propriedades. As operações com GPS, em suas diversas aplicações, na maioria dos casos, exigem a utilização de plataformas SIG.

O uso do SIG permite uma análise das variabilidades espaciais dos dados coletados em campo, que, de maneira geral, é executado de forma mais eficiente por *softwares* específicos para cada tipo de trabalho (ALBA, 2014). A utilização desses *softwares* na agricultura proporciona uma análise de dados coletados e auxilia o produtor na tomada de decisão e aperfeiçoamento nas aplicações das quantidades corretas de insumos, trazendo assim, benéficos econômicos e ambientais (KNOB, 2006).

Como a vinda da tecnologia GPS para o Brasil a adoção dos equipamentos e *softwares* criou-se barreira, pois todos estes equipamentos eram importados com elevados valores de comercialização e sua aplicação na agricultura se tornava quase que impossível, pois a produção agrícola ainda era baixa (MOLIN, 2012). Tendo em vista estes entraves os pequenos produtores criaram então uma ideia que só os médios e grandes produtores poderiam usufruir dessa tecnologia que eram de alto valor aquisitivo.

Com os avanços tecnológicos dos últimos anos, várias empresas passaram a produzir os aparelhos receptores de sinal GPS. O uso deste sistema se tornou útil para diversos segmentos de produção tanto na área agrícola quanto nas grandes construções civis como locação de obras utilizando esses aparelhos. No entanto, a expansão do uso de máquinas mais sofisticadas e utilização dos equipamentos como o GPS ocorreu graças aos grandes investimentos em modernização das máquinas agrícolas tornando o campo mais produtivo e mais competitivo a nível mundial.

No estudo realizado por Melo (2015), demonstrou-se que a AP para pequenas propriedades é viável tecnicamente na distribuição de fertilizantes de forma a melhorar o aproveitamento dos nutrientes pela planta.

Em sua pesquisa, que foi desenvolvida em pequenas propriedades de cultura de café, foi possível utilizar a geoestatística e gerar mapas temáticos de fertilidade do solo, concluindo assim a importância de se trabalhar as áreas de forma não homogêneas, diferentemente do cultivo convencional.

3.4 Geoestatística

As técnicas de agricultura de precisão têm fundamentos a partir da utilização de aplicações tecnológicas georreferenciadas seguindo a variabilidade

espacial. O termo geoestatística surgiu na África do Sul, por meados das décadas de 50 e 60 do século passado, quando Daniel G. Krige trabalhando com dados obtidos nas minas de ouro relatou que ocorriam variações significativas nas concentrações do metal. Portanto, veio à necessidade que para melhores observações seria necessário considerar as distâncias dos locais onde se coleta o ouro, dando importância à localização geográfica e dependência espacial (VIEIRA, 2000).

Através do surgimento da ideia de dependência espacial Matheron (1965), transformou tais observações em dados matemáticos, em que considera a localização geográfica e a dependência espacial oficializando assim a teoria das variáveis regionalizadas. De acordo com Knob (2006) para a criação de mapas de fertilidade do solo é necessário utilizar técnicas de interpolação que realiza uma estimativa do resultado em locais não amostrados. No entanto, tal técnica de interpolação e estimação desses dados, é realizada graças ao uso da geoestatística através da técnica nomeada como krigagem. Tal nome foi dado em homenagem a Daniel G. Krige com a descoberta da variabilidade espacial.

A krigagem consiste em correlacionar dados vizinhos do local mais próximo em que está sendo estimado, sendo que considera a importância de não tendenciosidade (GREGO; OLIVEIRA; VIEIRA, 2014). Através desta possibilidade e consolidação da geoestatística aplicada na agricultura, Molin (2002) conclui que a geoestatística proporciona grandes benefícios na gestão de unidades de manejo inclusive quando são trabalhados mapas de produtividade. De acordo com Srivastava (2013) um dos aspectos mais interessantes da geoestatística, é que nos oferece ferramentas capazes de descrever os detalhes das características estatísticas dos dados amostrados.

A krigagem para sua validação depende de modelos matemáticos, estatístico e auto correlação entre as amostras, sendo que na geoestatística a localização geográfica possibilita o cálculo das distâncias entre pontos observados e molda uma auto correlação formando uma função da distância. Portanto, a função mais representativa e comumente utilizada é o semivariograma (JAKOB, 2002). O modelo estatístico da krigagem nos fornece previsão estatisticamente de uma variável de um local, utilizando informações sobre a mesma variável em locais diferentes (SRIVASTAVA, 2013).

Segundo Grego, Oliveira e Vieira (2014), o semivariograma tem grande importância na identificação da variabilidade espacial, que hipoteticamente a geoestatística se baseia no conceito em que os dados vizinhos das amostras são mais parecidos do que os dados mais distantes, ocorrendo assim uma suavização das estimativas. Porém, o semivariograma se comporta como um medidor do grau de semelhança entre os vizinhos. Os semivariogramas mais usuais são o exponencial, esférico e gaussiano.

O método da krigagem é baseado na ideia em que pode realizar inferências a partir de uma função aleatória $Z(x)$, originando os pontos $Z(x_1)$, $Z(x_2)$, ..., $Z(x_n)$. Deste modo, a função $Z(x) = m(x) + \gamma(h) + \varepsilon$ apresenta a média constante, a correlação espacial e o erro residual.

A correlação espacial é dada pelo variograma representado pelo seguinte modelo matemático representado pela equação 1.

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i - h)]^2 \quad (1)$$

Onde $N(h)$ é o número total de pares de observações separadas pela distância h . E a curva ajustada minimiza a variância dos erros (JAKOB, 2002).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Para desenvolvimento da pesquisa e confecção dos mapas de fertilidade do solo na área de estudo foram utilizados os seguintes materiais:

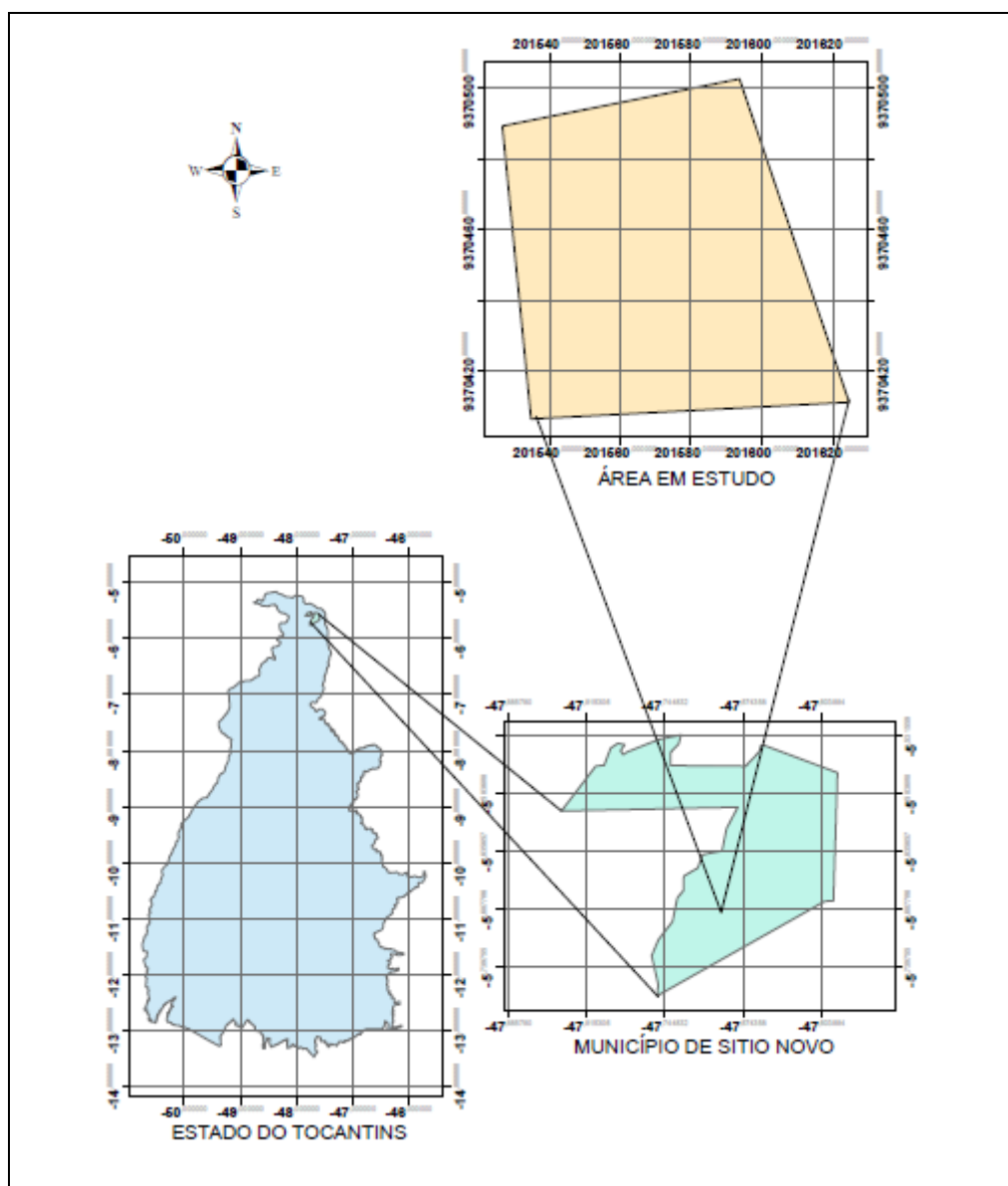
- ✓ *Software QGis 2.14;*
- ✓ *Software auto CAD map 3D versão free educacional;*
- ✓ *Software GPS Track Maker;*
- ✓ *Software Topcon Tools;*
- ✓ *Software Statistical Analysis System – SAS*
- ✓ Receptor GNSS, modelo Hiper II;
- ✓ Receptor GPS navegação Garmin, modelo *Etrex 10*;
- ✓ Trado Tipo Holandês
- ✓ Sacos de coleta de solo;
- ✓ Balde de Plástico.

4.2 Métodos e procedimentos operacionais

4.2.1 Caracterização da área em estudo

Realizou se o estudo em uma área de plantio comercial de milho, localizada na Fazenda Dois irmãos, localizada no município de Sitio Novo Tocantins, sob as coordenadas geográficas 05°41'20.76"S e 47°41'38.94" W e altitude geométrica 190,06 m que se encontra na região do Bico de Papagaio no Estado do Tocantins (Figura 1).

Figura 01 – Mapa de localização do Município de Sitio Novo e área experimental



Fonte: O Autor (2016).

De acordo com o levantamento realizado na propriedade, a área em estudo foi preparada para implantação da cultura do milho no sistema convencional de plantio, realizando-se duas gradagem com o implemento agrícola do tipo grade aradora. Segundo o histórico da área, antes estava cultivando-se pastagens com capim brachiaria, sendo que esta cultura foi dissecada com glifosato e em seguida foi incorporada os resíduos visando uso sustentável do solo e evitando queimadas que é muito comum nesta região.

4.2.2 Levantamento e tratamento dos dados

Iniciou-se o trabalho com o georreferenciamento do perímetro da área utilizando receptores GNSS geodésicos da marca Topcon modelo Hiper II. A técnica utilizada foi o levantamento estático rápido, que utilizou dois receptores GNSS de dupla frequência (L1/L2); um localizado em um ponto fixo (base) dentro da área coletando dados por um período mínimo de quatro horas e taxa de gravação de cinco segundos (Figura 2), o outro aparelho móvel (*rover*) que foi utilizado para coletar as coordenadas dos vértices, que em cada vértice os dados foram coletados com taxa média de permanência de vinte minutos e tempo de gravação de cinco segundos (Figura 3). A área em estudo não possuía muitas curvas sendo necessários apenas quatro pontos georreferenciados em seus vértices. Após o tempo mínimo de quatro horas de coleta de dados pela base, os dados foram pós-processados utilizando o *software Topcon Tools* (TOPCON POSITIONING SYSTEMS, 2010) utilizando a metodologia proposta pelo IBGE (2016) de ajustamento absoluto das coordenadas da base o PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), e em seguida os dados pós-processados foram exportados na extensão RINEX que é compatível com os *softwares* que utilizam a plataforma SIGs.

Figura 02 – Receptor topcon (base)



Fonte: O Autor (2016).

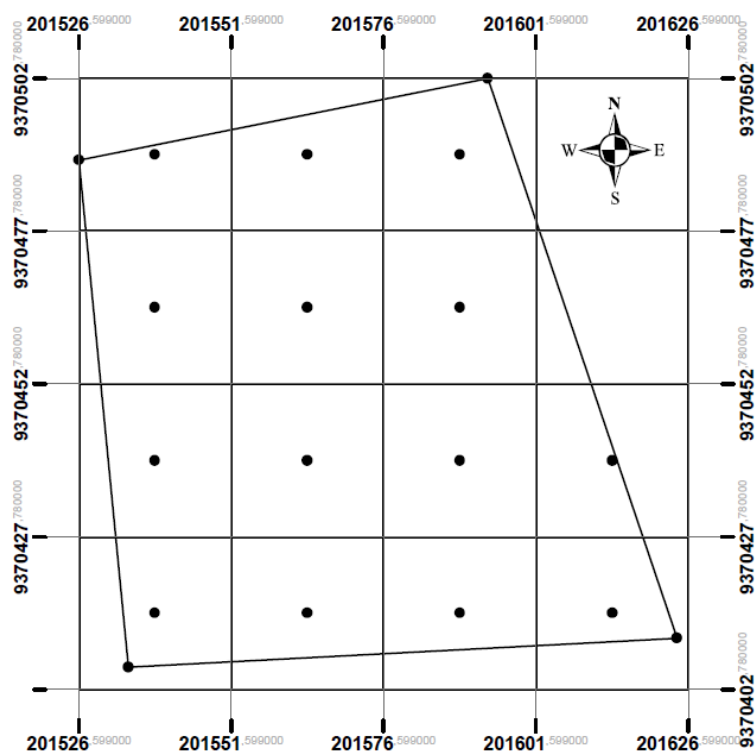
Figura 03 – Receptor topcon (rover)



Fonte: O Autor (2016).

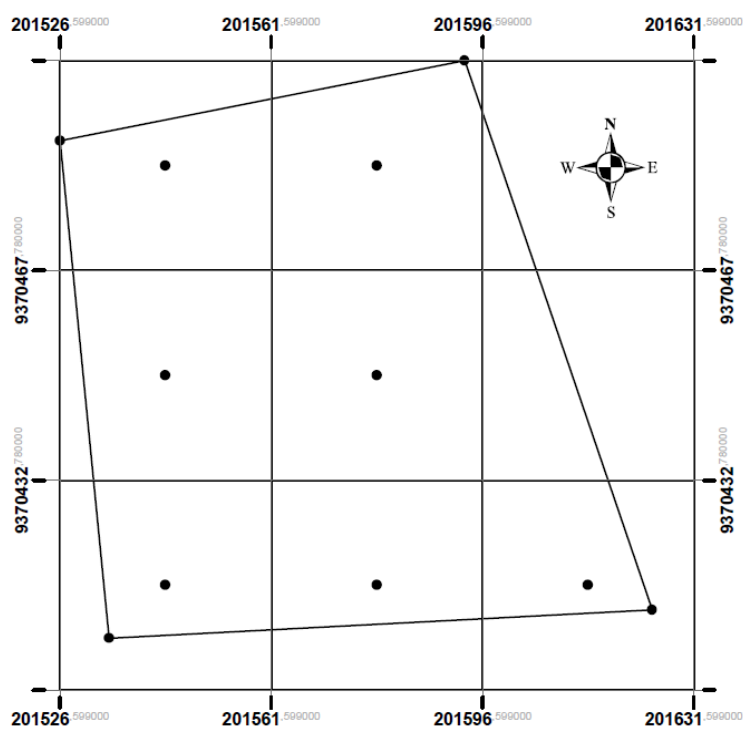
Utilizando o *software QGIS*, foram distribuídas grades amostrais que melhor representa a área, proporcionando uma avaliação de custos acessíveis ao produtor, pois a quantidade de amostras de solo por área ainda é um assunto bem discutido no meio científico. Através das análises realizadas na propriedade, a área estudada com 0,7034 hectares foi dividida em grades de 25x25 m e 35x35 m, como mostra Figuras 4 e 5, sendo gerados quatorze e sete pontos amostrais respectivamente com raio de seis e oito metros. Através da comparação entre os dois tipo de divisão foi possibilitada uma tomada de decisão mais precisa e representativa da área.

Figura 04 – Representação da área com grade de 25x25m.



Fonte: O Autor (2016).

Figura 05 - Representação da área com grade de 35x35m



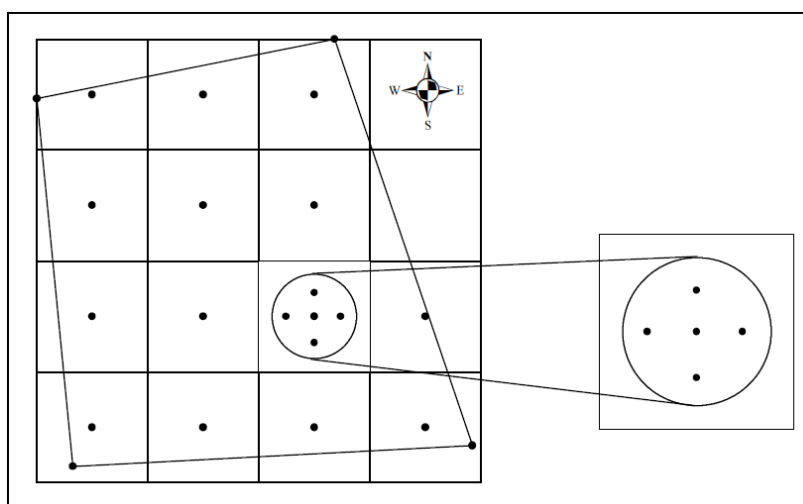
Fonte: O Autor (2016).

Após a divisão da área em grades as coordenadas dos centroides foram obtidas no *software* QGis. As coordenadas dos centroides foram enviadas para um receptor GPS de navegação *Garmin Etrex 10*, e em seguida voltou-se ao campo para locação das coordenadas no terreno coletando as amostras de solo. As amostras de cada célula foram coletadas na forma aleatória com quantidade de cinco amostras por célula.

O uso do GPS de navegação proporcionou a realização deste trabalho devido sua facilidade de manuseio e precisão aproximada das coordenadas, uma vez que para coleta de solo não é necessário o uso de receptores GPS de alta precisão como os receptores geodésicos, pois as coordenadas uma vez fixa no *software* não altera sua localização espacial quando processado os dados.

As amostras de solo foram coletadas próximas às coordenadas centrais das grades (Figura 6), na proporção de cinco amostras simples para uma composta utilizando um trado do tipo Holandês na profundidade de 0,0 - 0,2 m. Coletada as amostras, foram homogeneizadas e colocada em sacos plásticos identificados e encaminhadas ao laboratório de análises de solo, segundo orientação da EMBRAPA (1997).

Figura 06 – Modelo de coleta das amostras de solo.



Fonte: O Autor (2016).

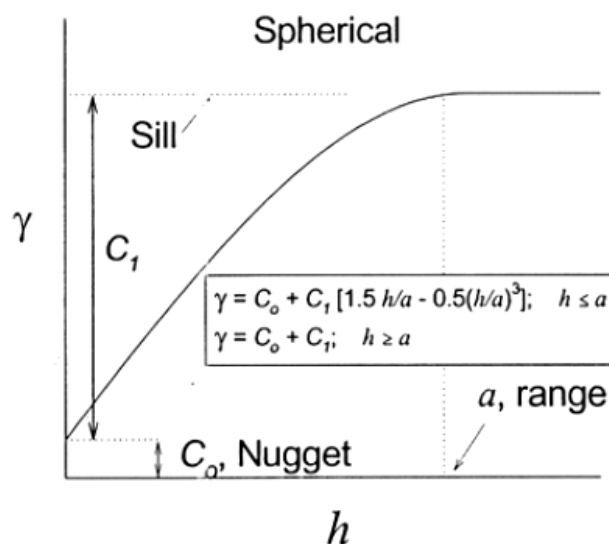
No laboratório, as amostras foram colocadas para secar à sombra e em seguida destorroadas e peneiradas em uma peneira de arame de malha de 2,0 mm de diâmetro para separar partículas mais grossas, como proposto por Resende et al.

(1995). A partir desse procedimento chegou-se terra fina seca ao ar que foi utilizada para a realização das análises químicas.

Após os resultados em mãos, os dados foram transferidos para o *software* Arcgis 10.1 versão free educacional em que foi rodado o método geoestatística. Os atributos químico do solo escolhido para elaboração dos mapas foram pH em água, fósforo (P), potássio (K) e saturação por base (V%). Estes atributos escolhidos foram devido os produtores da região usarem apenas amostragem de macronutrientes, pH e saturação por base e realizam apenas calagem e adubação de N-P-K na maioria dos cultivos quando são feitos análises da área cultivada.

A krigagem foi o método de geoestatística escolhido para gerar os mapas temáticos, tal escolha se deu, ao princípio, da técnica que possibilitou mapeamento na agricultura e considera a dependência espacial. Especificamente, foi utilizado a krigagem ordinária, que não há necessidade de conhecer a média, ou seja, a média é constante, mas desconhecida e o semivariograma utilizado foi o esférico que é o que melhor se adequa aos dados amostrais conforme Figura 7.

Figura 07 – Semivariograma esférico.



Fonte: Jakob 2002.

Sill: Valor y máximo da curva;

Nugget: Ponto inicial da curva;

Range: Ponto máximo onde existe autocorrelação espacial das variáveis;

C_0 , C_1 e a : São os parâmetros de ajuste;

h : Distância (m);

$\gamma(h)$: O valor da semivariância para o modelo de ajuste.

A krigagem ordinária esférica é representada pela equação 2.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right]$$

$$0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a \quad (2)$$

Nos resultados de análises de solo foram aplicados testes de estatística univariados, em que foram calculados valores máximos, mínimos, médias e Coeficientes de Variação (CV), e para avaliar a normalidade da população aplicou o teste de Shapiro-Wilk. O programa estatístico utilizado foi o *Statistical Analysis System* – SAS (Freund e Little 1981).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas tabelas 2 e 3 são apresentados os valores máximos, mínimos, médios, coeficiente de variação e teste W para os teores de pH, P Mehlich-1, , K, V% obtidos pela análise de solo diferenciado de acordo com a grade amostral, sendo que nas duas tabelas, o fósforo obteve maior número de coeficiente de variação (71,17%) e (70,49%). Todos os dados amostrais foram significativos a 5% de probabilidade no teste de Shapiro-Wilk, apresentando, assim, desvio de normalidade.

Tabela 2 - Valores máximos, mínimos, médias, Coeficientes de Variação (CV) e teste W para pH, P Mehlich-1, , K, V%, obtidos pela análise de terra em 14 pontos de amostragem, com grade amostral de 25x25 m.

Variável	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)	Teste W ¹
pH (H ₂ O)	5,50	5,80	5,63	1,49	0,88 ^{*(2)}
P (mg dm ⁻³)	0,30	4,30	1,52	71,17	0,87*
K (mg dm ⁻³)	22,00	95,00	70,78	27,42	0,92*
V %	36,46	73,43	48,26	18,28	0,83*

¹Teste de Shapiro-Wilk; ²Nível de significância do teste Shapiro-Wilk: ** significativo ao nível de 1 %, * significativo ao nível de 5% de probabilidade e ns - não significativo.

Tabela 3 - Valores máximos, mínimos, médias, Coeficientes de Variação (CV) e teste W para pH, P Mehlich-1, , K, V%, obtidos pela análise de terra em 07 pontos de amostragem, com grade amostral de 35x35 m.

Variável	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)	Teste W ¹
pH (H ₂ O)	5,50	5,80	5,65	2,00	0,88 ^{*(2)}
P (mg dm ⁻³)	0,80	4,30	1,90	70,49	0,79*
K (mg dm ⁻³)	22,00	93,00	65,45	37,48	0,86*
V %	39,60	51,20	46,45	10,10	0,84*

¹Teste de Shapiro-Wilk; ⁽²⁾Nível de significância do teste Shapiro-Wilk: ** significativo ao nível de 1 %, * significativo ao nível de 5% de probabilidade e ns - não significativo.

As variáveis potássio (K) e saturação por base (V%) apresentaram grande amplitude entre os valores máximo (93,00 mg dm⁻³) e mínimo (22,00 mg dm⁻³) na malha de 35x35. Na malha de 25x25 o potássio apresentou amplitude maior em relação aos outros atributos, sendo valor máximo (95,00 mg dm⁻³) e mínimo (22,00 mg dm⁻³), no entanto esses valores tem influencia do manejo da área e a facilidade do potássio se mover no solo. Para a variável saturação por base (V%) na malha

35x35m alcançou os valores de máximo (51,20%) e mínimo (39,60%), sendo que na malha 25x25m apresentaram valores de (73,43%) máximo e (36,46%) mínimo, tal variações entre os dois tipos de malha para os atributos em discussão estão relacionados ao preparo mínimo do solo, pois de acordo com o histórico da área ainda não tinha sido aplicado práticas de correção da fertilidade do solo.

Foi possível gerar semivariograma de todos os dados amostrais através da interpolação dos dados das diferentes malhas amostrais criando mapas de fertilidade química do solo (Figuras 8, 9,10 e 11). Dalchiavon et al (2012), Santos et al (2015) conseguiram interpolar dados dos atributos do solo a partir da geoestatística aplicando a metodologia da krigagem e utilizando o programa computacional GS+, Souza et al (2004) realizou a elaboração dos mapas utilizando o software SURFER, no estudo em questão utilizou-se o mesmo método de krigagem, porém no *software* ArcGIS.

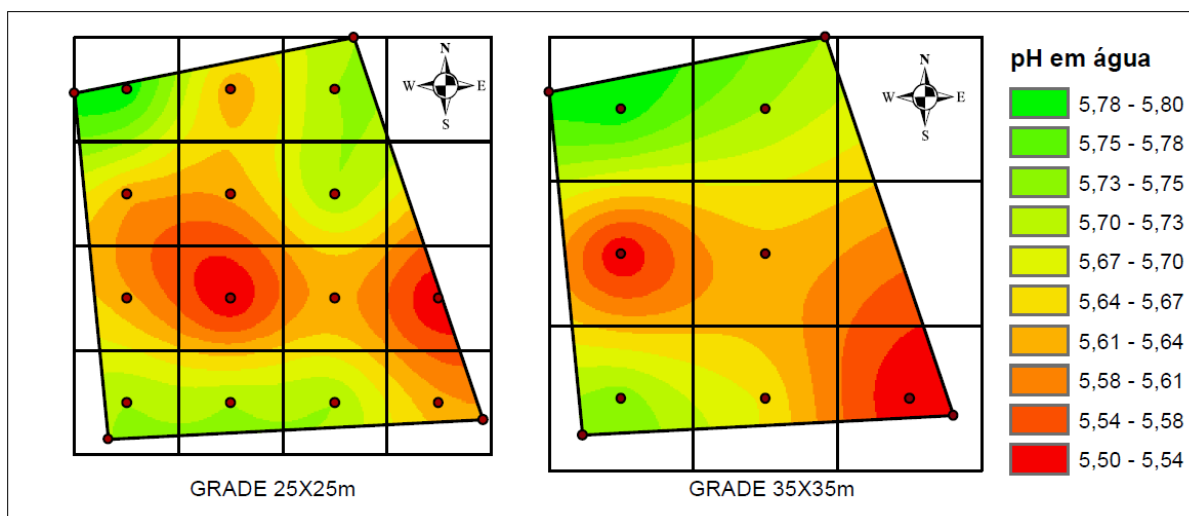
Os mapas de pH e P (Figura 8, 9) gerados a partir da malha 25x25m obtiveram o maior grau de detalhamento, isso justifica que ocorreu uma interpolação de dependência moderada entre os pontos, e também deixa explícito que o maior número de amostras por área ocorre interpolações mais visíveis.

A malha de 35x35m possibilitou a criação de mapas de diferenças na distribuição dos atributos químico do solo com o baixo grau de detalhamento quando comparado com a malha 25x25m, mas possibilita interpretação dos resultados e observações visíveis de como está a distribuição espacial dos atributos, deixando explícita a ideia da importância dos estudos com interpolação de dados.

Os mapas construídos com base em diferentes malhas são importantes para uma comparação global dos resultados obtidos na área de estudo, fazendo com que a aplicação de insumos seja bem distribuídas e adequadas ao nível tecnológico do produtor. Kestring et al (2015), afirma que os mapas apresentam diferenças relacionadas diretamente a densidade amostral e ao número de pontos amostrais coletados no campo, tal afirmação foi corroborada neste estudo.

As interpolações obtidas nos mapas de pH (Figura 8), mostram que na malha 25x25m, os pontos coletados na extremidade da área mais ao sul, se enquadram nos valores acima da média (5,63) na ordem crescente da escala de cores (5,7-5,73) obtidas pelas análises.

Figura 08 – pH em água, (grade 25x25 m e grade 35x35 m).

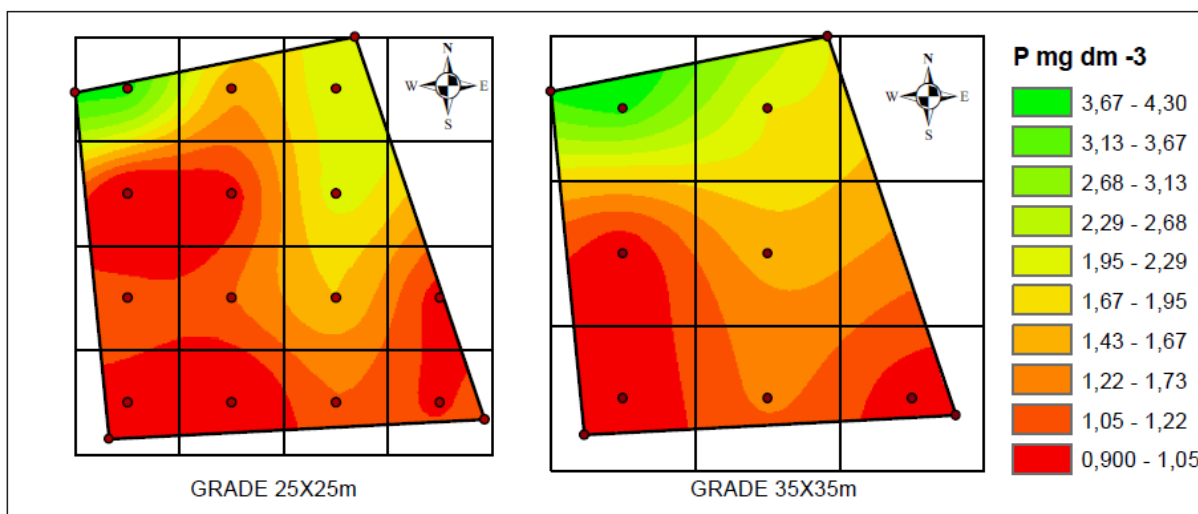


No entanto, a malha 35x35m apresenta área na mesma localização geográfica nos valores abaixo da média da escala de cores (5,61- 5,73). Na parte central dos mapas as malha 25x25 m e 35x35 m apresentam valores semelhantes na faixa de (5,58 – 5,61) de acordo com a escala de cores. Porém, a malha 25x25 m, visivelmente apresenta maior grau de interpolação.

Sousa, Miranda e Oliveira (2007), relata que na maioria das culturas cultivadas no Brasil, as plantas se desenvolve na faixa de pH entre 5,7 e 6,0, sendo estes valores considerados faixas ideais. No entanto, através destes mapas fica visível onde deve ser feito a aplicação de corretivos para melhorar o pH. Souza et al (2004) trabalhando atributos químicos do solo em áreas de plantio direto obteve melhores resultado para o pH utilizando o modelo matemático esférico dos semivariogramas.

Para o atributo fósforo (Figura 9) gerou-se mapas temáticos de interpretações similares nos resultados obtidos nas duas grades, sendo que na região noroeste da área em estudo, a grade 25x25 m apresentou-se com valores que variaram do mínimo ao máximo representado pela escala de cores (0,9 – 4,3 mg dm⁻³), sendo que nesta mesma localização geográfica o mapa de grade 35x35 m apresentou toda esta área como valores semelhantes da escala de cores (0,9 – 4,3 mg dm⁻³).

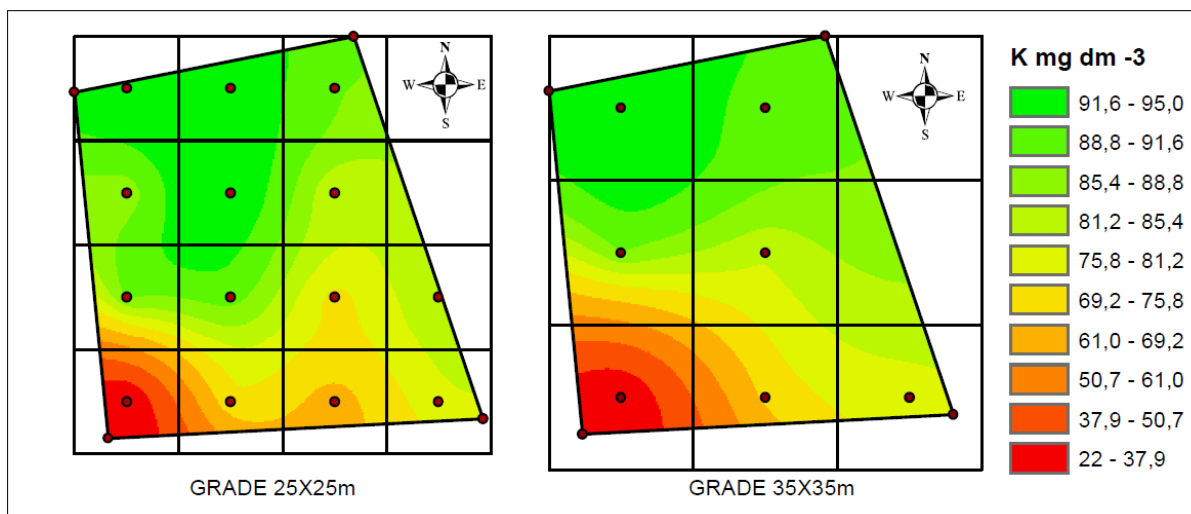
Figura 09 – P mg dm⁻³ (grade 25x25 m e grade 35x35 m).



Os valores encontrados nos dois mapas, segundo Sousa e Lobato (2004), classificam esses valores como muito baixo. Os valores de fósforo nestas condições têm influência direta dos níveis de pH uma vez que este atributo químico se torna mais disponível para as plantas com o pH do solo em torno de 5,5 a 6,5. As plantas que apresentam sintomas de deficiência deste elemento apresentam seus primeiros sintomas nos órgãos mais velhos dos quais o nutriente migra para os tecidos mais novos (MALAVOLTA, 2006). Considerando a área em estudo direcionada ao plantio do milho e a média de produtividade da região norte do país de 4.426 kg ha⁻¹ (CONAB 2016). Raij et al. (1997) e Sousa e Lobato (2004), recomendam aplicar 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na adubação de semeadura.

Os mapas temáticos do atributo potássio (Figura 10) mostraram grande deficiência nos pontos de cores mais vermelhas (22,0 mg dm⁻³ – 69,2 mg dm⁻³), assim como os mapas dos demais atributos as deficiências com maior destaque se deu na parte mais alta do terreno mostrando assim a grande mobilidade dos nutrientes em relação a declividade do terreno.

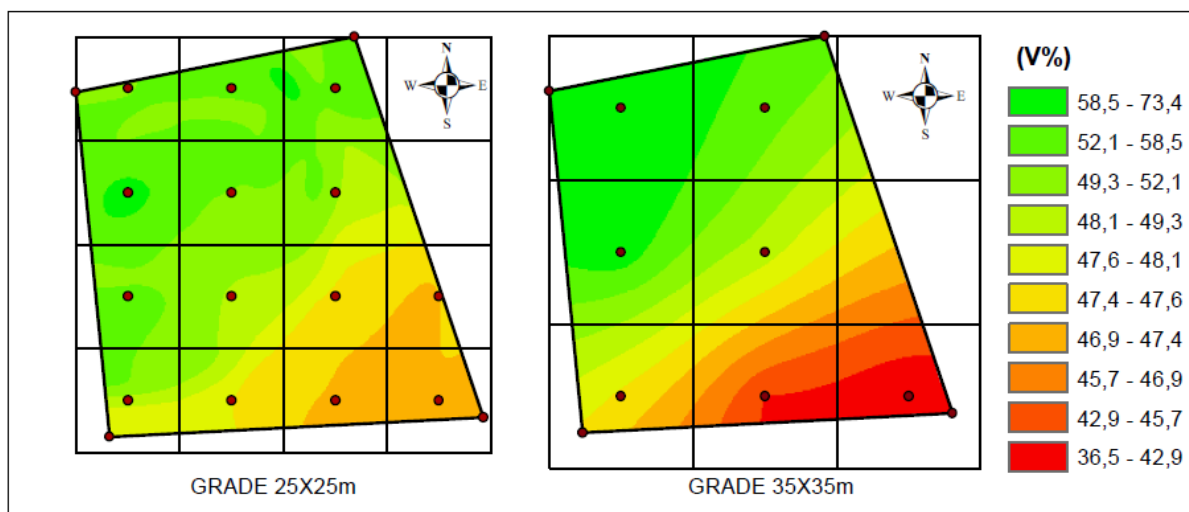
Figura 10 – K mg dm⁻³ (grade 25x25 m e grade 35x35 m).



De acordo com Sousa e Lobato (2004), os teores de potássio são classificados entre médio a alto variando em doses de aplicação que variam de 0,0 a 100 kg de K₂O ha⁻¹. De acordo os resultados Raij et al (1997) recomenda doses entre 50 kg K₂O ha⁻¹ para os valores mínimos (22,0 mg dm⁻³) e 40 kg K₂O ha⁻¹ para os valores de máximos (95,0 mg dm⁻³) na adubação de semeadura sendo que a adubação de cobertura é indicado aplicar 20 kg K₂O ha⁻¹ nas regiões onde se encontra os valores mínimos do nutriente potássio. Segundo Ernani, Almeida e Santos (2007), as respostas a adição de fertilizantes potássicos estão relacionadas com diversos fatores que influenciam no desenvolvimento da planta, por exemplo, a quantidade do nutriente remanescente no solo, tipo de espécies vegetais, teor de água e tipo de solo que está sendo cultivado.

Assim como os demais mapas apresentados anteriormente para os atributos do solo, o índice de saturação por base (Figura 11) apresentou semelhança nos padrões de ocorrência e justifica uma correlação espacial na área estudada. Os valores representados na escala de cores para saturação por base variam de 36,5% a 73,4%. Obtendo assim uma amplitude que é classificada de baixo a alta (RAIJ et al. 1997).

Figura 11 – V% (grade 25x25 m e grade 35x35)



CFSEMG (1999) e Sousa e Lobato (2004), recomendam aplicar calcário para elevar o V% para 50% que seria o ideal para cultura do milho. No entanto Raij et al. (1997), recomenda aplicação de calcário para elevar a saturação por base para 70%. Considerando esses valores e utilizando o método da saturação por base definido pela equação 3, pode-se recomendar as seguintes doses de calcário.

$$NC = CTC(V2 - V1) / 100 \quad (3)$$

NC = Necessidade de Calagem, dada em $t \text{ ha}^{-1}$ na profundidade de 0,2m.

V1 = Valor encontrado nas amostras

V2 = Valor em que se deseja alcançar de acordo com a cultura

CTC = Capacidade de troca catiônica

100 = Estar relacionado ao PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) do calcário

De acordo com os cálculos realizados as doses de calcário variam de 0,0 $t \text{ ha}^{-1}$ a 1.94 $t \text{ ha}^{-1}$ seguindo as recomendações dos autores descritos anteriormente. No entanto, as respostas à calagem e adubação são resultado também do manejo e da qualidade dos corretivos e adubos aplicados na área.

6 CONCLUSÃO

Por meio do estudo observou-se que é possível aplicar técnicas simples utilizando equipamentos de Agricultura de Precisão. Com a geração dos mapas dos atributos do solo foi possível observar com uma melhor precisão onde se devem aplicar os corretivos do solo.

No trabalho de aplicação de técnicas de AP em pequenas propriedades requer um acompanhamento da relação custo benefício, sendo que, diferente do manejo convencional a AP requer um número maior de amostras de solo e uso de equipamentos como GPS, fato este que dependendo da produção e preço de comercialização inviabiliza economicamente o uso de técnicas estudadas no trabalho.

Notou-se que para aplicar técnicas de agricultura de precisão é necessário conhecimento em gestão de propriedades rurais. Uma vez que para obter melhores resultados de produção requer um ótimo planejamento sobre os equipamentos e o tipo de mercado que será comercializada a produção.

Os dois tipos de grade proporcionaram recomendações e aplicações de corretivos e fertilizantes no solo, visando aperfeiçoar a distribuição e aproveitamento localizados dos nutrientes, sendo que irá disponibilizar de forma aproximada a quantidade ideal para cada planta.

Os modelos estatísticos utilizados requerem conhecimentos avançados dos diversos modelos matemáticos aplicados e ajustados na geoestatística da Krigagem, pois quanto, aplicado uma geoestatística específica para os atributos do solo, melhor e mais precisos são os resultados alcançados.

É necessário testar outros *softwares* para o tipo de estudo realizado. Visando sempre a diminuição de custos e viabilidade técnica dos recursos utilizados para bons resultados em pequenas propriedades.

As recomendações de calagem e adubação foram possíveis para as duas grades amostrais, sendo que futuramente essas doses irão variar de acordo com a produção, objetivos e metas em que o produtor visa alcançar em sua propriedade.

REFERÊNCIAS

ALBA, J.M.F. Modelagem SIG em agricultura de precisão: conceitos, revisão e aplicações. In: BERNARDI, A.C.C. (Ed). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 6, p. 86-96.

ASSAD, M. L. L; ALMEIDA, J. **Agricultura e sustentabilidade contexto, desafios e cenários**. Ciência & Ambiente, n. 29, p. 15-30, 2004.

AUTODESK. AutoCAD map 3D. Disponível em: <<http://www.autodesk.com/education/free-software/autocad-map-3d://>> Acesso em: 14 mar 2016.

BACEN, Banco Central do Brasil. **Manual de Crédito Rural**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br>>. Acesso em: 16 mar. 2016.

BRASIL. **Decreto nº 58.380, de 10 de maio de 1966**. Aprova o Regulamento da Lei que Institucionaliza o Crédito Rural. Diário Oficial da União, Brasília, 10 mai. 1966. Disponível em: <http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/DEC%2058.380-1966?OpenDocument>. Acesso em 18 mar. 2016.

BRASIL. **Lei Nº 4.829, de 5 de novembro de 1965**. Institucionaliza o crédito rural. Diário Oficial da União, Brasília, 05 nov. 1965. Disponível em: <http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/lei%204.829-1965>. Acesso em 18 mar. 2016.

CNA. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Agronegócio: Balanço 2013, Perspectivas 2014**. Brasília-DF, 2014. Disponível em: <<http://www.calnaldoprodutor.com.br>> Acesso em: 12 abr 2016.

COELHO, A. M. **Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Agricultura, v. 1518, n. 4277, p. 46, 2005. http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/18887/1/Doc_46.pdf

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** -(5ª aproximação). Viçosa, MG, 1999.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Estimativa de safra 2015/2016**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 13 mar 2016.

CONTI, B. M. de e ROITMAN, F. B. **Pronaf: uma análise da evolução das fontes de recursos utilizadas no programa**. Revista do BNDES 35, p. 131-168, 2011. http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev3504.pdf

DALCHIAVON, F.C. et al. **Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto**. Ciência

Agronômica, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.
<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1538>

DIOVANE, C. **Espacialização e mapeamento da fertilidade em diferentes camadas do solo e densidades amostrais**. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) – UNICENTRO, Guarapuava-SP, 2012.
economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>. Acesso em: 14 mar 2016.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de Análises química de solos, plantas e Fertilizantes**. Rio de Janeiro: Embrapa/Solos, 1997.

ERNANI, P.R. ALMEIDA, J.A. SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 9, p. 551-594.

FREUND, R. J.; LITTELL, R. C. **SAS for linear models: a guide to the ANOVA and GLM procedures**. Cary: SAS Institute, 1981.

GREGO, C.R. OLIVEIRA, R.P. VIEIRA, S.R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A.C.C. (Ed). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 5, p. 76-83.

IBGE. Censo Agropecuário 2006: **agricultura familiar - Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação – primeiros resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/>

IBGE. Censo Agropecuário 2006: **Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação–Segunda apuração**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: 14 mar 2016.

IBGE. **Posicionamento por Ponto Preciso**. Disponível em: <<http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>>. Acesso em: 09 abr 2016.

INAMASU, R. Y. BERNARDI, A. C. C. Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, ACC et al (Ed). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. Cap. 1, p. 23-35.
<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114258/1/cap-1.pdf>

JAKOB, A.AE. **A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos**. Ouro Preto-MG: p. 21, 2002.

KESTRING, F.B.F. **Comparação de mapas temáticos de diferentes grades amostrais para a produtividade da soja**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.35, n.4, p.733-743. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agríc.v35n4p733-743/2015>

KNOB, M.J. **Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades**. 2006. 130 f. Dissertação (mestrado) – UFSM, Santa Maria-RS, 2006.

MAGALHÃES, A. M. et al. **A experiência recente do PRONAF em Pernambuco: uma análise por meio de propensity score**. Econ. Apl. [online]. vol.10, n.1, p.57-74, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-80502006000100004>

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MAPA. Projeções do Agronegócio: **Brasil 2014/15 a 2024/25 projeções de longo prazo**. 6^a edição. Brasília-DF, 2015. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/projecoes_do_agronegocio_2025__web> Acesso em: 12 abr 2016.

MATHERON, G. **Les variables régionalisées et leur estimation**. Paris: Masson, 1965.

MELO, B.M.R. **Técnicas de agricultura de precisão para avaliação da variabilidade de solo e do cafeeiro em pequenas propriedades do Sul de Minas Gerais**. 2015. 103 f. Dissertação (Mestrado acadêmico) – UFLA, Lavras – MG, 2015.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão no Brasil: estado atual e Perspectivas**. In: Congresso brasileiro de soja, 6., Cuiabá, 2012.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão. Parte I. O que é o estado da arte em sensoriamento**. Engenharia Agrícola, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1997.

MOLIN, J.P. **Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade**. Engenharia Agrícola, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

PEREIRA, E.L. NASCIMENTO, J.S. **Efeitos do Pronaf sobre a Produção Agrícola Familiar dos Municípios Tocantinenses**. RESR, Piracicaba-SP: Vol. 52, Nº 01, p. 139-156, 2014.

RAIJ, B.V. et al. **Boletim Técnico, IAC. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.^a Edição. nº 100, Campinas-SP: Instituto Agrônomo, 1997.

RESENDE, M. CURI, N. REZENDE, S. B. de. CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 1995.

SANTOS, E. O. J. **Variabilidade espacial de macronutrientes em uma lavoura de café conilon no Norte do Espírito Santo**. Revista Ciência Agronômica, v. 46, n. 3, p. 469-476, 2015.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico: Uma Investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1997.

SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2004.

SOUSA, D.M.G. MIRANDA, L.N. OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 5, p. 205-274.

SOUZA, Z. M. et al. **Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar**. Ciência Rural, v. 34, n. 6, p. 1763-1771, 2004. <http://www.scielo.br/pdf/%0D/cr/v34n6/a15v34n6.pdf>

SRIVASTAVA, R. M. **Geostatistics: A toolkit for data analysis, spatial prediction and risk management in the coal industry**. International Journal of Coal Geology, Eglinton Avenue East, Toronto, Ontario, Canadá, 112. 2–13, 2013. <http://www.elsevier.com/locate/ijcoalgeo>

TOPCON POSITIONING SYSTEMS. **Topcon Tools Reference Manual**. Copyright Topcon Positioning Systems, Inc. Nov, 2010.

TSCHIEDEL, M. FERREIRA, M. F. **INTRODUÇÃO À AGRICULTURA DE PRECISÃO: CONCEITOS E VANTAGENS**. Cienc. Rural [online]. vol.32, n.1, pp.159-163, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000100027>.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2000. v. 1. p. 1-54.