

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA E AMBIENTAL

DISSERTAÇÃO

Análise ambiental e econômica comparativa de métodos de amostragem do solo utilizadas em agricultura de precisão

Jose Roberto Moreira Ribeiro Gonçalves



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
E AMBIENTAL**

**ANÁLISE AMBIENTAL E ECONÔMICA COMPARATIVA DE
MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DO SOLO UTILIZADAS
EM AGRICULTURA DE PRECISÃO**

JOSE ROBERTO MOREIRA RIBEIRO GONÇALVES

Sob a orientação do Professor
Gabriel Araújo e Silva Ferraz

e Coorientação do Pesquisador
Étore Francisco Reynaldo

Dissertação submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **Mestre em**
Ciências, no curso de pós-graduação em
Engenharia Agrícola e Ambiental.

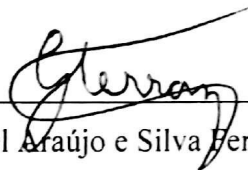
Seropédica, RJ
Fevereiro de 2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E
AMBIENTAL**

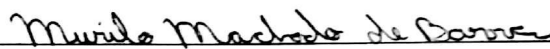
JOSE ROBERTO MOREIRA RIBEIRO GONÇALVES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de concentração em Sistemas Agrícolas.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 17 / 02 /2017.



Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz. UFLA
(Orientador)



Dr. Murilo Machado de Barros. UFRRJ



Dr. Flavio Castro da Silva. UFF

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

MG635a Moreira Ribeiro Gonçalves, Jose Roberto, 1979-
Análise ambiental e econômica comparativa de
métodos de amostragem do solo utilizadas em
agricultura de precisão / Jose Roberto Moreira
Ribeiro Gonçalves. - 2017.
92 f.: il.

Orientador: Gabriel Araújo e Silva Ferraz.
Coorientador: Étore Francisco Reynaldo.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em
Engenharia Agrícola e Ambiental, 2017.

1. Amostragem do solo. 2. Impacto ambiental. 3.
Difusão de tecnologia. 4. Agricultura de precisão. I.
Araújo e Silva Ferraz, Gabriel, 1985-, orient. II.
Francisco Reynaldo, Étore , 1979-, coorient. III
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola e
Ambiental. IV. Título.

DEDICATÓRIA

A minha esposa Gilvânia F.S. Gonçalves e filho Luiz Fernando Gonçalves.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas bênçãos concedidas.

A minha esposa Gilvânia Freitas de Souza Gonçalves pela paciência, incentivo e compreensão.

A minha mãe Lúcia Moreira Ribeiro, irmã Fernanda Fernandes Teixeira de Amorim e filho Luiz Fernando Gonçalves.

Ao meu orientador Professor Gabriel Araújo e Silva Ferraz, pela paciência, ensinamentos e disponibilidade, mesmo a quilômetros de distância.

Ao meu coorientador Pesquisador Étore Francisco Reynaldo, pela sapiência compartilhada e contínuo apoio.

Ao amigo Luiz Fernando Marins de Jesus e David da Cunha Valença por todo o apoio e disponibilidade.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade de acesso à educação de nível de pós-graduação de qualidade.

A Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA, pela parceria.

Ao grupo de pesquisas de engenharia agrícola e ambiental da Universidade Federal de Lavras - UFLA, do qual tenho a honra em participar.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram com o êxito deste trabalho, em especial aos amigos e professores do PGEEAmb.

À banca examinadora, pelas sugestões.

Às empresas Delta Construções S/A; Técnica Construções S/A e Allianza Infraestruturas do Brasil S/A., por todo apoio, em especial ao colaborador Eduardo Wanderson de Moraes Batista, chefe, amigo e incentivador.

RESUMO

GONÇALVES, Jose Roberto Moreira Ribeiro. **Análise Ambiental e Econômica Comparativa de Métodos de Amostragem do Solo Utilizadas em Agricultura de Precisão**. 2017. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciências, Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

A agricultura de precisão tem sido uma alternativa para redução de custos na agricultura e ganho ambiental, podendo ainda facilitar a aplicação localizada e racional dos insumos, com resultados econômicos, ambientais e sociais positivos. O estudo das técnicas amostrais de solo a partir do uso de novos sensores disponíveis no mercado torna-se de fundamental importância. Objetivou-se no presente trabalho, comparar mapas de recomendação de fertilizantes baseados em três diferentes métodos de amostragem do solo para avaliação do componente econômico e ambiental. O experimento foi realizado em três áreas distintas nos municípios de Guarapuava e Cantagalo, ambos no estado do Paraná, sob sistema de plantio direto, com rotação das culturas de soja, aveia, milho, trigo e cevada. Os métodos amostrais utilizados foram: por zonas de manejo por altitude, malhas amostrais e amostragem orientada por condutividade elétrica (CEa). As amostras de solo para o método zonas de manejo por altitude foram realizadas após a definição das zonas. A amostragem em malha foi realizada na densidade de uma amostra por ha. A amostragem orientada foi realizada após a definição das zonas de manejo por condutividade elétrica do solo, por meio do uso de sensor de aproximação do solo. A partir dos resultados das análises laboratoriais, foram confeccionados mapas de recomendação para aplicação de Calcário, Fósforo, Potássio e Nitrogênio de forma a permitir a comparação entre os métodos, volumes, fatores ambientais e custos. Com a realização deste estudo foi possível avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo, comparando os volumes dos fertilizantes recomendados, estimar o custo econômico global da utilização da tecnologia via sensor, bem como de todos os insumos, equipamentos e implementos utilizados. Sob o ponto de vista ambiental, foi possível avaliar de maneira quantitativa e espacial o comportamento das aplicações cada fertilizante por método amostral. Tomando-se o método de Malhas Amostrais como referência, o mesmo se apresentou como a alternativa mais viável comparado com os demais métodos, porém, o uso dos sensores do solo tem se apresentado como tecnologias viáveis que carecem de maior aperfeiçoamento no sentido de propiciar produtividade, redução de custos e consequente ganho econômico e ambiental.

Palavras-chave: Amostragem de solo, Impacto Ambiental, Difusão de tecnologia, Agricultura de Precisão.

ABSTRACT

GONÇALVES, Jose Roberto Moreira Ribeiro. **Comparative environmental and economic analysis of soil sampling methods used in precision agriculture**. 2017. 93p. Dissertation (Master Science in Agriculture and Environmental Engineering). Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

Precision agriculture has been an alternative to reduce costs in agriculture and environmental gain, and can also facilitate the localized and rational application of inputs, with positive economic, environmental and social results. Soil sampling techniques studies from the use of new sensors available in the market becomes fundamental importance. The objective of this work was to compare fertilizer recommendation maps based on three different soil sampling methods to evaluate the economic and environmental component. The experiment was carried out in three distinct areas in the cities of Guarapuava and Cantagalo, both in the state of Paraná, under no-tillage system, with crops rotation of soy, oat, corn, wheat and barley. The used sampling methods were: by altitude management zones, sample meshes and electrical conductivity oriented sampling (CEa). The soil samples for the method of altitude management zones were performed after the zones definition. Mesh sampling was performed at the density of one sample per ha. The guided sampling was carried out after the definition of management zones by electrical conductivity of the soil, through the use of soil approach sensor. From the results of the laboratory analysis, recommendation maps were made for limestone, phosphorus, potassium and nitrogen application to allow comparison between methods, volumes, environmental factors and costs. With the accomplishment of this study it was possible to evaluate the spatial variability of the soil attributes, comparing the fertilizer volumes recommended, estimating the global economic cost of using the technology by sensor, as well as all the used inputs, equipment and implements. From the environmental point of view, it was possible to quantitatively and spatially evaluate the behavior of the applications of each fertilizer by sampling method. Taking the Meshes Samples method as reference, it was presented as a better alternative compared to the other methods, however, the use of soil sensors have been presented as viable technologies that need further improvement in order to provide productivity, costs reduction and consequent economic and environmental gain.

Key words: Soil sampling, Environmental impact, Technology diffusion, Precision agriculture.

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Estudos sobre o impacto da agricultura de precisão (aplicação diferenciada de insumos) sobre o ambiente e uso uniforme dos insumos. | 7 |
| Tabela 2. Os riscos ambientais de nutrientes e matéria orgânica do solo. | 7 |
| Tabela 3. Resumo das principais características das áreas em estudo. | 15 |
| Tabela 4. Custos para aquisição dos insumos por toneladas. | 23 |
| Tabela 5. Número de amostras por área de estudo. | 23 |
| Tabela 6. Custos com depreciação, juros e seguro | 50 |
| Tabela 7. Manutenção | 51 |
| Tabela 8. Combustível | 51 |
| Tabela 10. Custos com aquisição de insumos, mão de obra, análises laboratoriais, equipamentos, máquinas, uso do sensor e geração de mapas para área A1. | 55 |
| Tabela 11. Custos com aquisição de insumos, mão de obra, análises laboratoriais, equipamentos, máquinas, uso do sensor e geração de mapas para área A2. | 57 |
| Tabela 12. Custos com aquisição de insumos, mão de obra, análises laboratoriais, equipamentos, máquinas, uso do sensor e geração de mapas para área A3. | 59 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Sustentabilidade como descrito pela intersecção de três disciplinas: ecologia, economia e sociologia (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2004). | 5 |
| Figura 2. Representação de um condutivímetro de solo baseado em grade tratorizada e a ação dos campos elétricos (Fonte: Veris Technologies, 2016). | 11 |
| Figura 3. Localização das áreas em estudo. | 14 |
| Figura 4. Sistema de rotação de culturas aplicado nas áreas em estudo. | 15 |
| Figura 5. Representação das zonas de manejo por altitude das áreas A1 (a), A2 (b) e A3 (c). | 16 |
| Figura 6. Representação das malhas amostrais das áreas A1 (a), A2 (b) e A3 (c). | 17 |
| Figura 7. Equipamento modelo Veris PMC®. Localização dos discos (a – matéria orgânica; b – condutividade elétrica e c – pH). | 18 |
| Figura 8. Equipamentos utilizados para a coleta de dados de CEa. | 19 |
| Figura 9. Esquema de passadas paralelas. | 20 |
| Figura 10. Pontos de coleta de dados de Condutividade Elétrica Aparente (CEa) nas áreas A1 (a), A2 (b) e A3 (c). | 20 |
| Figura 11. Direcionamento dos pontos de coleta por zonas de manejo, para a área A1 (a), A2 (b) e A3 (c). | 21 |
| Figura 12. Mapas de recomendação de Calcário da área A1 obtidos pelo método amostral por Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A1. | 26 |
| Figura 13. Mapas de recomendação de Calcário da área A2 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A2. | 27 |
| Figura 14. Mapas de recomendação de Calcário da área A3 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A3. | 29 |
| Figura 15. Mapas de recomendação de Fósforo da área A1 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A1. | 31 |
| Figura 16. Mapas de recomendação de Fósforo da área A2 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A2. | 32 |
| Figura 17. Mapas de recomendação de Fósforo da área A3 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A3. | 34 |
| Figura 18. Mapas de recomendação de Potássio da área A1 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A1. | 36 |
| Figura 19. Mapas de recomendação de Potássio da área A2 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A2. | 37 |
| Figura 20. Mapas de recomendação de Potássio da área A3 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A3. | 38 |
| Figura 21. Mapas de recomendação de Nitrogênio da área A1 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A1. | 40 |

| | |
|---|----|
| Figura 22. Mapas de recomendação de Nitrogênio da área A2 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A2. | 41 |
| Figura 23. Mapas de recomendação de Nitrogênio da área A3 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A3. | 42 |
| Figura 24. Comparação entre os resultados das recomendações de Calcário para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais. | 44 |
| Figura 25. Custos de aquisição do Calcário para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais. | 45 |
| Figura 26. Comparação entre os resultados das recomendações de Potássio para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais. | 46 |
| Figura 27. Custos de aquisição do Potássio para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais. | 46 |
| Figura 28. Comparação entre os resultados das recomendações de Fósforo para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais. | 47 |
| Figura 29. Comparação entre os custos de aquisição do Fósforo para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais. | 48 |
| Figura 30. Comparação entre os resultados das recomendações de Nitrogênio para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais. | 49 |
| Figura 31. Comparação entre os custos do Nitrogênio para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais. | 49 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 1 |
| 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 1 |
| 4. REVISÃO DE LITERATURA | 2 |
| 4.1 Agricultura de Precisão | 2 |
| 4.2 Agricultura de Precisão e a sustentabilidade ambiental | 4 |
| 4.3 Métodos de amostragem do solo | 8 |
| 4.3.1 Amostragem de solo tradicional | 8 |
| 4.3.2 Amostragem de solo em malhas | 9 |
| 4.1.1 Amostragem de solo por zonas de manejo | 10 |
| 4.1.2 Amostragem orientada por sensores de aproximação | 10 |
| 4.2 Análise econômica em Agricultura de Precisão | 12 |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS | 14 |
| 5.1 Caracterização das áreas de estudo | 14 |
| 5.2 Métodos de amostragens do solo | 15 |
| 5.2.1 Amostragem em zonas de manejo por altitude (ZMA) | 16 |
| 5.2.2 Amostragem em malha (AM) | 17 |
| 5.2.3 Amostragem de solo orientada (AO) | 17 |
| 5.3 Análises químicas | 21 |
| 5.3.1 Descrição das recomendações | 21 |
| 5.3.2 Mapas de recomendação | 21 |
| 5.4 Análise ambiental | 22 |
| 5.5 Análise econômica | 22 |

| | |
|--|----|
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 25 |
| 6.1 Análise Ambiental comparativa entre os métodos amostrais | 25 |
| 6.1.1 Calcário | 25 |
| 6.1.2 Fósforo | 30 |
| 6.1.3 Potássio | 35 |
| 6.1.4 Nitrogênio | 39 |
| 6.2 Análise Econômica comparativa entre os Métodos Amostrais | 44 |
| 6.2.1 Calcário | 44 |
| 6.2.2 Potássio | 45 |
| 6.2.3 Fósforo | 47 |
| 6.2.4 Nitrogênio | 48 |
| 6.3 Conjuntos mecanizados | 50 |
| 6.3.1 Custos totais | 54 |
| 7. CONCLUSÃO | 61 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 62 |
| ANEXOS | 75 |

1. INTRODUÇÃO

Os produtores brasileiros têm investido cada vez mais em tecnologias e práticas que possibilitem o aumento da produtividade, culminando, assim, no crescimento da renda dos agricultores. Porém, para a manutenção desta produtividade, há a necessidade de se buscar mecanismos que permitam conciliar o desenvolvimento do agronegócio com a sustentabilidade ambiental.

Dentre os desafios do desenvolvimento, seja ele industrial ou agrícola, está a necessidade de se conciliar a produtividade com a sustentabilidade ambiental, tendo em vista que a qualidade dos solos para as futuras culturas dependerá diretamente as ações tomadas no presente. Neste contexto, surge como alternativa eficaz para o aperfeiçoamento de todo o manejo cultural a Agricultura de Precisão (AP).

A agricultura de precisão, através de suas técnicas tem sido uma alternativa para redução de custos na agricultura e redução do impacto ambiental, tornando-se possível realizar amostragens do solo de forma precisa e ágil. O conhecimento de determinadas características do solo, associados à resposta de produção da cultura, pode facilitar a aplicação localizada e racional dos insumos, com resultados ambientais, econômicos e sociais positivos. Este conjunto de técnicas e tecnologias exige que sejam realizadas amostragens em campo representativas visando aproximar ao máximo da realidade da lavoura.

A utilização de zonas de manejo para definição espacial dos locais de coleta e amostragem do solo têm se apresentado como de fundamental importância, uma vez que recomendações químicas baseadas na média podem não representar a real necessidade química do solo, indicando a possibilidade de sub ou superdosagens que podem comprometer a produtividade e até causar impactos ambientais.

Considerando a necessidade de otimização máxima das lavouras para ganho de produtividade, é necessário que utilize tecnologias que propiciem a redução de custos operacionais e de aquisição desnecessária de insumos devem ter suas eficácias testadas e aperfeiçoadas, uma vez que os ganhos estão diretamente relacionados com os custos diretos e indiretos dos sistemas produtivos.

De acordo com a forma em que o solo é manejado, há de se considerar que sua qualidade tende a reduzir ao longo do tempo, necessitando cada vez mais de maiores doses de reposições químicas. Estas perdas, atreladas às dosagens superdimensionadas podem causar impactos ambientais irreversíveis, principalmente pela perda da qualidade dos recursos hídricos por conta do carreamento superficial e da lixiviação.

A comparação entre os estudos das técnicas amostrais tradicionais, da Agricultura de Precisão e do uso de novos sensores disponíveis no mercado torna-se de fundamental importância, pois há a necessidade de validação destas novas tecnologias para que as mesmas sejam aperfeiçoadas e difundidas para que sejam alternativas para a agricultura brasileira.

2. OBJETIVOS

Comparar diferentes métodos de amostragem do solo utilizados em agricultura de precisão e seu impacto ambiental e econômico no ambiente de produção agrícola.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar os métodos amostrais (amostragem em zonas de manejo por altitude, malhas amostrais e amostragem orientada por sensor de condutividade elétrica do solo);

- Gerar mapas de recomendações de correções e adubações baseados nas análises laboratoriais de solos obtidos pelos diferentes métodos de amostragens;
- Comparar os volumes dos fertilizantes recomendados por toneladas para cada tipo de amostragem em estudo;
- Avaliar espacialmente os volumes recomendados para verificação da possibilidade de superdosagens que indiquem impactos ambientais em médio e longo prazos;
- Realizar estudo de viabilidade econômica comparativa entre os diferentes métodos de amostragem do solo e suas respectivas recomendações de aplicação de fertilizantes;

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Agricultura de Precisão

Segundo Cunha et al., (2015), o termo Agricultura de Precisão (AP) no Brasil é relativamente novo. Relatos indicam o uso da AP desde o início do século XX, quando fora gerado o primeiro mapa de produtividade na Europa e a primeira adubação com doses variadas nos Estados Unidos (BRASIL, 2013).

No cenário brasileiro, a AP surge de maneira ainda tímida nos anos 1980 e com o advento do GPS (Sistema de Posicionamento Global por Satélites) em 1990. Sua notoriedade começou a ganhar força em 1995 com a importação de equipamentos como colhedoras com monitores de produtividade (MOLIN, 2011).

A AP consiste em um conjunto de tecnologias e componentes que possibilita a tomada de decisões assertivas, nos locais corretos, no melhor tempo e melhor forma (PIERCE & NOWAK, 1999), contribuindo para o desenvolvimento do agronegócio (FERRAZ, 2012). Segundo Pierpaoli et al., (2013), a Agricultura de Precisão é um conceito de administração agrícola, relativamente novo, desenvolvido em meados de 1980, em que segundo Crookston (2006), ela pode ser considerada uma das dez maiores revoluções na agricultura.

A AP permite a coleta intensiva de informações e dados, e no processamento em tempo e espaço para gerar utilizações mais eficientes em lavouras, melhorando a produção e qualidade ambiental (HARMON et al., 2005). De acordo com RAGAGNIN et al., (2012), a implementação da AP pode contribuir para otimização da produção agrícola e redução do risco de contaminação ambiental, já que dosagens assertivas evitam que excessos de nutrientes superiores às necessidades das plantas como Nitrogênio, Potássio e Fósforo sejam lixiviados ou carreados para os corpos hídricos (RAMBO, et al., 2004; MIYAZAWA et al., 2011; ZOLIN, 2011; MEURER et al., 2012; KLEIN & AGNE et al., 2012; BERAS, 2014; SANGOI, et al., 2014; VARGAS et al., 2012; FOLLMANN, 2015; BIESDORF, et al., 2016; BOBATO, 2016).

Ainda sobre a contribuição da AP com a questão ambiental SANCHEZ, et al., (2012) avalia que a hipótese básica da agricultura de precisão visa à otimização da aplicação de insumos com o objetivo de reduzir custos produtivos e diminuir a contaminação ambiental.

O mercado tem exigido cada vez mais alimentos produzidos com viés ecológico e neste cenário, a AP passa por um momento positivo, pois o uso de suas técnicas pode possibilitar a racionalização dos custos com o processo produtivo e o consequente aumento de produtividade (FERRAZ, 2010).

Normalmente, em grandes áreas de produção utiliza-se uma gestão convencional, na qual ocorrem aplicações uniformes de fertilizantes, sementes, etc., enquanto na AP, essas áreas podem ser divididas em zonas de gestão onde cada uma recebe administração

customizada, baseada na variação dos tipos de solos, declividade, histórico de manejo, dentre outros (LARSON & ROBERT, 1991; MULLA, 1993; ZHANG et al., 2002; MULLA et al., 2002; MULLA et al., 1996; TIAN, 2002).

Segundo Mulla (2013), no futuro será necessário que haja coletas massivas de dados e análises em escalas consideradas não factíveis nos dias de hoje, envolvendo sensores estacionários ou móveis que possam mensurar características de plantas distintas em tempo real. Esses sensores podem ser baseados em satélites, em aviões, em veículos aéreos não tripulados, ou fixados em robôs móveis, com o objetivo de registrar e densidade das ervas daninhas, refletância das folhas, teor de água, e outras propriedades importantes para tomada de decisão no uso de fertilizantes e defensivos agrícolas e demais insumos. Ainda segundo o autor, além do benefício do aumento de produtividade e da lucratividade, a AP apresenta outros benefícios percebidos, que incluem maior precisão na aplicação de fertilizantes para o melhor rendimento de colheita, assim como menores custos com elementos químicos e combustíveis.

Para a sociedade, os benefícios da AP incluem a criação e emprego de alta tecnologia (hardwares e softwares computacionais, maquinário guiado, sensores de solo e de colheita, gestão de informação, sistemas de suporte à decisão), e a mitigação da poluição ambiental ascendente pela diminuição do uso de fertilizantes de nitrogenados e fosforados (MULLA, 2013).

Segundo BRAMLEY et al., (2005), com o advento das tecnologias de AP, evidenciou a demanda por mapas de solo de alta resolução e para acelerar sua elaboração e reduzir os custos, alertou para a possibilidade de substituir as análises convencionais de laboratórios por novos métodos e sensores para processamento de dados.

Para que seja possível refinar as práticas de manejo e avaliar os efeitos da agricultura, é importante conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo. A identificação dessa variabilidade é, em um sistema de produção que visa à sustentabilidade por meio do manejo localizado, um fator de considerável relevância (CAMBARDELLA et al., 1994; MARQUES JÚNIOR e CORÁ, 2004).

A amostragem aleatória, segundo FERRAZ (2012a), é tradicionalmente utilizada para se amostrar atributos de uma determinada lavoura, conforme preconiza a estatística clássica (não-espacial), implicitamente tratando a área como suficientemente homogênea e considerando a média encontrada como representativo do atributo para a totalidade da área, desconsiderando sua posição espacial.

Por meio da Geoestatística, que difere da estatística clássica por considerar a dependência espacial dos dados amostrados, é possível identificar se há ou não dependência espacial para os fatores analisados. Assim, se torna possível analisar os fatores envolvidos nos sistemas produtivos na Agricultura de Precisão e posteriormente criar mapas temáticos que auxiliam na tomada de decisões na lavoura (CARVALHO et al., 2013).

Desta maneira, pesquisas que possibilitem o desenvolvimento de técnicas que viabilizem a aplicação da agricultura de precisão e da geoestatística de forma a utilizar mapas cada vez mais detalhados e precisos, são de fundamental importância. Isto quando se coloca em voga que se trata de um conjunto de técnicas e tecnologias que possibilitarão a aplicação racional, localizada e individualizada dos insumos, baseado em mapas de produtividade e atributos do solo, com resultados ambientais e econômicos garantidos (FAULIN, 2005; BERAS, 2014).

De acordo com AUERNHAMMER (2001), o uso da AP, apesar de considerada modesta diante das tecnologias disponíveis, pode contribuir com a forma ideal de adubação através de levantamentos por sensores e sobreposição de mapas, não deixando de levar em

consideração as limitações locais como tipo de solo e abastecimento de água. A manutenção de registros por parte dos agricultores pode facilitar o cumprimento das metas ambientais, permitindo a tomada de decisões para a produção agrícola.

Segundo FERRAZ (2010), os atributos do solo podem variar tanto por ações naturais quanto por antrópicas. Neste cenário, com o uso da AP, é possível reduzir os impactos ambientais negativos através do uso racional de fertilizantes por meio de aplicações localizadas.

A condutividade elétrica do solo define-se como a capacidade de conduzir ou transmitir corrente elétrica. Neste caso, o solo torna-se um potencial indicador de CEa por conta dos eletrólitos dissolvidos em sua solução (MOLIN, et al., 2013). A condutividade elétrica aparente (CEa) fornece uma mensuração indireta das propriedades físicas e químicas do solo (RHOADES et al., 1999), que possuem grande influência no crescimento de plantas e na produtividade. A caracterização da variabilidade do solo pode ser aperfeiçoada utilizando-se diferentes sensores de CEa (KITCHEN et al., 2003).

Com o aperfeiçoamento das tecnologias aplicadas ao agronegócio, diversos sensores foram produzidos para auxiliar nas atividades agrícolas, destacando-se principalmente os sensores de contato direto e de indução magnética (CASTRO, 2004). No caso dos sensores de contato direto existem dois modelos principais no mercado brasileiro: os tracionados por trator ou caminhonete para utilização em áreas planas ou pouco onduladas e os sensores portáteis para áreas com declividades elevadas (MEDEIROS, 2013).

De acordo com MEDEIROS (2013), o mercado possui diversos tipos de sensores para mapeamento da CEa. BRITO (2014), destaca que os sensores de campo, associados a receptores de sinal do Sistema de Navegação Global via Satélite (GNSS) tem sido substancialmente estudados para mapeamento da CEa, com simples verificação da variabilidade espacial dos atributos do solo, baixo custo, alta precisão e geração de zonas de manejo.

4.2 Agricultura de Precisão e a sustentabilidade ambiental

O conceito de sustentabilidade tem sido exacerbadamente debatido. A Constituição Federal de 1988 em seu artigo 225 diz que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Segundo AUERNHAMER (2001), no contexto da agricultura, a sustentabilidade é definida como a capacidade de manter o consumo constante ou a produtividade através da substituição de recursos naturais pelo homem na produção. Ainda neste contexto, agricultura não pode ser sustentável se os agricultores usam práticas que são socialmente inaceitáveis.

No cenário atual a sustentabilidade tem sido associada a uma combinação entre desempenho econômico, ambiental e impactos sociológicos (Figura 1).

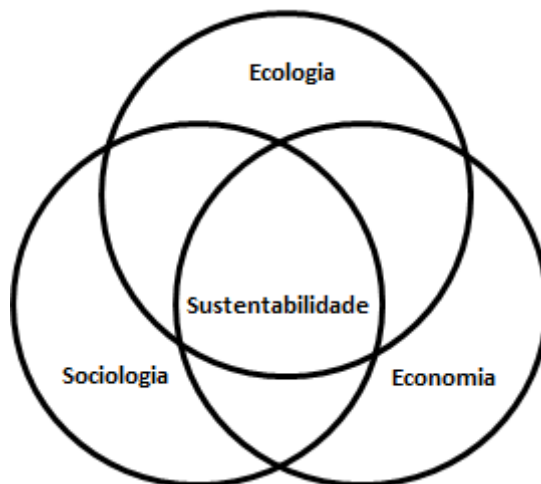


Figura 1. Sustentabilidade como descrito pela intersecção de três disciplinas: ecologia, economia e sociologia (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2004).

Conhecer a variabilidade espacial do atributo do solo permite práticas de manejo localizadas, propiciando a sustentabilidade do meio (FERRAZ, 2012). O manejo localizado da produção é um fator importante, pois controlar a produtividade por meio do conhecimento da variabilidade do solo visa também a sustentabilidade ambiental (CORÁ, 2004).

A AP tem em suas raízes inicialmente nos países europeus e nos Estados Unidos na década de 90 devido às pressões pela busca por uma agricultura menos agressiva ao ambiente. Surge então a busca por uma agricultura com viés de sustentabilidade ambiental com a busca da maximização da produtividade, sem que os excedentes dos fertilizantes e defensivos comprometessem a qualidade da água, principal preocupação ambiental da época (CELINSK, 2008 e SHIRAIISHI, 2013). As dosagens localizadas reduziram os excessos nas aplicações dos insumos e a consequente contaminação dos recursos hídricos devido a lixiviação (SHIRAIISHI, 2013).

Dentre os desafios da AP está a comprovação do seu impacto positivo no ambiente. Infelizmente, poucos estudos tratam deste objetivo diretamente e a maioria deles chegam a essa conclusão como subproduto de outros estudos (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2004).

A AP tem enorme potencialidade para agricultura ecológica, uma vez que é capaz de fornecer tecnologia para culturas ambientalmente saudáveis, por meio da gestão de insumos usando conhecimento local específico (ARTUZO, 2015). Consequentemente, a AP pode direcionar adubações com quantitativos específicos, contribuindo de várias maneiras para a agricultura de longo prazo e para a redução do impacto ambiental advindo dos excessos de cargas químicas nas aplicações (AUERNHAMMER, 2001).

Não há como dissociar a (AP) da sustentabilidade, pois os impactos ambientais sempre ocorrerão por consequência da perda de insumos para o ambiente (COSTA, 2013). Logo no início do uso do Sistema de Posicionamento Global em equipamentos agrícolas, já foi possível discutir os possíveis benefícios ambientais, por meio da aplicação orientada de fertilizantes e pesticidas, confirmando a hipótese de redução da carga de agroquímicos (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2004).

De acordo com COLAÇO (2012), a possibilidade de redução de impactos ambientais foi uma das principais razões para o surgimento da AP na agricultura, uma vez que era evidente a possibilidade de contaminação dos lençóis freáticos, principalmente pela aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados no solo.

O Brasil é o maior consumidor de fertilizantes do mundo (GOMES et al., 2014) e o uso superestimado de fertilizantes está diretamente relacionado com os impactos ambientais da agricultura (MUELLER, 2012; ARTUZO, 2015).

A agricultura é conhecida como fonte difusa de contaminação, sendo a contaminação por nitratos lixiviados através do perfil do solo um dos principais problemas (KAISER et al., 2010). Neste contexto a AP surge como alternativa para o aumento de produtividade em até 30% dos principais cereais como milho, trigo e arroz (MUELLER, 2012), além da redução de custos e dos impactos ambientais (MUELLER, 2012; ARTUZO, 2015).

Segundo GOMES et al., (2014), o mau uso de compostos como N, P e K pode trazer consequências severas ao ambiente e para as pessoas inseridas nesse contexto. Esses fertilizantes geralmente chegam aos corpos hídricos por conta da acumulação no solo com posterior carreamento para os córregos e rios (SIMPLICIO, 2015).

Com a evolução e ampliação dos conceitos associados a AP, observa-se a incorporação na agricultura da tecnologia da informação em função da quantidade necessária de informações para obtenção de bons diagnósticos (FAULIN, 2005).

A AP requer maior tecnologia em função de estar associada à tecnologia da informação, o que inicialmente, a torna onerosa, mesmo com a redução de custos com aplicações locais, a não ser que a mesma seja utilizada em grandes propriedades. Os custos operacionais podem ser recuperados por novas opções de gerenciamento resultantes de informações coletadas com maior qualidade. Diante disto, apesar de voltada para agricultura de larga escala, a AP pode aumentar as vantagens de produção e a redução do impacto ambiental (AUERNHAMMER, 2001).

CELINSK (2008), avalia que há a necessidade da busca de novas tecnologias que propiciem a redução dos custos de produção e impactos ambientais negativos. Neste contexto, há uma relação direta entre o ganho econômico e o benefício ambiental com o uso eficiente dos insumos agrícolas em AP (BALASTREIRE, 2000, CERRI, 2001; SILVA, 2009; INAMASU et al., 2011; COSTA, 2013; BARROS et al., 2015; SCHADECK, 2015).

SILVA (2009) avalia que o uso racional dos fertilizantes em AP permite a redução da poluição em até 73%, concomitante com redução de custos de até 71%. Costa (2013) constata ainda que o consumo de água para produção de milho pode reduzir em até 20% na irrigação. Desta forma, o correto dimensionamento das dosagens dos fertilizantes está diretamente relacionado com a redução da poluição por eutrofização (KLEIN & AGNE et al., 2012; MUELLER, 2013; ARTUZO, 2015).

Um dos maiores problemas da aplicação excessiva de fertilizantes é a lixiviação dos nutrientes para o lençol freático, que abastece grande parte a população (BERALDO, 2004). Para tanto, há a necessidade de realização de aplicações localizadas para satisfazer cada ponto do talhão, diminuindo a probabilidade de os insumos serem lixiviados e contaminarem o ambiente (CERRI, 2001).

O excesso de Nitrogênio, por exemplo, pode levar a contaminação das águas subterrâneas e o impacto ambiental, uma vez que é facilmente lixiviado no solo e contamina os lençóis freáticos. Este excesso pode ser minimizado consideravelmente por meio da complementação de informações da região como fotografias aéreas e imagens de satélites. Por razões práticas, a AP pode contribuir para a redução da deterioração do clima, erosão excessiva, poluição da água e o aumento da resistência de pragas a biocidas (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2004; COSTA, 2013).

COSTA (2013), ao comparar estudos sobre a relação entre a AP e consequente redução dos impactos ambientais advindos de aplicações localizadas, encontrou resultados significativos, principalmente em relação ao Nitrogênio lixiviado (Tabela 1). Tal redução do

N ocorreu entre 13 e 50%. Já a redução na contaminação ambiental foi, para todos os estudos relatados, maior do que 50%, o que ratifica o grande potencial da agricultura de precisão na redução custos e degradação ambiental.

Tabela 1. Estudos sobre o impacto da agricultura de precisão (aplicação diferenciada de insumos) sobre o ambiente e uso uniforme dos insumos.

| Fonte | Produto Analisado | Insumo Avaliado | Redução na lixiviação de nutrientes ou contaminação ambiental |
|---------------------------|--------------------------|------------------------|---|
| Delgado e Bauch (2005) | Milho | N | 47% |
| Delgado et al., (2005) | | N | 25% |
| Roberts et al., (2002) | Milho | N | 2 a 4 libras/acre |
| Roberts et al., (2001) | Milho | N | 2,24 a 4,48 kg.ha ⁻¹ |
| Thrikawala et al., (1999) | Milho | N | -4,2% em áreas de alta fertilidade e -36,3% em áreas de baixa fertilidade |
| Ahmad et al., (1997) | Milho | N e água | -15,7% |
| Larson et al., (1997) | Milho | N | -50% (de 60 para 29 kg.ha ⁻¹) |

Fonte: adaptado de Costa (2013).

Ainda de acordo (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2004), os riscos ambientais advindos do excesso de nutrientes e da matéria orgânica no solo a partir das interações entre os fatores citados na Tabela 2, evidenciam que os processos devem ser discutidos quando se tratar da qualidade ambiental, sendo o uso do sinal de (+) e (-) para maior e menor riscos de contaminação ambiental, respectivamente.

O solo e a qualidade da água são dois componentes principais de um sistema agrícola sustentável, sendo itens indissociáveis. Um bom solo não garante a boa qualidade da água, mas é susceptível de criar condições que contribuam para um solo pobre influenciando na má qualidade da água (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2004).

Tabela 2. Os riscos ambientais de nutrientes e matéria orgânica do solo.

| Processo | N | P | K | S | MO |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Lixiviação | + | - | - | - | - |
| Desnitrificação | + | - | - | - | - |
| Eutrofização | + | + | - | - | - |
| Escoamento | + | + | - | - | + |
| Volatilização | + | - | - | - | - |
| Mutação | - | - | + | - | - |
| Salinização | + | - | + | + | - |

Fonte: Silva et al., 2001; Bongiovanni et al., 2004; Bernardo et al., 2008; Oliveira et al., 2010; Silva et al., 2013; Araújo et al., 2015; Sá et al., 2015.

BONGIOVANNI (2004), define a qualidade do solo como a capacidade que o mesmo deve possuir para funcionar de forma produtiva e sustentada. A AP tem um grande potencial para a proteção ambiental, não só para o dimensionamento dos nutrientes para solo e pesticidas, mas também para controlar a erosão.

Segundo MOTA et al., (2012), a salinização está entre os principais processos associados à desertificação. O excesso de sais no perfil também provoca dispersão das argilas e conseqüente desestruturação do solo, aumentando o potencial de compactação, redução da infiltração e incremento do escoamento superficial, é causa decisiva no processo de desertificação (VALNIR JUNIOR, 2010).

A Saturação por bases (V) é um atributo que está diretamente relacionado com a degradação do solo e as concentrações de sais solúveis no solo explica o fenômeno da salinização, que pode ser característico de ambientes em processo de degradação (MARTINS et al., 2010).

Diante dos diversos fatores apresentados, o correto dimensionamento dos fertilizantes pode contribuir consideravelmente na redução dos impactos ambientais, principalmente em se tratando de elementos como Nitrogênio e Fósforo que devem ser aplicados quando necessário, em quantidades, locais e momento exato (MUELLER, 2013; ARTUZO et al., 2014).

4.3 Métodos de amostragem do solo

A amostragem do solo é a primeira e principal etapa de um programa de avaliação da fertilidade do solo (CARDOSO, 2013), pois é com base na análise química da amostra do solo que se realiza a interpretação e que são definidas as doses de corretivos e de fertilizantes. Desta forma, qualquer erro cometido nesta fase não pode ser corrigido posteriormente. Atualmente, a dificuldade na amostragem foi ampliada com a adoção sistema de plantio direto (PD) por conta da estratificação gradual dos nutrientes, o qual é o sistema de manejo predominante para culturas anuais em todo o Brasil (CFSEMG, 1999; FONTOURA et al., 2015).

Os métodos de amostragem do solo mais comuns são: amostragem tradicional, amostragem em malhas amostrais, amostragens por zonas de manejo e amostragens orientadas.

4.3.1 Amostragem de solo tradicional

Uma amostragem criteriosa requer a observação não só do sistema agropecuário em uso, mas também de princípios relacionados com a seleção da área para amostragem e com a coleta das amostras (CFSEMG, 1999).

CARDOSO (2013), pondera que a amostragem do solo se constitui de uma pequena porção de solo retirada da área, que representa um talhão. A amostragem tradicional dos atributos de uma cultura usa o método aleatório preconizado pela estatística clássica que considera toda a área de estudo como homogênea a partir da média dos resultados levantados (FERRAZ, 2012).

Na amostragem de solos para a análise química, trabalha-se com amostras simples e amostras compostas. Amostra simples é o volume de solo coletado em um ponto da gleba e a amostra composta é a mistura homogênea das várias amostras simples coletadas na gleba,

sendo parte representativa desta, aquela que será submetida à análise química em laboratório (CFSEMG, 1999; CARDOSO, 2013).

Segundo CFSEMG (1999), para que a amostra composta seja representativa da gleba, devem ser coletadas de 20 a 30 amostras simples por gleba, enquanto que para CARDOSO (2013), a variação deve ocorrer de 10 a 30 amostras simples em zonas de 10 a 15 hectares.

Outro aspecto fundamental é a distribuição espacial das amostras simples na gleba. As amostras simples devem ser uniformemente distribuídas por toda a gleba, o que é obtido realizando a coleta ao longo de um caminhamento em ziguezague pela gleba. Maior eficiência de distribuição dos pontos de coleta é obtida em zonas menores que 10 ha (CFSEMG, 1999).

Para a maioria das culturas, as amostras simples são coletadas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, no entanto, deve-se levar em conta a camada de solo onde se concentra o maior volume do sistema radicular (CFSEMG, 1999).

4.3.2 Amostragem de solo em malhas

As lavouras tendem a possuir comportamentos diferenciados, modificando seus atributos de acordo com as variações de espaço e tempo. O estudo das malhas amostrais torna-se de fundamental importância para a precisão e confiabilidade dos dados levantados em campo (FERRAZ, 2012).

A amostragem do solo mesmo que utilizada em grande escala carece de aperfeiçoamento (MONTANARI et al., 2012; SOUZA et al., 2014, CHERUBIN et al., 2014, CHERUBIN et al., 2015) e eficiência do manejo da fertilidade do solo está diretamente condicionada a qualidade da amostragem que realizada por meio de malhas amostrais regulares pode captar diferentes escalas de variabilidade espacial dos atributos do solo (BOTEGA et al., 2013; PIAS et al., 2014, CHERUBIN et al., 2015). Neste contexto, o procedimento de amostragem destaca-se com um dos mais importantes, pois de nada valem análises químicas sofisticadas e extremamente rigorosas, se as amostras coletadas não representam a área em estudo (CHUNG et al., 1995; LIMA et al., 2010).

Uma das grandes dificuldades encontradas nos estudos de variabilidade espacial do solo tem sido a determinação do espaçamento ideal de amostragem (OLIVEIRA et al., 2011), com isso as utilizações de malhas amostrais são eficientes para captação das diferentes escalas de variabilidade espacial dos atributos do solo, entretanto, recomenda-se a utilização de malhas amostrais que permitam a obtenção de poucas amostras (CHERUBIN et al., 2014).

De acordo com (CHERUBIN et al., 2015), nos EUA já são utilizadas malhas amostrais de menos de 30m de distância e na Polônia com variação de 100 a 200m. No Brasil, Souza (2015) sugere o mínimo de 100 pontos por área para que haja representatividade satisfatória.

Seguindo o princípio da AP, as amostras são coletadas sobre uma malha onde são estipuladas distâncias entre os pontos amostrados e cada ponto é georreferenciado representando uma área determinada pela distância entre os pontos adjacentes, chamada de malha de amostragem ou malha amostral. Cada malha recebe tratamento individual para elaboração de mapas dos atributos do solo (BOTEGA et al., 2013; CHERUBIN et al., 2014). Geralmente as malhas apresentam dimensões variando de 100 a 225m com quadrículas de um a cinco hectares (CHERUBIN et al., 2014).

A malha amostral pode ser dimensionada com espaçamentos menores entre amostras. Este procedimento pode trazer maior precisão; todavia, o custo com amostragem excessiva pode ser um fator limitante (PIAS et al., 2014). De maneira oposta, malhas com tamanhos maiores tendem a reduzir os custos com amostragens, porém, a precisão pode ser

comprometida, não representando de maneira confiável as características reais do solo (CAON et al., 2013).

4.1.1 Amostragem de solo por zonas de manejo

Para que uma amostragem seja representativa, há a necessidade de se identificar a variabilidade em campo antes de as amostras serem recolhidas para análise. De posse das informações da variabilidade do solo, os locais de amostragem podem ser escolhidos de forma que sejam verdadeiramente representativos (LUND et al., 1999).

O conhecimento da distribuição espacial associado a definição de zonas de manejo pode ser usado para aumentar a eficiência da aplicação dos fertilizantes agrícolas (SANTOS et al., 2015), redução de custos com insumos e otimização de uso dos fertilizantes, além de ganhos econômicos e ambientais (ALVES, et al., 2013; BRITO, 2014; BOTEGA, 2014; SANTOS et al., 2015).

Zonas de manejo podem ser definidas como a divisão de uma determinada área em subáreas ou áreas homogêneas para o qual se pode aplicar uma dose uniforme de insumos (BRITO, 2014; PRADO et al., 2015). Estas zonas de manejo podem ser obtidas por meio de mapas de produtividade, atributos químicos do solo (ALVES, et al., 2013; BERNARDI et al., 2015), por mapas de atributos físicos (KAMIMURA, et al., 2013), mapas de classificação do solo e mapas de relevo (INAMASSU, 2014).

O relevo é um fator intrínseco da formação do solo que possui função importante na definição de zonas de manejo, uma vez que a variabilidade dos atributos do solo pode variar de acordo com a altitude (BURAK et al., 2012).

JACINTHO (2016), ao estudar zonas de manejo por altitude em Agricultura de Precisão para cafeeiro (*Coffea arabica* L.), constatou que a variável altitude influenciou na média de produtividade, proporcionando a verificação da correlação dos atributos do solo na cultura do cafeeiro.

4.1.2 Amostragem orientada por sensores de aproximação

O mapeamento dos atributos do solo pode representar o passo inicial para a geração de zonas de manejo (COELHO, 2003). Atualmente, na Agricultura de Precisão tem-se sugerido a utilização da Condutividade Elétrica aparente (CEa). A CEa, pode ser obtida a partir de sistemas de indução magnética e de contato direto (MOLIN et al., 2011), tem sido bastante utilizada em estudos de variabilidade espacial dos atributos do solo para delimitar estas zonas (BRITO, 2014). Tal delimitação pode ser realizada para correção da adubação do solo considerando a variabilidade espacial dos nutrientes (BOTEGA, 2014).

O sensor Veris 3100 (patenteado) é um sistema de mapeamento de CEa do solo. À medida que o mesmo é tracionado no campo, o sistema adquire as medições de resistividade elétrica do solo, onde tais dados são georreferenciados utilizando um receptor de sinal GPS (LUND, et al., 1999, MOLIN et al., 2013). Com base nas informações de CEa, são confeccionados mapas com zonas de manejo definidas para orientação das amostragens dos solos.

Um fator limitante da AP tem sido a questão financeira por conta da necessidade de coleta massiva de dados e da consequente realização de diversas análises laboratoriais para que os resultados sejam representativos. Neste cenário surgem os sensores de aproximação

que permitem determinar as características químicas e físicas do solo com custo reduzido dependendo do tamanho das áreas. O uso e a escolha correta dos sensores podem maximizar os estudos sobre condutividade elétrica e a consequente contribuição com o manejo do solo (CELINSK, 2008).

Os dois principais métodos de medição da condutividade do solo por sensores são, por indução eletromagnética ou por meio de contato direto (LUND, et al., 1999). Existem diversos tipos de sensores no mercado com funções diversas. Dentre eles estão os sensores de anomalia para detecção de ervas daninhas; sensores de colheita para ajustes de colhedoras quanto ao teor de água, maturidade e dimensões das sementes; sensores de campo para geração de mapas de localização; sensores de reconhecimento para medir a produtividade das culturas e sensores de solo para medir os diversos fatores e correlacioná-los com seus atributos (ZHANG et al., 2002; CELINSK, 2008).

Uma série de sensores para monitorar as propriedades físico-químicas do solo têm sido propostos, alguns já em caráter experimental ou para utilização comercial. É o caso dos diferentes tipos de sensores de condutividade elétrica do solo (FAULIN, 2005; CELINSK, 2008), tais sensores permitem a obtenção de valores de CEa para delimitação de zonas homogêneas em campo (SANA et al., 2014). O uso deste equipamento configura-se como um método rápido e eficiente, reduzindo consideravelmente o tempo e gastos com amostragem do solo (BRANDÃO et al., 2011).

Alguns sensores comerciais são caracterizados por apresentarem um sistema subsolador que fornece valores de condutividade elétrica em intervalos de um segundo (ZONTA et al., 2014), pela indução eletromagnética devido a passagem de corrente elétrica em uma bobina induzindo a uma corrente elétrica na amostra de solo em estudo (Figura 2). Com a passagem da corrente elétrica na amostra há a indução de ondas eletromagnéticas que são recebidas por outra bobina no equipamento, que emite um sinal de corrente induzida na amostra e fornece correspondente medida de condutividade elétrica do solo.

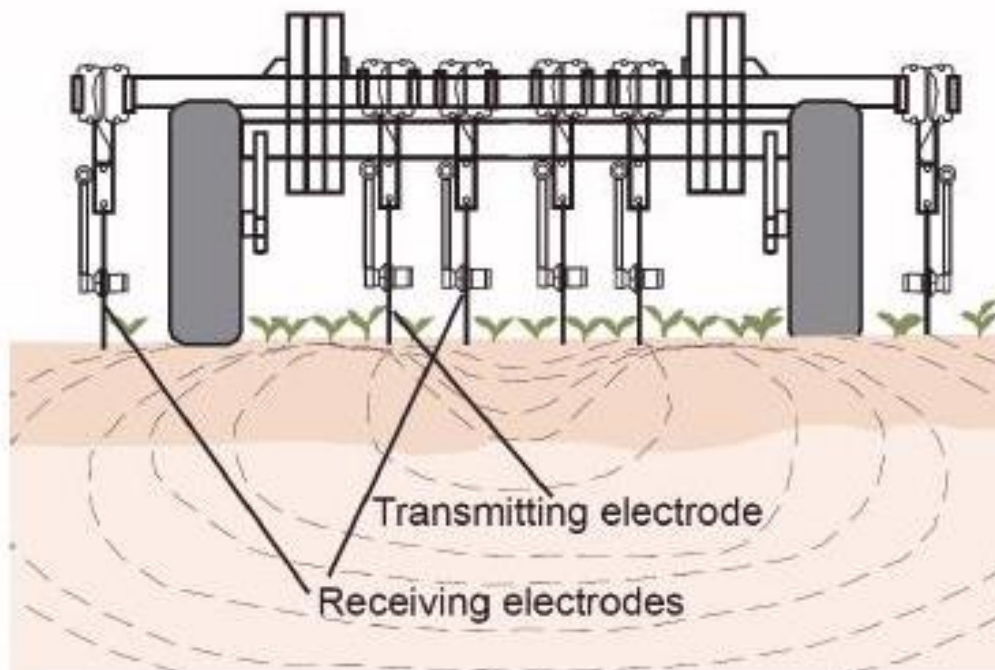


Figura 2. Representação de um condutivímetro de solo baseado em grade tratorizada e a ação dos campos elétricos (Fonte: Veris Technologies, 2016).

O equipamento funciona a partir de 6 eletrodos de contato dispostos de modo a criar dois arranjos de 4 pontos sem nenhuma calibração, permitindo a mensuração dos dados nas profundidades de 0 a 30cm e de 0 a 90cm por meio do contato direto de discos de cortes lisos com medidas coletadas, armazenadas e georreferenciadas (MOLIN et al., 2011; ZONTA et al., 2014). A distância de separação de menor arranjo é de 0,24m e do maior de 0,72m (ZONTA et al., 2014).

Possui ainda um par de discos para eletrodos de fluxo de corrente e outro para medida de tensão elétrica (MOLIN et al., 2011), obtendo dados de latitude, longitude e altitude, além de valores de CEa do solo (ZONTA et al., 2014), podendo com seus dados propiciar a definição de zonas de manejo a partir dos atributos do solo para adubações e correções mais precisas (ALVES et al., 2013; BOTEGA, 2014; BERNARDI et al., 2015).

Quando usado com passadas paralelas de 15 a 20m em trechos com velocidades de até 12 km/h, o sistema produz entre 40 e 100 amostras por ha (LUND, et al., 1999).

CHIG et al., (2010), avaliam que os sensores surgem como alternativa para redução de custos com amostragens do solo e aumentar expressivamente a quantidade de pontos de informações, propiciando a elaboração de mapas de atributos do solo necessários para geração de mapas de recomendação para aplicação de insumos.

Embora os dispositivos de mapeamento da CEa não permitam medir diretamente a fertilidade do solo, mapas de CEa podem orientar na definição de zonas de manejo. Em estudos realizados no município de Ponta Porã/MS para plantio de soja, foi possível constatar que a definição de zonas de manejo a partir da mensuração da CEa do solo proporcionou incremento da produtividade, proporcionando estabilidade na produção (BOTEGA, 2014).

ALVES et al. (2013), em estudos com plantio direto de milho e soja, constatou que as zonas de manejo que melhor classificam os atributos referentes a textura do solo foram obtidas por mapas de condutividade elétrica, indicando a CEa como indicadora de variabilidade de propriedades do solo.

Neste contexto, LUND et al., (1999), avalia que as amostragens realizadas de acordo com zonas de manejo propiciadas por mapas de condutividade do solo podem ser mais eficazes do que amostragem em malhas.

4.2 Análise econômica em Agricultura de Precisão

Estudos realizados por FERRAZ et al. (2011) apontam vantagens econômicas da AP quando comparados os métodos convencional e diferenciado de adubação em lavoura cafeeira em três glebas estudadas, sendo a AP vantajosa nas duas iniciais.

Ao estudarem as formas de relevo para estimativas de custos de fertilização em cana-de-açúcar, (SANCHEZ, et al., 2012) observaram que a interação da AP com modelagem matemática apresentaram maior eficiência na redução de custos para fertilização de áreas agrícolas, cultivadas com cana-de-açúcar.

As diversas ferramentas da AP permitem otimizar a produtividade com o menor impacto ambiental (COSTA et al., 2013). Porém, por conta do custo de acesso às tecnologias de AP, há certa resistência dos produtores (SILVA, 2004).

O principal fator relacionado com a redução de custos é a premissa da aplicação localizada de insumos, uma vez que as aplicações ocorrem apenas em locais com real necessidade (SILVA, 2004).

Porém, para COSTA et al., (2013), não basta apenas a redução de insumos para aumentar o lucro do produtor rural, devendo atrelar outros fatores a AP, devendo ser avaliada a produtividade agrícola como um todo.

Estudos realizados por FREGONESI et al., (2014) em culturas de milho, soja e trigo, apontam que em comparação com o método tradicional, a AP com a utilização direcionada de fertilizantes e corretivos foi 13 vezes mais eficiente do método convencional, demonstrando a viabilidade econômica da AP no direcionamento localizado de insumos.

ARTUZO, (2014), comparou o uso da AP com o método convencional na aplicação de insumos e constatou ganho de 13,9% com a AP em relação ao método convencional na produção de soja.

Quando comparadas as utilizações das técnicas da AP (malhas amostrais) com o método convencional em três cooperativas do Rio Grande do Sul para realização de amostras do solo e posterior recomendação, FIORIN et al., (2011) constatou retorno econômico positivo da AP com variação de 9,2 a 13,7%, com média de 11,7% no plantio de milho e soja.

SOARES (2013), comparou os custos operacionais da utilização da AP com o método tradicional para plantio de soja em duas fazendas em Carmo do Rio Claro/MG e Pratápolis/MG e observou produtividade de 17,5% superior, custos com insumos 5,56% inferiores e o custo da saca de soja de 11,45% menor com o uso da AP.

SANTOS (2014), ao comparar os custos de produção do arroz em sistemas de cultivos tradicionais com a AP em Cachoeira do Sul/RS, constatou ganho econômico da utilização das tecnologias da AP em R\$ 41,33/ha⁻¹ superior ao método tradicional, com rentabilidade 2,4% superior. No geral, com a utilização da AP, houve redução de 26,6% de adição de N, 13,3% de P₂O₅ e 22,3% de K₂O, representando uma economia financeira de 31,4% somente com adubação.

Estudos realizados por REAL, (2015) com 39 produtores rurais na região de Jaú/SP para culturas de cana-de-açúcar, apontam que apenas 23% dos agricultores utilizavam as técnicas da AP. Todavia, desse total, 46,20% dos produtores que utilizaram a AP obtiveram ganho de produtividade da ordem de 20%. Além disso, 38% tiveram aumento de 10%. No geral, 41,7% dos produtores, tiveram redução de custos de até 10% com a utilização da AP.

Para COSTA et al., (2013), não basta apenas a redução de insumos para aumentar o lucro do produtor rural, devendo atrelar outros fatores a AP, devendo ser avaliada a produtividade agrícola como um todo. No geral, segundo os autores, a produtividade média com a utilização da AP foi 10,39% superior.

Quando estudadas as formas de aplicação de fertilizantes em taxa fixa x taxa variável em Nova Mutum/MT, BERAS, (2014) aponta lucro de 7,2% com aplicações em taxa variada através da AP.

De acordo com SCHADECK, (2015), quando comparadas as aplicações de fertilizantes em taxa fixa e taxa variada em áreas de cultivo de soja, aveia e trigo na cidade de Santo Ângelo/RS, houve aumento de produtividade de 19% e 28% respectivamente, com redução da utilização de calcário em 43%. O retorno econômico médio, segundo o autor, foi de 22% em áreas com utilização da AP.

ARTUZO (2014), acrescenta que o acréscimo de produtividade atrelado a AP pode ser encarado com o pilar de sustentação para o aumento da produtividade e o consequente aumento da produção de alimentos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização das áreas de estudo

O presente estudo foi realizado em duas fazendas (Cupim e Juquiá) em atividade nos municípios de Guarapuava e Cantagalo, ambas no estado do Paraná.

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (Cfa), o clima dos municípios de Guarapuava e Cantagalo são caracterizados como subtropical úmido. A temperatura média anual é de 18°C, com máxima de 36°C e mínima de 6,8°C. A altitude na região está entre 800 a 1200m (BORTOLINI, 2004).

Os experimentos foram realizados em três áreas distintas. Para melhor compreensão, comparação e análise dos resultados, as áreas foram nomeadas como áreas A1 (Fazenda Cupim - 154,82 ha), A2 (Fazenda Cupim – Jordãozinho - 18,64 ha) e A3 (Fazenda Juquiá - 62,63 ha), conforme observado na Figura 3 e Tabela 3.

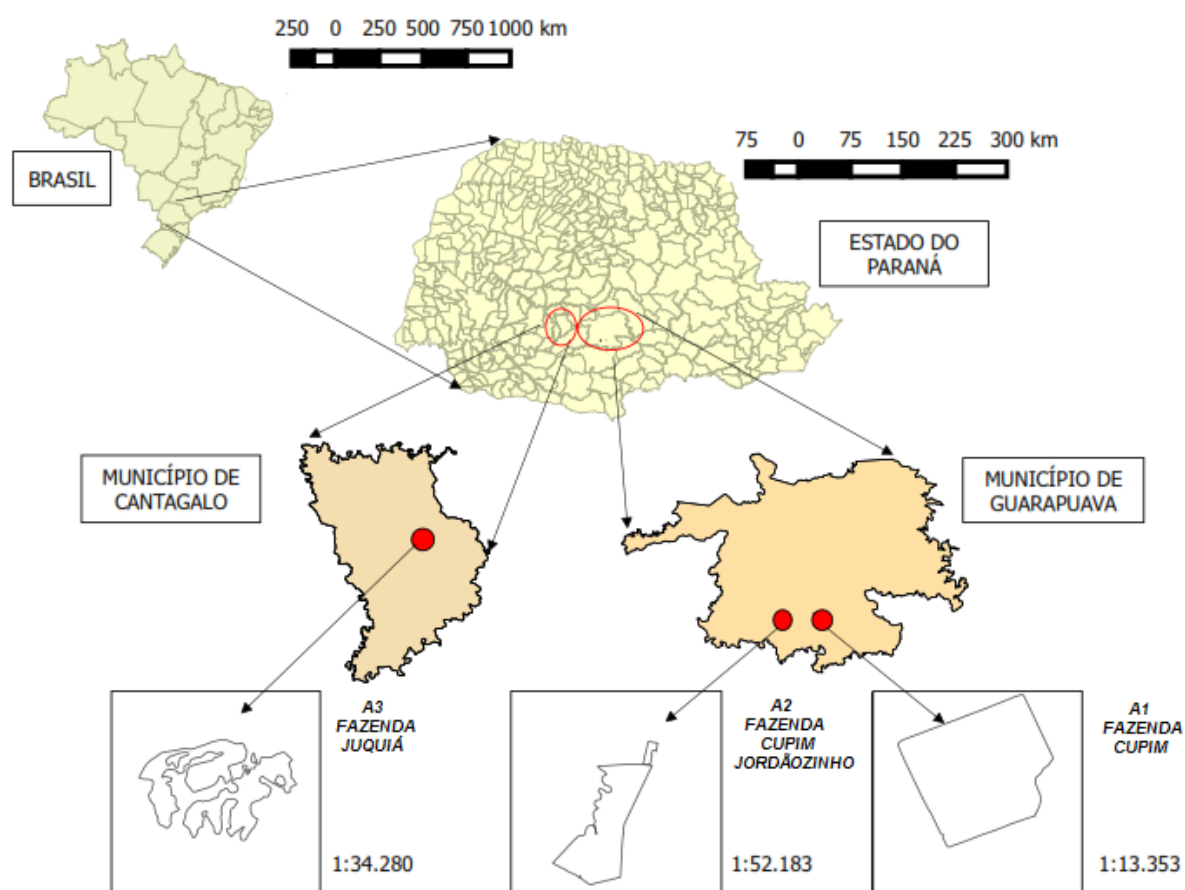


Figura 3. Localização das áreas em estudo.

Tabela 3. Resumo das principais características das áreas em estudo.

| Área | Fazenda | Área (ha) | Coordenadas (Lat, Long) | Altitude média (m) |
|------|----------------|-----------|--------------------------------|--------------------|
| A1 | Cupim | 154,82 | 25° 32' 66" S, 51° 34' 65" W | 1054,65 |
| A2 | C. Jordãozinho | 18,64 | 25° 31' 74" S, 51° 30' 49" W | 1100,83 |
| A3 | Juquiá | 62,63 | 25° 16' 45 40" S, 52° 6' 01" W | 798,85 |

O solo das áreas em estudo caracteriza-se como latossolo Bruno Aluminico Câmbico, com horizonte A proeminente, relevo suave ondulado e substrato basalto (Fontoura et al., 2015), com classe textural variando de argilosa a muito argilosa.

O manejo cultural desenvolvido nestas áreas é o de rotação de culturas há pelo menos 16 anos, seguindo um plantio rotativo de soja, aveia, milho, trigo e cevada. As semeaduras ocorreram duas vezes por ano nos meses de junho a novembro e as colheitas nos meses de novembro, fevereiro e março, conforme rotatividade de plantios apresentados na Figura 4.

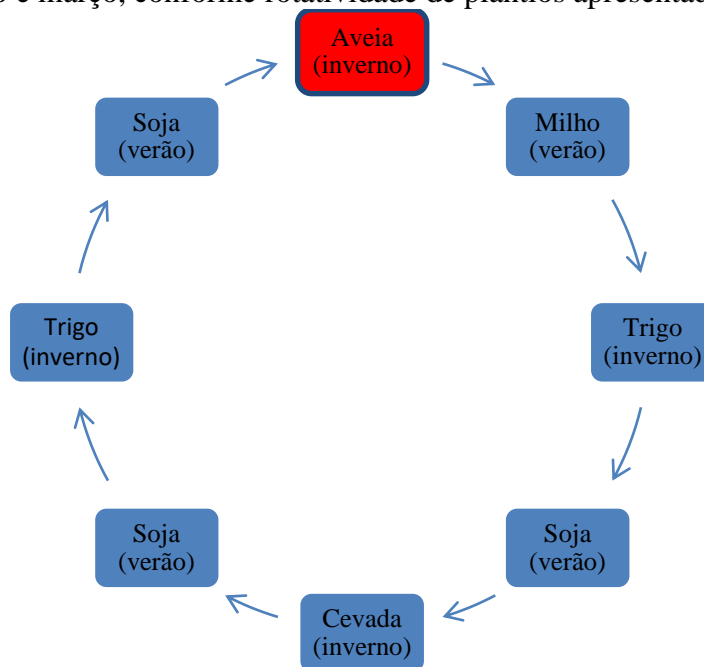


Figura 4. Sistema de rotação de culturas aplicado nas áreas em estudo.

5.2 Métodos de amostragens do solo

Nas áreas em estudo foram realizadas três formas amostrais de modo a permitir o comparativo entre elas. Antes da realização das coletas das amostras, foram definidas Zonas de Manejo a partir das altitudes (alta, média e baixa) e Zonas de Manejo por meio do sensor de condutividade elétrica do solo (CEa). Com base nos mapas temáticos com as zonas definidas, foram coletadas as amostras de solo por meio do método de caminhamento em zigue-zague em cada zona. Além destas, foram realizadas amostragens em malhas amostrais georreferenciadas.

5.2.1 Amostragem em zonas de manejo por altitude (ZMA)

Visando a busca pela homogeneização e maior representatividade das amostras, as áreas foram divididas em zonas, cada uma para avaliação dos atributos do solo. Para subdivisão das áreas, utilizou-se como critério três altitudes (Alta, média e baixa) para definição das zonas (Figura 5), de acordo com as informações de altimetrias das áreas.

De posse dos mapas de colheita, utilizou-se os dados de altimetria destes mapas para geração dos mapas topográficos dos talhões.

Após a limpeza dos dados (retirada dos dados anormais) fez-se a interpolação por krigagem pontual utilizando-se o software Vesper 1.6 (MINASNY et al., 2002), o que possibilitou a geração dos mapas com as zonas de manejo por altitude para o direcionamento das amostragens.

De acordo com sua amplitude (mínimo e máximo) foram divididos em três classes (Alta, média e baixa). Essa divisão serviu para definição das classes de coletas. Desta forma, não foi definida uma escala fixa, uma vez que cada área foi avaliada pelo seu grau de inclinação da rampa e optou-se pelas três classes/zonas.

Com a geração e interpretação dos mapas foi possível identificar as áreas de mesmo perfil altimétrico, nas quais foram coletadas as amostras de solo para a análise química.

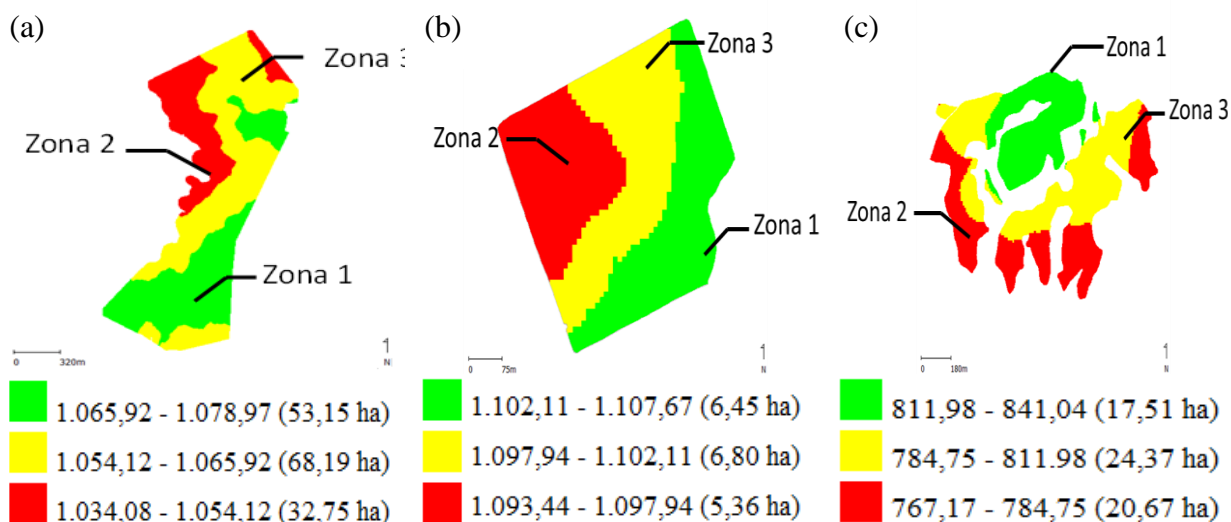


Figura 5. Representação das zonas de manejo por altitude das áreas A1 (a), A2 (b) e A3 (c).

De posse dos mapas com as zonas de manejo definidas, através do caminhamento em ziguezague (OLIVEIRA et al., 2008; SILVA et al., 2015), foram realizadas as coletas de solo entre os meses de abril e maio de 2015 para cada área.

Os materiais utilizados foram o trado do tipo calador, balde plástico e recipientes para homogeneização para posterior envio para análises químicas em laboratório para avaliação da fertilidade. Após a realização das análises laboratoriais por zonas, foram geradas as médias dos resultados entre as três zonas por área estudada.

5.2.2 Amostragem em malha (AM)

De acordo com CHERUBIN et al., (2015), não há consenso sobre a definição metodológica da malha amostral. Todavia, os mesmos autores avaliam que a quantidade de amostras em AP deve ser superior ao método convencional.

Por não haver critério metodológico CHERUBIN et al., (2015), ressalta que o mais usual na Região Sul do Brasil tem sido a retirada de uma amostra em intervalos de 100m (1 amostra por ha) a 175m (1 amostra a cada 3 ha) e estas são definidas basicamente por razões de ordem econômica e prática (CHERUBIN et al., 2014).

Para o presente estudo, inicialmente, foi realizada a demarcação dos perímetros dos talhões em estudo e logo após, o georeferenciamento das áreas experimentais e por meio de um receptor GPS portátil. Posteriormente, foram plotadas as malhas amostrais para as três áreas.

A malha amostral definida para as áreas em estudo foi de 100 x 100 m, ou seja, 1 (um) ponto de coleta por hectare. Para todas as áreas a quantidade de amostras seguiu os seguintes quantitativos respectivamente: A1 (158 amostras), A2 (23 amostras) e A3 (65 amostras), como apresentado na Figura 6.

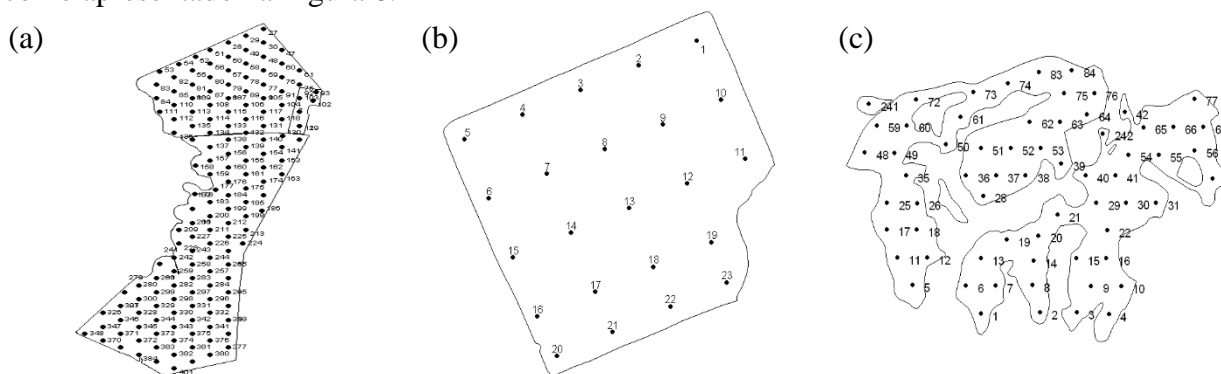


Figura 6. Representação das malhas amostrais das áreas A1 (a), A2 (b) e A3 (c).

Seguindo a estrutura da malha, foram coletadas as amostras. Cada amostra foi composta de 11 a 15 subamostras por ponto georreferenciado. Logo após, as subamostras foram homogeneizadas, obtendo assim as amostras de cada ponto para envio para a realização das análises químicas.

As subamostras foram retiradas na profundidade de 0 a 20 cm por meio de trado tipo calador e recipientes para homogeneização.

5.2.3 Amostragem de solo orientada (AO)

A amostragem orientada por zonas de manejo constituiu-se pelo processo de obtenção dos dados de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) por meio do sensor de contato com o solo para, a partir destas informações, serem gerados mapas indicando as zonas de manejo de acordo com os valores obtidos de CEa. Após a definição das zonas de manejo, foram realizadas amostragens em cada zona por meio do método também conhecido como caminhar zigzag.

O processo de realização das amostragens orientadas ocorreu a partir da geração de mapas com zonas de manejo obtidas por meio da utilização do Sensor de aproximação do solo. Trata-se de um implemento acoplado e tracionado por um trator agrícola. Este implemento, dotado de discos que cortam o solo com movimentos verticais, captura as informações de matéria orgânica, pH e condutividade elétrica aparente por meio de comprimentos de onda enviados para o solo e refletidos para o equipamento.

O equipamento possui coletor de dados próprio e capacidade de leitura contínua de dados obtidos no campo, de até 26 horas. Realiza a gravação dos valores, simultaneamente, num intervalo mínimo de 1s. O sistema georreferencia as medições utilizando um receptor de GPS e armazena os dados para posterior descarregamento (FAULIN, 2005).

Para realização deste estudo, foram utilizados apenas os dados de condutividade elétrica aparente do solo a partir do equipamento Veris PMC[®] (“P” - pH, “M” - Matéria Orgânica e “C” - Condutividade Elétrica aparente do Solo). Este equipamento, quando acoplado a um trator e tracionado sobre o solo, capta as informações para posterior mapeamento dos seus atributos. Como o implemento possui um Sistema GPS integrado, o mesmo permite que as informações captadas sejam georreferenciadas e correlacionadas com os pontos de coleta, por meio das informações de latitude, longitude e altitude (Figura 7).



Figura 7. Equipamento modelo Veris PMC[®]. Localização dos discos (a – matéria orgânica; b – condutividade elétrica e c – pH).

O equipamento apresenta largura de 2,35 m, comprimento de 2,44 m e altura de 0,89 m e, além de requerer uma potência de 15 kW a 20 kW para ser tracionado (Figura 8),

dependendo da velocidade, da topografia e das condições do solo. A velocidade de operação recomendada é de até 7 m.s^{-1} (FAULIN, 2005).



Figura 8. Equipamentos utilizados para a coleta de dados de CEa.

Antes do início das atividades de aquisição dos dados, o equipamento passou por testes de calibração definidos pelo fabricante para garantia do seu correto funcionamento.

O trator utilizado estava equipado com sistema de navegação por satélite (piloto automático), garantindo assim paralelismo entre as passadas.

O espaçamento entre as passadas é variável (Figura 9). Neste trabalho optou-se em trabalhar com faixas paralelas espaçadas a 30 metros uma da outra com velocidade de avanço de 9 km/h, considerando a área total das propriedades como escala de coleta. Os dados foram coletados entre os meses de março a abril de 2015.



Figura 9. Esquema de passadas paralelas.

O equipamento utiliza 6 discos de corte (dois internos para emissão de corrente alternada no solo, dois intermediários e dois externos para medição da voltagem resultante), espaçados para promover leituras de CEa nas profundidades de 0 a 0,3 m (CEa 30) e 0 a 0,9 m (CEa 90), (Figura 6). A densidade amostral de CEa foi de 200 a 320 pontos por hectare (Figura 10).

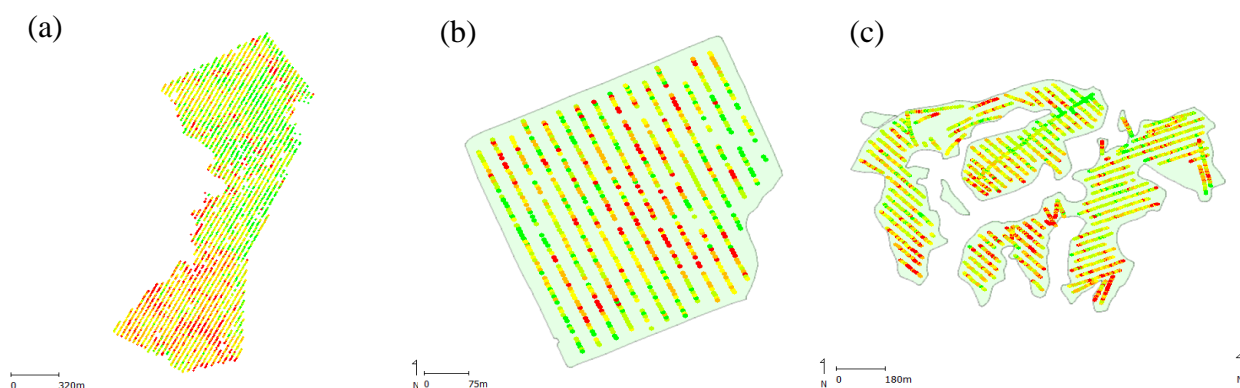


Figura 10. Pontos de coleta de dados de Condutividade Elétrica Aparente (CEa) nas áreas A1 (a), A2 (b) e A3 (c).

Após a coleta dos dados foi possível gerar mapas de zonas de manejo de modo a orientar a coleta das amostras de solo. Utilizando-se o programa Vesper 1.6 (MINASNY et. al., 2002) e o método de interpolação por krigagem pontual (CELINSK, 2008), foi realizada a construção dos semivariogramas experimentais para cada ponto a ser interpolado de forma

automatizada pelo software para posterior geração dos mapas de variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente obtidas pelo sensor, possibilitando a orientação da coleta das amostras de solo (Figura 11).

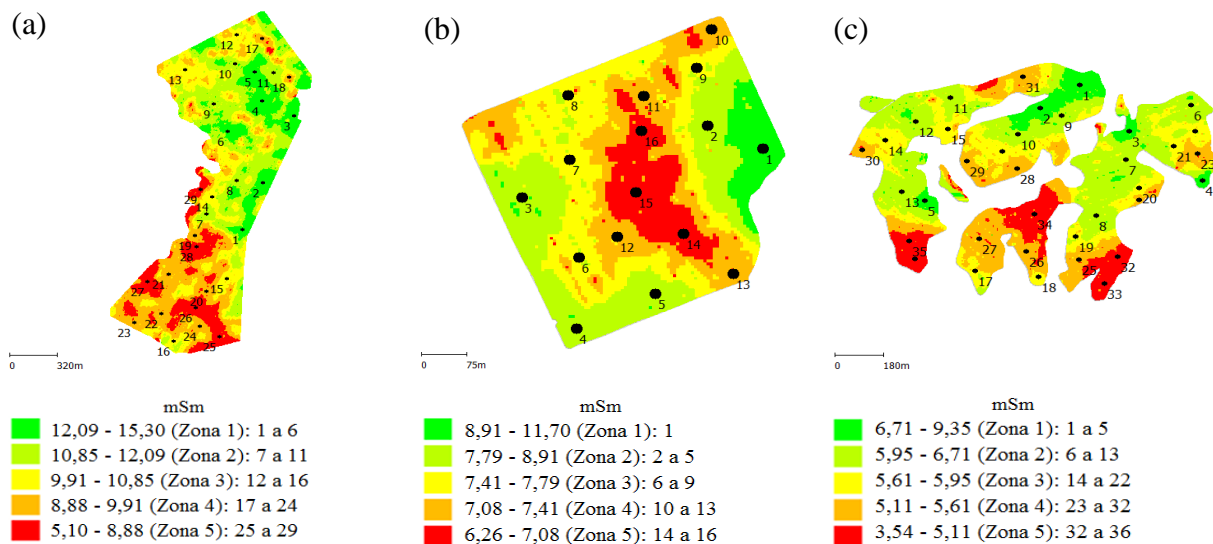


Figura 11. Direcionamento dos pontos de coleta por zonas de manejo, para a área A1 (a), A2 (b) e A3 (c).

5.3 Análises químicas

Para definição dos teores dos elementos químicos necessários para as correções da acidez e fertilidade do solo, utilizou-se as recomendações sugeridas pelo Manual da Embrapa (1997). Os elementos avaliados para as recomendações foram: Calcário, Fósforo, Potássio e Nitrogênio.

Este procedimento foi utilizado para os três métodos de amostragem (Malhas Amostrais - MA, Zonas de Manejo por Altitude - ZMA e Orientada - AO).

5.3.1 Descrição das recomendações

Após a realização das análises do solo para cada método abordado, foram realizadas as recomendações de Calcário, Potássio (K), Fósforo (P) e Nitrogênio (N) de acordo com a metodologia de recomendação proposta (Fontoura et al., 2015).

5.3.2 Mapas de recomendação

Os mapas de recomendação são ferramentas fundamentais para o direcionamento *in loco* dos produtos químicos, tendo em vista que é possível avaliar espacialmente as

necessidades de correção química do solo, permitindo dosagens orientadas de acordo com a distribuição espacial proposta por cada mapa por zonas de recomendação.

Para avaliação dos quantitativos necessários para aplicações de Calcário, Potássio, Fósforo e Nitrogênio, foram gerados mapas de recomendação química de acordo com os resultados das análises laboratoriais obtidas a partir dos métodos de amostragem objetos do presente estudo.

Para todos os métodos, os resultados das análises laboratoriais foram inseridos e compilados por meio do Software SMS Advanced (Sistema Avançado de Gerenciamento Espacial), versão 15.1 – Fabricante AG Leader Technology), para geração dos mapas de recomendação. Cada mapa possui faixas de interpretação em escalas de percentuais de distribuição das dosagens por cores de acordo com cada insumo estudado. Desta forma, correlacionando as cores com os percentuais, é possível direcionar espacialmente as dosagens.

O interpolador utilizado para as amostragens em malha foi a krigagem. Os semivariogramas foram confeccionados no software GS+ 7.0 (GDS, 2004; DALCHIAVON et al., 2011; DALCHIAVON et al., 2012; DALCHIAVON et al., 2013; DALCHIAVON et al., 2015) e as interpolações pelo software SSToolBox 4.0 (SST Development Group, Stillwater, OK – USA) (MOLIN et al., 2010; Oliveira et al., 2011; MOLIN et al., 2013; SANA et al., 2014).

Para interpolação dos dados de altimetria e CEa foram utilizados o software Vesper 1.6 (MINASNY et. al., 2002) e o método de interpolação de krigagem pontual por haver elevado volume de pontos.

5.4 Análise ambiental

A análise ambiental baseou-se na comparação dos quantitativos obtidos pelas planilhas de cálculo e pelos mapas de recomendação para aplicação de Calcário, Potássio, Fósforo e Nitrogênio de acordo com o proposto por cada método de recomendação e em cada área estudada.

Desta maneira, foi possível avaliar qualitativa e quantitativamente de maneira localizada as possibilidades de déficits e de superperdosagens por área e método. Após estas comparações, buscou-se correlacionar os resultados aos estudos já apresentados na literatura sobre as questões ambientais correlatas de modo a corroborar com as discussões do estudo.

5.5 Análise econômica

De acordo com os resultados obtidos para cada método amostral, foram definidas as recomendações de fertilizantes. Por meio dos mapas de recomendação e de planilha eletrônica, foram realizadas as comparações dos quantitativos de cada fertilizante recomendado para cada método amostral por área total.

Para quantificação dos custos de aquisição dos insumos para correção da acidez e adubação das áreas, utilizou-se como referência as especificações técnicas pré-definidas e doses calculadas para cada produto (Tabela 4).

Tabela 4. Custos para aquisição dos insumos por toneladas.

| Insumo | Valor | Frete | Somatório Total |
|----------------|--------------|--------------|------------------------|
| Calcário | 42,19 | 34,00 | 76,19 |
| Fósforo | 1.610,75 | 64,00 | 1.674,75 |
| KCL | 1.333,83 | 64,00 | 1.397,83 |
| Uréia 00-00-45 | 1.345,00 | 64,00 | 1.409,00 |

De posse dos custos praticados pelo mercado para cada insumo, foram calculados e comparados os custos totais para cada método amostral por insumo e por área total.

Os custos de mão de obra para coleta das amostras variaram de acordo com o método amostral por meio da multiplicação das áreas totais (número de hectares em cada área de estudo) pelo valor individual de cada coleta. Os valores cobrados para coleta de amostras foram de R\$ 33,00/ha para o método de malhas amostrais e de R\$ 22,00/ha para zonas de manejo por altitude e amostragem orientada.

Os custos das análises laboratoriais foram calculados por meio da multiplicação entre o número de amostras e o valor individual das análises (Tabela 5).

Tabela 5. Número de amostras por área de estudo.

| Área | Área (m²) | Método de Amostragem | | |
|-------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------|------------------|
| | | Zonas de Manejo por Altitude | Malhas Amostrais | Orientada |
| A1 | 154,82 | 3 | 158 | 5 |
| A2 | 18,64 | 3 | 23 | 5 |
| A3 | 62,63 | 3 | 65 | 5 |

Avaliou-se, também, os custos fixos e variáveis com máquinas e equipamentos segundo a metodologia proposta por Balastreire (1990).

Os equipamentos utilizados foram implementos de tração com discos duplos com controladores para taxa variável para aplicação de Calcário e Nitrogênio, e semeadoras de precisão para aplicação de Fósforo e Potássio. Os custos foram calculados em reais por hectare.

Para as comparações dos resultados e dos custos foram utilizadas como referência as amostragens por malhas amostrais pelo fato de este método ter sido o método aplicado na prática.

Os parâmetros utilizados para realização dos cálculos apresentados dos custos para utilização dos conjuntos mecanizados seguiram as recomendações propostas por Balastreire (2004). Os fatores avaliados para a avaliação econômica para o uso de máquinas e implementos considerou a depreciação, seguro, juros, custo operacional, viabilidade, mão de obra.

A depreciação foi calculada com base nas informações do preço médio do implemento novo, do valor de sucata e a vida útil. Neste caso, subtraiu-se o valor de sucata do preço médio e dividiu-se o resultado pela vida útil dos implementos.

$$D^{(R\$/h)} = (VS - PM)/VU \quad (1)$$

Onde: D – Depreciação; VS – Valor de sucata; PM – Preço médio; Vida útil.

Segundo CUNHA et al. (2015), não é uma prática comum no Brasil a realização de seguro de máquinas e equipamentos, levando a falsa impressão da não necessidade desse cálculo que, se não for calculado e repassado para as seguradoras, fica por conta do proprietário. Todavia, os mesmos autores informaram sobre a obrigatoriedade da realização de seguros para máquinas e equipamentos, demonstrando uma mudança de comportamento do mercado quando a aquisição de seguros.

No Brasil, a taxa de juros varia entre 0,75% e 2,0% do custo inicial ao ano de acordo com o modelo da máquina e da quantidade de horas trabalhadas (CUNHA et al., 2015; CUNHA et al., 2016), sendo no presente estudo, aplicada a taxa de juros de 1,20% (14,40% a.a.).

Para o cálculo do seguro, levou-se em consideração a taxa de juros, o preço médio do implemento novo e o valor de sucata. O valor final do seguro foi calculado multiplicando-se o valor da taxa de juros pelo preço médio e logo após somando-se o resultado ao valor de sucata. Este valor foi dividido pela quantidade de horas trabalhadas por ano.

$$S^{(R\$/h)} = [(TX*PM)+VS]/HT \quad (2)$$

Onde: S – Seguro; TX – Taxa de juros; PM – Preço médio; VS - Valor de sucata; Horas trabalhadas por ano.

De acordo com (SILVA et al., 2013 e CUNHA, et al., 2015) os juros constituem a remuneração do capital empregado na aquisição da máquina. Assim, os juros foram calculados em reais por hora, relacionando o preço médio do implemento novo, o valor de sucata, a taxa de juros e a quantidade de horas trabalhadas por ano. O valor final foi obtido a partir da soma entre o preço médio e o valor de sucata, dividindo-se o resultado por 2 e multiplicando-se pela taxa de juros. Ao final, dividiu-se o valor obtido pela quantidade de horas trabalhadas por ano.

$$J^{(R\$/h)} = [(PM + VS)/2 * TX]/HTA \quad (3)$$

Onde: J – Juros; PM – Preço médio; VS - Valor de sucata; TX – Taxa de juros; HT - Horas trabalhadas por ano.

O custo de mão de obra foi calculado com base no salário base dos colaboradores, encargos trabalhistas e a quantidade de horas trabalhadas por mês. Para a realização dos cálculos somou-se o salário base aos encargos e dividiu-se o resultado pela quantidade de horas trabalhadas por mês.

$$MO^{(R\$/h)} = (SB + E)/HTM \quad (4)$$

Onde: MO – Mão de obra; SB – Salário base; E - Encargos; HTM - Horas trabalhadas por mês.

Os custos como manutenção foram calculados com base no preço médio multiplicado pela porcentagem de gasto com manutenção preventiva e corretiva e o resultado dividido pelo tempo de vida útil do equipamento.

$$MA^{(R\$/h)} = (PM * GMa)/Tvida \quad (5)$$

Onde: MA – Manutenção; PM – Preço médio equipamento; GMa - porcentagem de gasto com manutenção preventiva e corretiva; Tvida – Tempo de vida útil do equipamento (em horas).

Os custos com combustível foram calculados em Dólares por hora, multiplicando-se o consumo em litros por hora pelo valor de aquisição do óleo diesel por litro que foi de US\$ 0,86.

$$C^{(R\$/h)} = (CS*VAD) \quad (6)$$

Onde: C – Combustível; CS – Consumo; VAD - Valor de aquisição do óleo diesel.

O custo operacional relaciona o custo da hora trabalhada e um determinado equipamento e a sua real capacidade de trabalho (CUNHA et al., 2016). Desta forma, o mesmo foi calculado com base na soma dos valores resultantes dos cálculos de depreciação, juros, manutenção, seguro, combustível e mão de obra.

$$CO = D + J + M + S + C + MO \quad (7)$$

Onde: CO – Custo operacional; D– Depreciação; J - Juros; S – Seguro; C – Combustível; MO – Mão de obra.

Para o cálculo do custo final com resultado em US\$/hora, somou-se os custos fixos, variáveis e de aquisição de insumos.

$$CT = CF + CV + AI \quad (8)$$

Onde: CT – Custo Total; CF – Custos Fixos; AI – Aquisição de Insumos.

Para o cálculo do custo final com resultado em R\$.h⁻¹, somou-se os custos fixos, variáveis e de aquisição de insumos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise Ambiental comparativa entre os métodos amostrais

6.1.1 Calcário

Ao se avaliar o mapa apresentado na Figura 12a, que trata da recomendação de Calcário para área A1 e que foi gerado a partir do método amostral de Zonas de Manejo por Altitude (ZMA) observou-se a existência de apenas duas doses recomendadas para esta área. Assim, observou-se a dosagem de 1392,04 a 1802,45 kg.ha⁻¹ em 34,41 ha ou para 22,22% da área e uma dosagem de 981,63 para 1392,04 kg.ha⁻¹ no restante da área, o que equivale a

120,26 ha ou 77,88% da área. O total de Calcário a ser aplicado nesta área baseado na recomendação deste método foi de 213 toneladas.

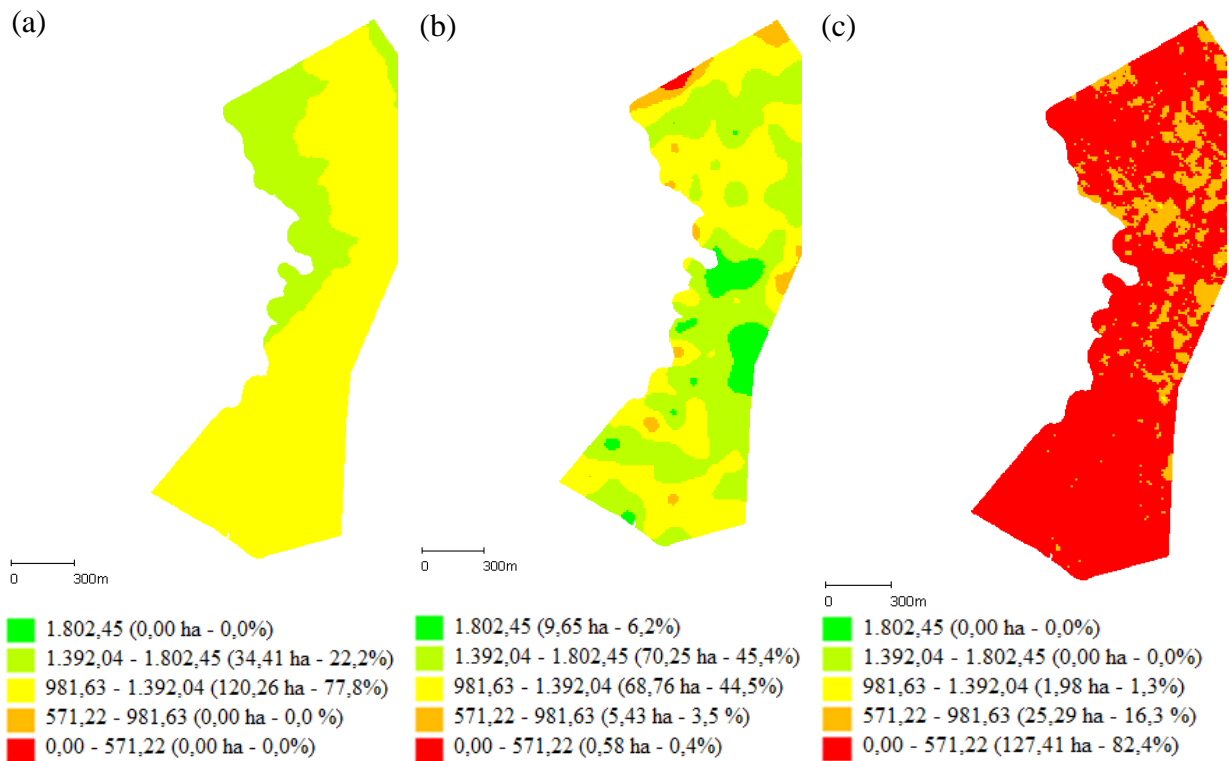


Figura 12. Mapas de recomendação de Calcário da área A1 obtidos pelo método amostral por Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A1.

Na Figura 12b, que trata da recomendação de Calcário para área A1 e que foi gerado a partir do método amostral de Malhas Amostrais (MA), todas as cinco faixas de recomendação de aplicação de Calcário apresentaram dosagens a serem aplicadas, evidenciando, desta maneira, uma maior distribuição do Calcário na área em estudo. Desta forma, observou-se as dosagens de 0,00 a 571,22 kg.ha⁻¹ em 0,58 ha ou para 0,4% da área na primeira faixa de interpretação, 571,22 kg.ha⁻¹ a 981,62 kg.ha⁻¹ em 5,43 ha ou para 3,5% da área na segunda faixa de interpretação. Na terceira faixa de interpretação, foi possível observar as dosagens de 981,63 kg.ha⁻¹ a 1392,04 kg.ha⁻¹ em 68,76 ha ou para 44,5% da área. Na quarta faixa de interpretação, observou-se as dosagens de 1392,04 kg.ha⁻¹ a 1802,45 kg.ha⁻¹ em 70,25 ha ou para 45,4% da área. Já a quinta e última faixa de interpretação apresentou dosagem de 1802,45 kg.ha⁻¹ em 9,65 ha ou para 6,2% da área A1.

A recomendação de Calcário calculada foi de 219 toneladas/área total, quando se baseou em MA (Malhas Amostrais), apresentando acréscimo de 6 toneladas/área total no geral quando comparada com ZMA.

Já para o método de Amostragem orientada por CEa (AO) foram apresentadas três faixas de recomendação no mapa; todavia, com redução expressiva da recomendação de Calcário com 47 toneladas/área total (Figura 12c). Desta forma, observou-se as dosagens de 0,00 a 571,22 kg.ha⁻¹ em 127,41 ha ou para 82,4% da área na primeira faixa de interpretação,

571,22 kg.ha⁻¹ a 981,62 kg.ha⁻¹ em 25,29 ha ou para 16,3% da área na segunda faixa de interpretação. Na terceira e última faixa de interpretação, foi possível observar as dosagens de 981,63 kg.ha a 1392,04 kg.ha⁻¹ em 1,98 ha ou para 1,3% da área A1. O total de Calcário a ser aplicado na área A1 baseado na recomendação deste método foi de 47 toneladas.

Avaliando os três métodos sob o ponto de vista ambiental, AO se apresentou como alternativa mais viável comparada com os métodos iniciais, indicando possibilidade de excesso de calagem de 166 t para ZMA e 172 t para MA.

Na Figura 13a, que trata da recomendação de Calcário para área A2 e que foi gerado a partir do método ZMA, apenas duas faixas de recomendação de aplicação de Calcário apresentaram dosagens a serem aplicadas, com 61,1% em apenas uma faixa e 38,9% em outra, evidenciando, desta maneira, baixa distribuição espacial do Calcário na área em estudo.

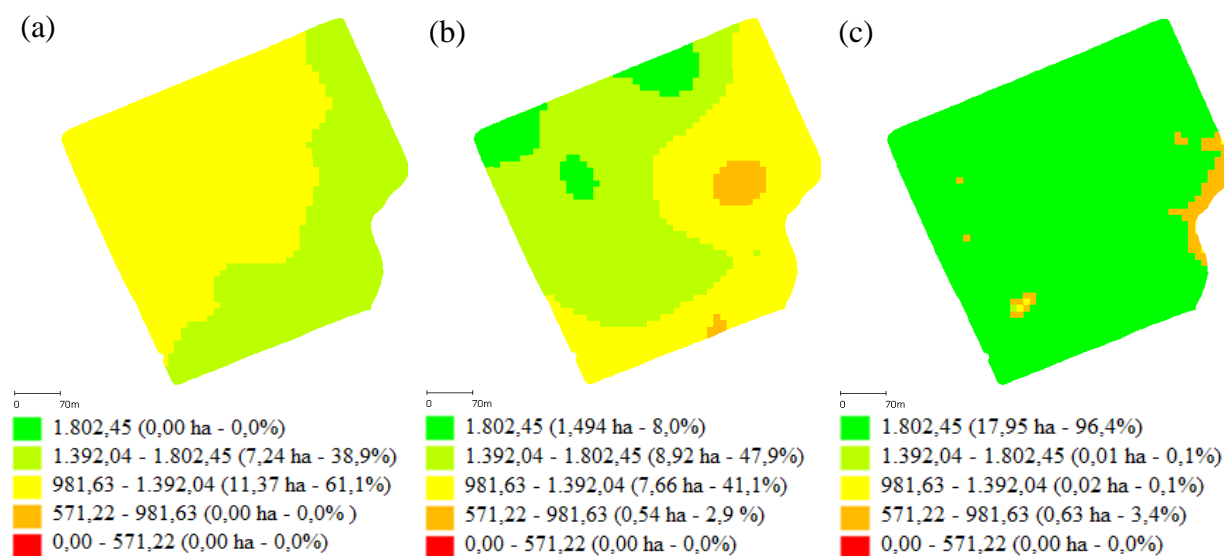


Figura 13. Mapas de recomendação de Calcário da área A2 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A2.

Desta forma, observou-se apenas a terceira e quarta faixa de interpretação, com dosagens de 981,63 kg.ha⁻¹ a 1392,04 kg.ha⁻¹ em 11,37 ha ou para 61,1% da área para terceira faixa. Na quarta faixa de interpretação, apresentou-se as dosagens de 1392,04 kg.ha⁻¹ a 1802,45 kg.ha⁻¹ em 7,24 ha ou para 38,9% da área. O total de Calcário a ser aplicado na área A2 baseado na recomendação deste método foi de 47 toneladas.

A Figura 13b, que trata da recomendação de Calcário para área A2, que foi gerado a partir do método MA, quatro faixas de recomendação de aplicação de Calcário apresentaram dosagens a serem aplicadas, evidenciando, desta maneira, melhor distribuição do Calcário na área em estudo. Desta forma, observou-se as dosagens de 571,22 kg.ha⁻¹ a 981,62 kg.ha⁻¹ em 0,54 ha ou para 2,9% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de 981,63 kg.ha⁻¹ a 1392,04 kg.ha⁻¹ em 7,66 ha ou para 41,1% da área. Na quarta faixa, observou-se as dosagens de 1392,04 kg.ha⁻¹ a 1802,45 kg.ha⁻¹ em 8,92 ha ou para 47,9% da área. Já a quinta e última faixa de interpretação apresentou dosagem de 1802,45 kg.ha⁻¹ em 1,49 ha ou para 8% da área A2.

Comparado com ZMA, MA apresentou maior distribuição espacial do Calcário com o mesmo valor total de 27 toneladas/área total. Além disso, MA apresentou superioridade quando avaliado o quesito ambiental por propiciar melhor distribuição espacial do Calcário.

Quando avaliado método de Amostragem orientada por CEa (AO) (Figura 13c), foi possível observar que também foram apresentadas quatro faixas de recomendação no mapa comparado com MA; todavia, com aumento da recomendação de Calcário de 40 toneladas/área total, um acréscimo de 13 t. Desta forma, observou-se as dosagens de 571,22 kg.ha⁻¹ a 981,62 kg.ha⁻¹ em 0,63 ha ou para 3,4% da área na segunda faixa de interpretação. Na terceira e faixa, foi possível observar as dosagens de 981,63 kg.ha⁻¹ a 1392,04 kg.ha⁻¹ em 0,2 ha ou para 0,1% da área A2. Para quarta faixa, observou-se as dosagens de 1392,04 kg.ha⁻¹ a 1802,45 kg.ha⁻¹ em 0,01 ha ou para 0,1% da área. Já a quinta e última faixa de interpretação apresentou dosagem de 1802,45 kg.ha⁻¹ em 17,95 ha ou para 96,4% da área A2.

De maneira controversa, quando avaliado o mapa de recomendação gerado através da AO (Figura 13c), apesar de terem sido apresentadas também 4 faixas de interpretação, apenas uma delas apresentou 96,4%, para um total de 40 toneladas/área total, evidenciando MA como alternativa mais viável.

Fazendo o comparativo geral entre os três métodos para recomendação de Calcário para a área A2, AO se apresentou como pior alternativa comparada com os métodos anteriores por recomendar excesso de 13 toneladas/área total de Calcário comparado ZMA e MA, além de indicar menor distribuição espacial do fertilizante. Neste contexto, a alternativa ambiental mais viável foi apresentada por MA por conta da maior distribuição espacial do Calcário e mesma recomendação do que ZMA.

Seguindo a tendência das áreas anteriores, a Figura 14a, que trata da recomendação de Calcário para área A3 e que foi gerado a partir ZMA, apenas três faixas de recomendação de aplicação de Calcário apresentaram dosagens a serem aplicadas, com menor distribuição espacial para o Calcário com recomendação total de 108 toneladas/área total. Assim, foram observadas as dosagens de 837,07 kg.ha⁻¹ a 1356,59 kg.ha⁻¹ em 25,07 ha ou para 40,1% da área na segunda faixa de interpretação. Na terceira faixa, foi possível observar as dosagens de 1356,59 a 1952,01 kg.ha⁻¹ em 21,37 ha ou para 34,2% da área. Na quarta faixa de interpretação, observou-se as dosagens de 1952,01 kg.ha⁻¹ a 2733,98 kg.ha⁻¹ em 16,12 ha ou para 25,8% da área.

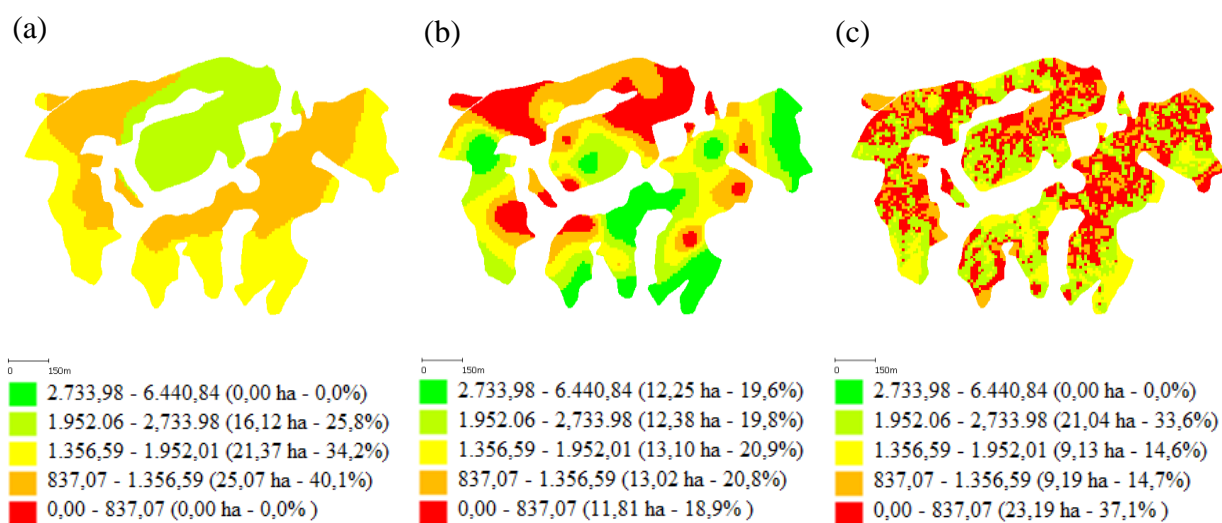


Figura 14. Mapas de recomendação de Calcário da área A3 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A3.

A Figura 14b, que trata da recomendação de Calcário para área A3, que foi gerado a partir do método MA, onde todas as cinco faixas de recomendação de aplicação de Calcário apresentaram dosagens a serem aplicadas, evidenciando, desta maneira, melhor distribuição do Calcário na área em estudo, apesar do aumento de 6 t de Calcário comparado como ZMA. Desta forma, observou-se as dosagens de 0,00 a 837,07 kg.ha⁻¹ em 11,81 ha ou para 18,9% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de 837,07 kg.ha⁻¹ a 1356,59 kg.ha⁻¹ em 13,02 ha ou para 20,8% da área. Na terceira faixa, as dosagens foram de 1356,59 a 1952,01 kg.ha⁻¹ em 13,10 ha ou para 20,9% da área. Na quarta faixa, observou-se as dosagens de 1952,06 kg.ha⁻¹ a 1733,98 kg.ha⁻¹ em 12,38 ha ou para 19,8% da área. Já a quinta e última faixa de interpretação apresentou dosagem de 2733,98 kg a 6440,84 kg.ha⁻¹ em 12,25 ha ou para 19,6% da área A3. O total de Calcário a ser aplicado na área A3 baseado na recomendação deste método foi de 114 toneladas.

Quando avaliado o método AO para área A3, foi possível observar que foram apresentadas as quatro faixas iniciais de recomendação no mapa; todavia, com redução expressiva da recomendação de Calcário para 74 toneladas/área total (Figura 14c). Desta forma, observou-se as dosagens de 0,00 a 837 kg.ha⁻¹ em 23,19 ha ou para 37,1% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de 837,07 kg.ha⁻¹ a 1356,59 kg.ha⁻¹ em 9,19 ha ou para 14,7% da área A3. Para terceira faixa, observou-se as dosagens de 1356,59 kg.ha⁻¹ a 1952,01 kg.ha⁻¹ em 9,13 ha ou para 14,6% da área. Já para a quarta faixa de interpretação, foram observadas dosagens de 1952,06 kg.ha⁻¹ a 2733,98 kg.ha⁻¹ em 21,04 ha ou para 33,6% da área.

AO apresentou menor recomendação de Calcário com total de 74 toneladas/área total, evidenciando possível excesso de recomendação de 34 t de Calcário para ZMA e 40 t para MA, além disso, apresentou melhor distribuição espacial apresentando-se como alternativa mais viável sob o ponto de vista ambiental.

Em estudos realizados por (REFATTI et al., 2014) para verificação do efeito da calagem na lixiviação dos herbicidas imazethapyr e imazapyr, foi possível constatar que grande parte dos herbicidas tem o solo como destino final e a contaminação do lençol freático

por estes herbicidas é aumentada quando há superdose de Calcário por conta da elevação do pH.

Apesar de o Calcário não se tratar um fertilizante, tendo a função de correção do pH, seu excesso de dosagem pode influenciar em impactos ambientais indiretos, como na facilitação da lixiviação de herbicidas.

Ainda sobre os herbicidas, estudos realizados por (ESAU et al.; 2016) com aplicação da AP para pulverização inteligente e localizada de herbicidas no cultivo de mirtilo selvagem, apontam redução de custo da ordem 37%, além de custos adicionais com combustível e equipamentos, com evidente potencial da AP na redução de custos de produção e redução de riscos ambientais.

De acordo com (CFSEMG, 1999), a quantidade de Calcário a ser aplicada depende das análises de solo, que pode evitar superdosagem. Segundo os autores, a calagem em excesso é tão prejudicial quanto a acidez elevada, podendo aumentar a dificuldade de correção por conta da precipitação de diversos nutrientes do solo, como o P, além de induzir maior predisposição a danos nas propriedades físicas dos solos.

Esses motivos apresentados corroboram com o estudo proposto, pois além da possibilidade de redução de custos com as dosagens localizadas, é possível evitar a contaminação do solo por outros nutrientes ou produtos químicos que poderão agir por associação com as condições de supercalagem.

6.1.2 Fósforo

O mapa de recomendação apresentado na Figura 15a, que trata da recomendação de Fósforo para área A1 e que foi gerado a partir ZMA, apresenta apenas uma faixa de recomendação de aplicação de Fósforo com dosagens a serem aplicadas, com recomendação total de 32,6 toneladas/área total. Desta forma, houve diferença espacial nas cores que propiciassem a avaliação localizada das dosagens. Assim, foi observada apenas a dosagem de 204,05 kg.ha⁻¹ a 360,0 kg.ha⁻¹ em 154,67 ha ou para 100% da área.

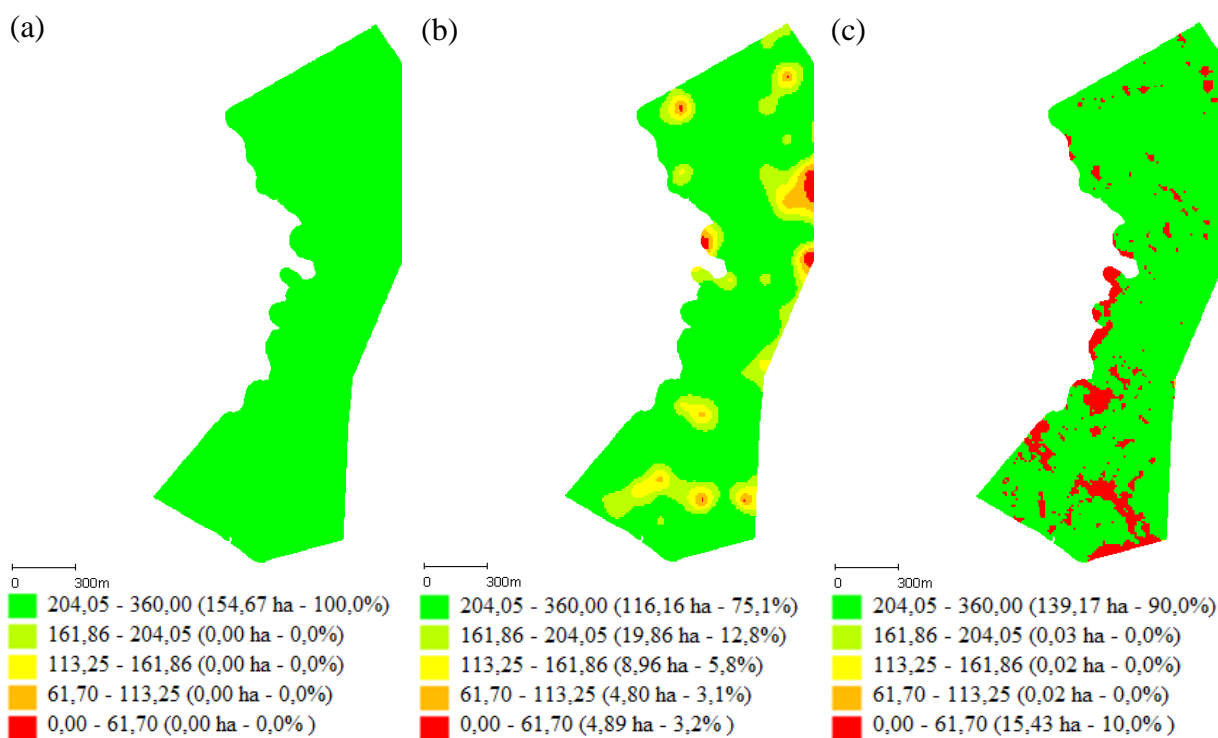


Figura 15. Mapas de recomendação de Fósforo da área A1 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A1.

A Figura 15b, que trata da recomendação de Fósforo para área A1, que foi gerado a partir do método MA, apresenta todas as cinco faixas de recomendação de aplicação de Fósforo com dosagens a serem aplicadas, evidenciando, desta maneira, melhor distribuição do Fósforo na área em estudo. Assim, observou-se as dosagens de 0,00 a 61,70 kg.ha⁻¹ em 4,89 ha ou para 3,2% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de 61,70 kg.ha⁻¹ a 113,25 kg.ha⁻¹ em 4,8 ha ou para 3,1% da área. Na terceira faixa, as dosagens foram de 113,25 a 161,86 kg.ha⁻¹ em 8,96 ha ou para 5,8% da área. Na quarta faixa, observou-se as dosagens de 161,86 kg.ha⁻¹ a 204,05 kg.ha⁻¹ em 19,86 ha ou para 12,8% da área. Já a quinta e última faixa de interpretação apresentou dosagem de 204,05 kg a 360 kg.ha⁻¹ em 116,16 ha ou para 75,1% da área A1. O método MA apresentou maior distribuição espacial do Fósforo recomendado total de 34,3 toneladas/área total.

Mesmo com o incremento de 1,7 t, a maior distribuição espacial demonstrada no mapa obtido por MA (Figura 15b) indicam que as 5 faixas de interpretação possuem áreas não apresentadas no primeiro mapa (Figura 15a) podendo indicar déficit de recomendação de Fósforo, interferindo na produtividade. No tocante à questão ambiental, comparando MA com ZMA é possível avaliar que haveria para MA 5,21% de adição de Fósforo em excesso, porém com maior distribuição espacial.

Quando avaliado o método AO para área A1, foi possível observar que foram apresentadas apenas a primeira e a última faixa recomendação no mapa (Figura 15c). Desta forma, observou-se as dosagens de 0,00 a 61,70 kg.ha⁻¹ em 15,43 ha ou para 10% da área na primeira faixa de interpretação. Na última faixa, foi possível observar as dosagens de 204,05 kg.ha⁻¹ a 360,00 kg.ha⁻¹ em 139,17 ha ou para 90% da área A1.

AO apresentou recomendação de 36,9 toneladas/área total, um quantitativo 4,3 t superior ZMA e 2,6 t superior a MA e ainda menor distribuição espacial da recomendação no mapa conforme apresentado na Figura 15c.

Para área A1, AO não apresentou visualmente ganho ambiental comparado com os demais métodos; porém, suas manchas vermelhas em seu mapa de recomendação indicam necessidade de 10% (3,9 t) de Fósforo distribuídas em locais não apresentados nos métodos anteriores.

De maneira geral, quando avaliado o quesito ambiental, MA se apresenta como alternativa mais viável por conta da distribuição espacial, mesmo com recomendação superior a ZMA para a área A1.

Na Figura 16a, que trata da recomendação de Fósforo para área A2 e que foi gerado a partir do método ZMA, apenas duas faixas de recomendação de aplicação de Fósforo apresentaram dosagens a serem aplicadas, com 60,5% em apenas uma faixa e 39,5% na outra, evidenciando, desta maneira, baixa distribuição espacial do Fósforo na área em estudo.

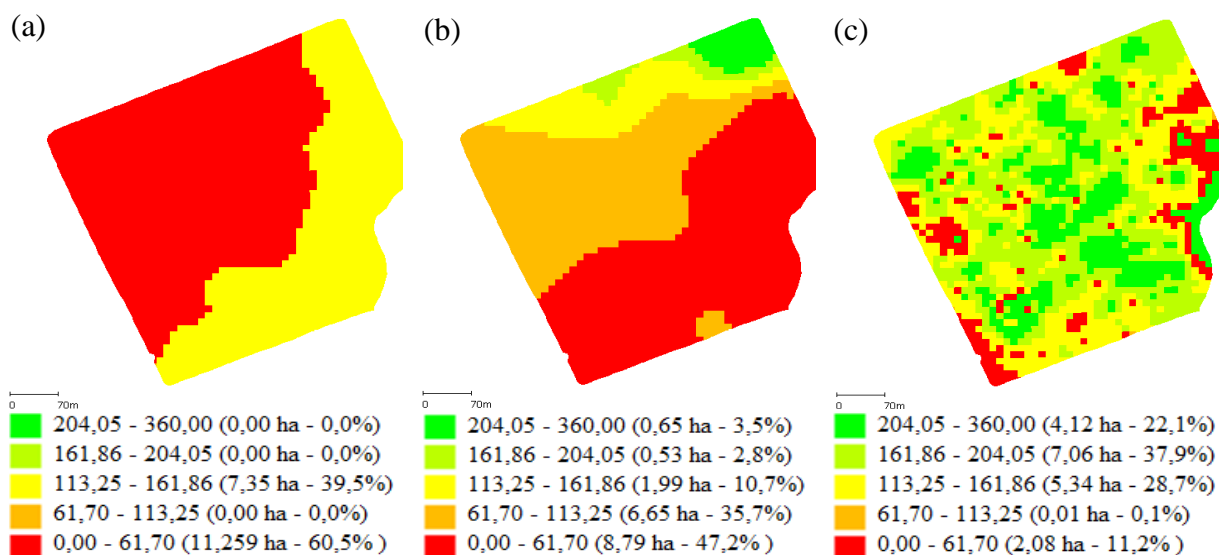


Figura 16. Mapas de recomendação de Fósforo da área A2 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A2.

Desta forma, observou-se apenas a primeira e terceira faixa de interpretação, com dosagens de 0,00 kg.ha⁻¹ a 61,70 kg.ha⁻¹ em 11,259 ha ou para 60,5% da área para primeira faixa. Na terceira faixa de interpretação, foram apresentadas dosagens de 113,25 kg.ha⁻¹ a 161,86 kg.ha⁻¹ em 7,35 ha ou para 39,5% da área.

ZMA apresentou baixa distribuição espacial e ainda a possibilidade de dosagens desnecessárias de Fósforo em alguns locais do mapa (Figura 16a). Sua recomendação total de Fósforo foi de 1,1 toneladas/área total para área A2.

O mapa de recomendação de Fósforo, apresentado na Figura 16b para área A2, que foi gerado a partir do método MA, apresenta todas as cinco faixas de recomendação de aplicação de Fósforo com dosagens a serem aplicadas, evidenciando, desta maneira, melhor distribuição do Fósforo na área em estudo. Desta forma, foram observadas as dosagens de 0,00 kg.ha⁻¹ a 61,70 kg.ha⁻¹ em 8,79 ha ou para 47,2% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de 61,70 kg.ha⁻¹ a 113,25 kg.ha⁻¹ em 6,65 ha

ou para 35,7% da área. Na terceira faixa, observou-se as dosagens de 113,25 kg.ha⁻¹ a 161,86 kg.ha⁻¹ em 1,99 ha ou para 10,7% da área. Na quarta faixa, foi possível observar as dosagens de 161,86 kg.ha⁻¹ a 204,05 kg.ha⁻¹ em 0,53 ha ou para 2,8% da área. Já a quinta e última faixa de interpretação apresentou dosagem de 204,05 kg.ha⁻¹ a 360,0 kg.ha⁻¹ em 0,65 ha ou para 3,5% da área A2.

Quando avaliado o mapa de recomendação de Fósforo gerado a partir do método AO para área A2 (Figura 16c), foi possível observar que foram apresentadas todas as cinco faixas de recomendação no mapa. Assim, foram observadas as dosagens de 0,00 kg.ha⁻¹ a 61,70 kg.ha⁻¹ em 2,08 ha ou para 11,2% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de 61,70 kg.ha⁻¹ a 113,25 kg.ha⁻¹ em 0,01 ha ou para 0,1% da área. Na terceira faixa, observou-se as dosagens de 113,25 kg.ha⁻¹ a 161,86 kg.ha⁻¹ em 5,34 ha ou para 28,7% da área. Na quarta faixa, foi possível observar as dosagens de 161,86 kg.ha⁻¹ a 204,05 kg.ha⁻¹ em 7,06 ha ou para 37,9% da área. Já a quinta e última faixa de interpretação apresentou dosagem de 204,05 kg.ha⁻¹ a 360,0 kg.ha⁻¹ em 4,12 ha ou para 22,1% da área A2.

Ao avaliar o mapa obtido através de MA (Figura 16b), observa-se que foram contempladas todas as faixas de interpretação, apresentando MA como alternativa mais viável comparada com ZMA por conta da sua maior distribuição, além da possibilidade de dosagens desnecessárias em locais apresentados pelo primeiro método.

Ao comparar a cor laranja do mapa gerado por de MA com a cor vermelha do mapa gerado por ZMA, é possível constatar a possibilidade de superdose de Fósforo indicada por ZMA e conseqüente possibilidade impacto ambiental.

AO apresentou melhor distribuição no mapa (Figura 16c); porém, recomendação consideravelmente superior aos métodos anteriores, apresentando MA como a alternativa mais viável sob o ponto de vista ambiental, mesmo com distribuição de 0,2 t superior a ZMA.

O mapa de recomendação apresentado na Figura 17a, que trata da recomendação de Fósforo para área A3 e que foi gerado a partir ZMA, apresenta apenas duas faixas de recomendação de aplicação de Fósforo com dosagens a serem aplicadas, com recomendação de 61,70 kg.ha⁻¹ a 113,25 kg.ha⁻¹ em 25,05 ha ou para 40% da área na segunda faixa e 113,25 a 161,86 em 37,51 ha ou para 60% da área A3 para um total recomendado de 7,5 toneladas/área total.

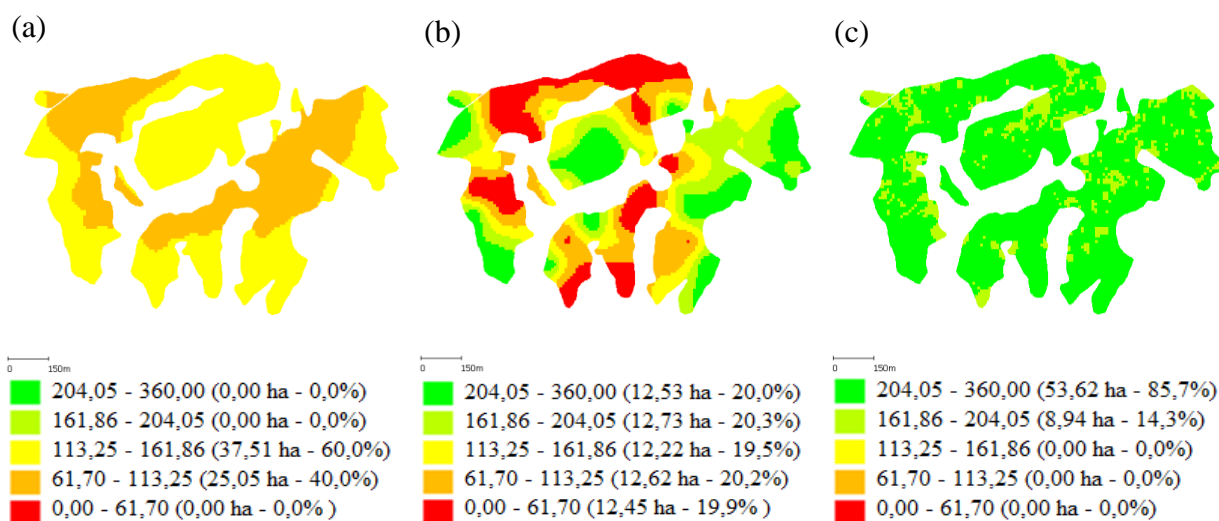


Figura 17. Mapas de recomendação de Fósforo da área A3 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A3.

O mapa de recomendação de Fósforo, apresentado na Figura 17b para área A3 e que foi gerado a partir do método MA, apresenta todas as cinco faixas de recomendação de aplicação de Fósforo com dosagens a serem aplicadas, evidenciando, desta maneira, melhor distribuição do Fósforo na área em estudo. Desta forma, observou-se as dosagens de 0,00 kg.ha⁻¹ a 61,70 kg.ha⁻¹ em 12,45 ha ou para 19,9% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de 61,70 kg.ha⁻¹ a 113,25 kg.ha⁻¹ em 12,62 ha ou para 20,2% da área. Na terceira faixa, observou-se as dosagens de 113,25 kg.ha⁻¹ a 161,86 kg.ha⁻¹ em 12,22 ha ou para 19,5% da área. Na quarta faixa, foi possível observar as dosagens de 161,86 kg.ha⁻¹ a 204,05 kg.ha⁻¹ em 12,73 ha ou para 20,3% da área. Já a quinta e última faixa de interpretação apresentou dosagem de 204,05 kg.ha⁻¹ a 360,0 kg.ha⁻¹ em 12,53 ha ou para 20% da área A3. A recomendação total de Fósforo para área A3 baseada em MA foi de 8,2 t.

O mapa de recomendação de Fósforo gerado a partir do método AO para área A3 (Figura 17c), assim como o mapa gerado a partir do método ZMA, apresentou apenas duas faixas de recomendação. Assim, foram observadas as dosagens de 161,86 kg.ha⁻¹ a 204,05 kg.ha⁻¹ em 8,94 ha ou para 14,3% da área na quarta faixa e dosagem de 204,05 kg.ha⁻¹ a 360,0 kg.ha⁻¹ em 53,62 ha ou para 85,7% na última faixa de recomendação da área A3. AO apresentou 7,8 t de Fósforo a mais do que ZMA e 7,1 t a mais do que MA.

Se fosse considerada apenas a média nacional de 30% de eficiência de aplicação de Fósforo apresentada por (ASSAD et al., 2012), independentemente do método amostral, haveria perdas para o ambiente na ordem de 22,82 t (22.820 kg) para ZMA, 24,01 t (24.010 kg) para MA e 25,83 t (25.830 kg) para AO, quando avaliados os resultados da área A1. Para área A2, as perdas seriam de 0,77 t (770 kg) para ZMA e 0,91 t (910 kg) para MA e 1,96 (1.960 kg) para AO. Já para área A3, a perda por ineficiência de aplicação seria de 5,25 t (5.250 kg) para ZMA, 5,74 t (5.740 kg) para MA e 10,71 t (10.710 kg) para AO. Desta forma, além da potencial poluição por ineficiência já mencionadas pelos autores, haveria contaminação adicional de 51% para ZMA e 46,41% para MA principalmente por eutrofização caso o método escolhido fosse a amostragem orientada.

MA apresentou-se como alternativa mais viável sob o ponto de vista ambiental por conta da sua distribuição espacial e proporcionalidade, além de possuir valor de recomendação próxima de ZMA. Neste cenário, AO indicou a possibilidade de adição desnecessária de Fósforo de 51% comparado com ZMA e 46,4% com MA para área A2, indicando possível dano ambiental futuro.

KLEIN & AGNE et al., 2012 avaliam que apenas de 15 a 20% do P aplicado é absorvido pelas plantas. Esta perda de 80 a 85% está relacionada com a mobilidade e solubilidade do P em água e da interação entre suas partículas com o solo. Considerando além desta perda estimada já calculada para o ambiente, o excesso de recomendação do P pode causar danos ambientais desastrosos, além do risco à saúde humana por conta da contaminação dos corpos hídricos por lixiviação.

Apesar de o P apresentar baixa capacidade de percolação no solo, seu excesso pode causar o enriquecimento excessivo da água e o consequente processo de eutrofização por conta do escoamento superficial, que pode comprometer a disponibilidade de oxigênio no meio por conta do crescimento exagerado de algas e plantas. Desta forma, as medidas de controle da eutrofização se restringem ao correto dimensionamento das adubações (KLEIN & AGNE et al., 2012).

Um dado a ser observado é que o P foi aplicado diretamente nas linhas de semeadura em todas as áreas em estudo, o que deve ser evitado segundo (KLEIN & AGNE et al., 2012), já que esta é uma das maneiras mais comuns de contaminação das águas por conta do carreamento superficial.

Em estudos realizados por (GLEBLER et al., 2014) com Super Fosfato Triplo comercial para avaliação da transferência do P como contaminada, foi possível concluir que a maior parte do P agrícola solúvel é arrastado no período inicial das chuvas. O autor conclui que no início da enxurrada, o P tende a ficar em suspensão e ao longo do tempo dissolvido em água, fazendo com o que o escoamento superficial apresente diferentes escalas de riscos ambiente, principalmente em se tratando de chuvas críticas.

Como apresentado nos estudos sobre o Fósforo, seus malefícios quando mal administrado vão desde a má aplicação como ocorreu nas áreas em estudo, quanto na sua aplicação excessiva. Assim, é imperativa a necessidade da aplicação de técnicas amostrais de AP que propiciem a correta dosagem do Fósforo para minimizar a possibilidade de impactos ambientais, principalmente por eutrofização.

6.1.3 Potássio

No mapa de recomendação apresentado na Figura 18a, que trata da recomendação de Potássio para área A1 e que foi gerado a partir ZMA, observou-se que não houve variação da dosagem recomendada de Potássio a ser aplicada na área A1, pelo fato de o resultado ter sido nulo; ou seja, 0 t de Potássio recomendado para A1.

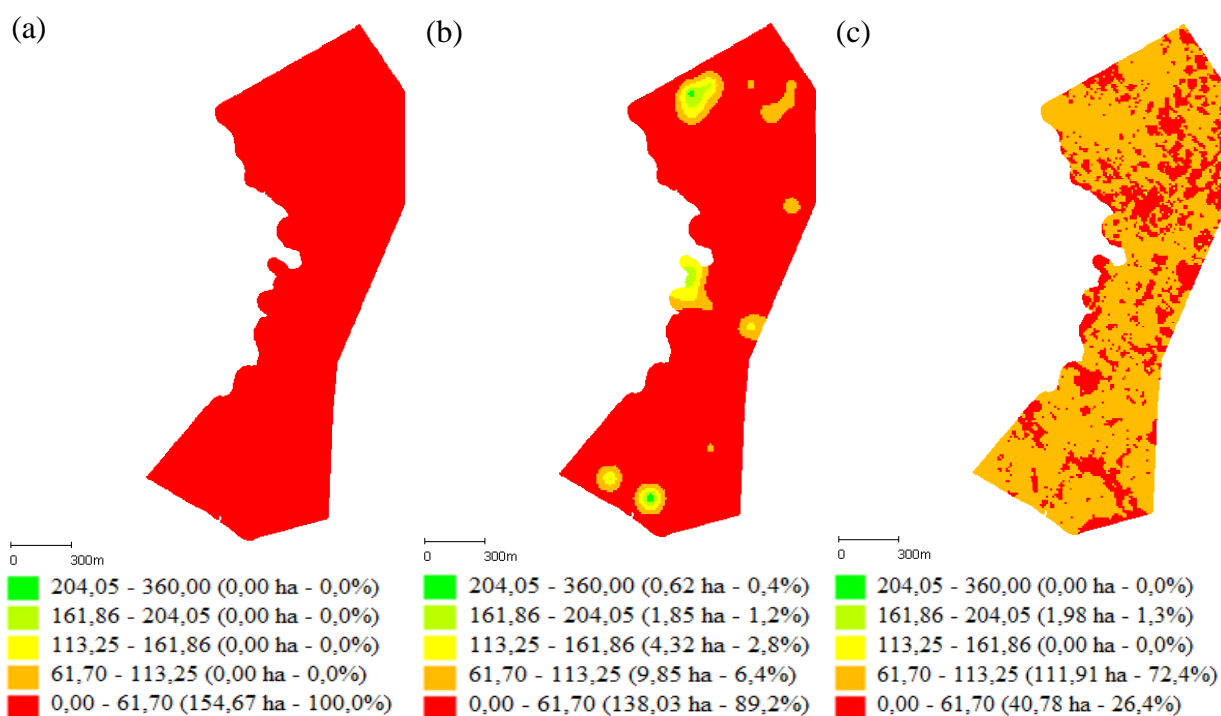


Figura 18. Mapas de recomendação de Potássio da área A1 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A1.

O mapa de recomendação de Potássio, apresentado na Figura 18b para área A1 e que foi gerado a partir do método MA, apresenta todas as cinco faixas de recomendação de aplicação de Potássio com dosagens a serem aplicadas. Desta forma, observou-se as dosagens de $0,00 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $61,70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em 138,03ha ou para 89,2% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de $61,70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $113,25 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em 9,85 ha ou para 6,4% da área. Na terceira faixa, observou-se as dosagens de $113,25 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $161,86 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em 4,32 ha ou para 2,8% da área. Na quarta faixa, foi possível observar as dosagens de $161,86 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $204,05 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em 1,85 ha ou para 1,2% da área. Já a quinta e última faixa de interpretação apresentou dosagem de $204,05 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $360,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em 0,62 ha ou para 0,4% da área A1. A recomendação total de Fósforo para área A1 baseada em MA foi de 1,3 t.

O mapa de recomendação de Potássio, apresentado na Figura 18c para área A1 e que foi gerado a partir do método AO, apresentou apenas três faixas de recomendação de aplicação de Potássio com dosagens a serem aplicadas. Desta forma, observou-se as dosagens de $0,00 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $61,70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em 40,78 ha ou para 26,4% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de $61,70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $113,25 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em 111,91 ha ou para 72,4% da área. Na terceira faixa, observou-se as dosagens de $161,86 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $204,05 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em 1,98 ha ou para 1,3% da área. A recomendação total de Fósforo para área A1 baseada em AO foi de 5,1 t.

AO apresentou recomendação de 5,1 t (Figura 18c); ou seja, 5,1 t superior a ZMA e 3,8 t superior a MA. Desta forma, ao se comparar os métodos em estudo, observou-se que MA apresenta-se como alternativa superior entre os métodos, por contemplar todas as faixas

de distribuição, apesar de possuir recomendação superior a ZMA. Além disso, é possível que ZMA tenha apresentado déficit de Potássio.

De maneira semelhante à área A1, no mapa de recomendação apresentado na Figura 19a, que trata da recomendação de Potássio para área A2 e que foi gerado a partir ZMA, observou-se que não houve variação da dosagem recomendada de Potássio a ser aplicada na área A1, pelo fato de o resultado também ter sido nulo; com 0t de Potássio recomendado para A2.

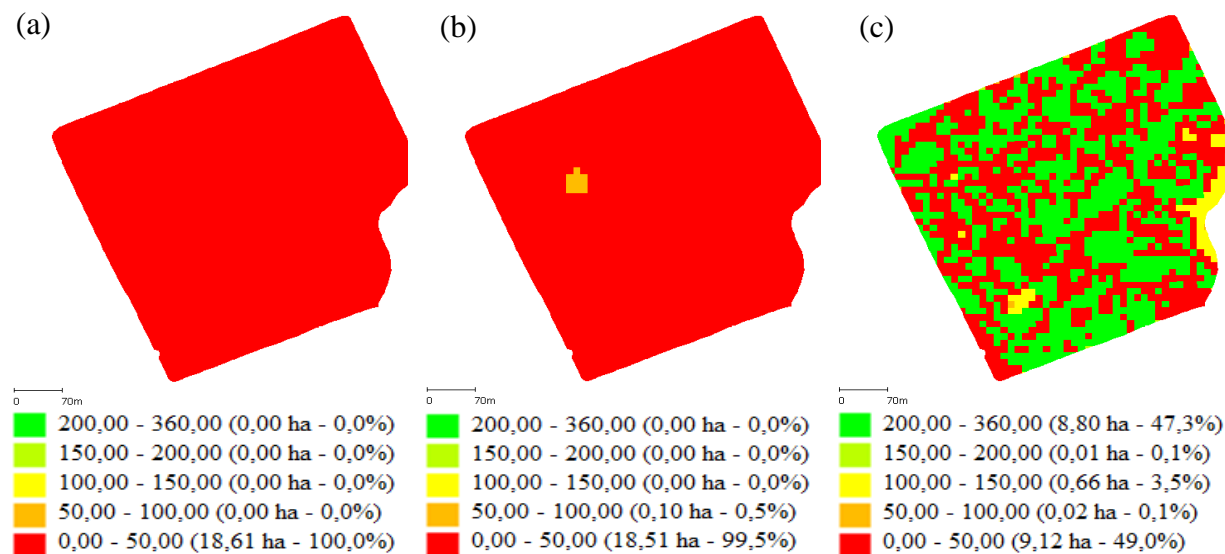


Figura 19. Mapas de recomendação de Potássio da área A2 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A2.

O mapa de recomendação de Potássio, apresentado na Figura 19b para área A2 e que foi gerado a partir do método MA, apresentou pequena adição de Potássio, com apenas duas faixas de recomendação de aplicação de Potássio com dosagens a serem aplicadas. Desta forma, observou-se as dosagens de 0,00 kg.ha⁻¹ a 50,0 kg.ha⁻¹ em 18,51 ha ou para 99,5% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de 50,0 kg.ha⁻¹ a 100,0 kg.ha⁻¹ em 0,10 ha ou para 0,5% da área. A recomendação total de Potássio para área A2 baseada em MA foi de 0,1 t.

O mapa de recomendação de Potássio, apresentado na Figura 19c para área A2 e que foi gerado a partir do método AO, apresentou todas as cinco faixas de recomendação de aplicação de Potássio com dosagens a serem aplicadas. Desta forma, observou-se as dosagens de 0,00 kg.ha⁻¹ a 50 kg.ha⁻¹ em 9,12 ha ou para 49,0% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de 50,0 a 100 kg.ha⁻¹ em 0,02 ha ou para 0,01% da área. Na terceira faixa, observou-se as dosagens de 100 kg.ha⁻¹ a 150 kg.ha⁻¹ em 0,66 ha ou para 3,5% da área. Na quarta faixa, foi possível observar as dosagens de 150 kg.ha⁻¹ a 200 kg.ha⁻¹ em 0,01 ha ou para 0,1% da área. Já a quinta e última faixa de interpretação apresentou dosagem de 200 kg.ha⁻¹ a 360,0 kg.ha⁻¹ em 8,8 ha ou para 47,3% da área A2. A recomendação total de Fósforo para área A2 baseada em AO foi de 2,5 t.

AO apresenta recomendação de 2,5 t (Figura 19c); ou seja, 2,5t superior a ZMA e 2,4 t superior a MA. Desta forma, analisando o contexto geral, MA apresenta-se como alternativa superior entre os métodos, apesar de contemplar apenas duas as faixas de interpretação e de

possuir recomendação superior a ZMA. Além disso, é possível que ZMA apresente déficit de Potássio.

O mapa de recomendação de Potássio, apresentado na Figura 20a para área A3 e que foi gerado a partir do método ZMA, apresentou pequena adição de Potássio, com apenas duas faixas de recomendação de aplicação de Potássio com dosagens a serem aplicadas. Desta forma, observou-se as dosagens de 0,00 kg.ha⁻¹ a 25,0kg.ha⁻¹ em 46,41 ha ou para 74,2% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de 25,0 kg.ha⁻¹ a 50,0 kg.ha⁻¹ em 16,15 ha ou para 25,8% da área. A recomendação total de Potássio para área A3 baseada em ZMA foi de 0,8 t.

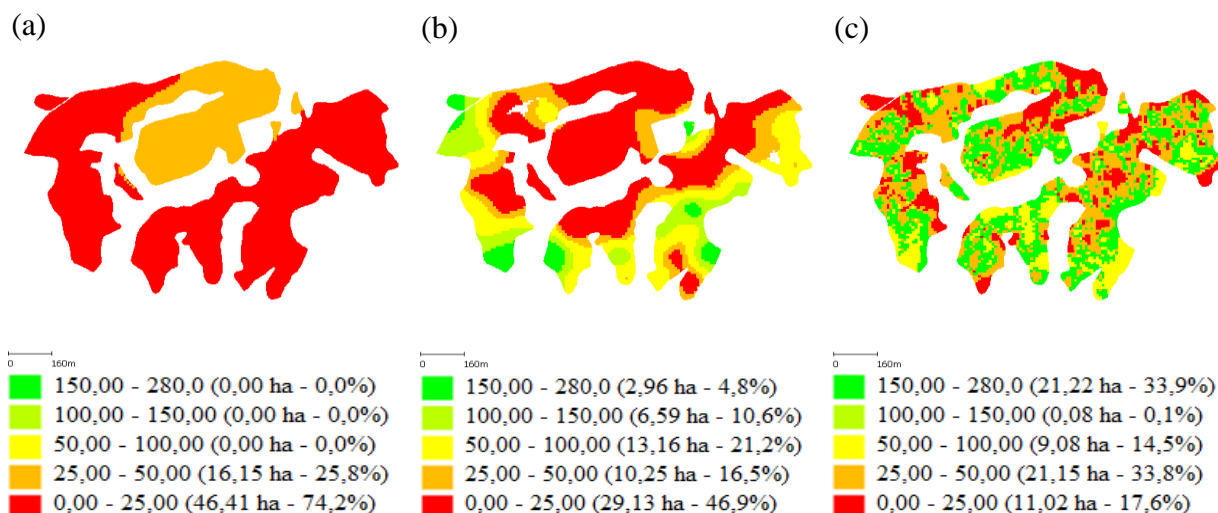


Figura 20. Mapas de recomendação de Potássio da área A3 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A3.

Quando avaliado o mapa de recomendação de Potássio, apresentado na Figura 20b para área A3 e que foi gerado a partir do método MA, foi possível observar que o mesmo apresentou todas as cinco faixas de recomendação de aplicação de Potássio com dosagens a serem aplicadas. Desta forma, observou-se as dosagens de 0,00 kg.ha⁻¹ a 25,0 kg.ha⁻¹ em 29,13 ha ou para 46,9% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de 25,0 a 50,0 kg.ha⁻¹ em 10,25 ha ou para 16,5% da área. Na terceira faixa, observou-se as dosagens de 50,0 Kg.ha⁻¹ a 100 kg.ha⁻¹ em 13,16 ha ou para 21,2% da área. Na quarta faixa, foi possível observar as dosagens de 100,0 kg.ha⁻¹ a 150,0 kg.ha⁻¹ em 6,59 ha ou para 10,6% da área. Já a quinta e última faixa de interpretação apresentou dosagem de 150,0 kg.ha⁻¹ a 280,0 kg.ha⁻¹ em 2,96 ha ou para 4,8% da área A3. A recomendação total de Potássio para área A3 baseada em MA foi de 2,8 t.

O mapa de recomendação de Potássio, apresentado na Figura 20c para área A3 e que foi gerado a partir do método AO, apresentou todas as cinco faixas de recomendação de aplicação de Potássio com dosagens a serem aplicadas. Assim, foram observadas as dosagens de 0,00 kg.ha⁻¹ a 25,0 kg.ha⁻¹ em 11,02 ha ou para 17,6% da área na primeira faixa de interpretação. Na segunda faixa, foi possível observar as dosagens de 25,0 a 50,0 kg.ha⁻¹ em 21,15 ha ou para 33,8% da área. Na terceira faixa, observou-se as dosagens de 50,0 kg.ha⁻¹ a 100 kg.ha⁻¹ em 9,08 ha ou para 14,5% da área. Na quarta faixa, foi possível observar as dosagens de 100,0 kg.ha⁻¹ a 150,0 kg.ha⁻¹ em 0,08 ha ou para 0,1% da área. Já a quinta e última faixa de interpretação apresentou dosagem de 150,0 kg.ha⁻¹ a 280,0 kg.ha⁻¹ em 21,22

ha ou para 33,9% da área A3. A recomendação total de Potássio para área A3 baseada em MA foi de 4,2 t.

De acordo com o mapa de recomendação de Potássio gerado a partir de ZMA, foi possível constatar reduzida distribuição espacial do elemento. Em contrapartida, ZMA apresentou o menor quantitativo de Potássio para área A3, com 2 t inferior a MA e 1,4 t inferior a AO.

MA apresentou maior distribuição espacial no mapa (Figura 20b), contemplando todas as faixas de interpretação e ainda diversas áreas não contempladas por ZMA. AO também apresentou maior distribuição de Potássio assim como MA, com todas as faixas de interpretação no mapa em locais não contemplados por ZMA e MA (Figura 20c).

Na comparação geral entre os três mapas, apesar de ZMA apresentar menor quantitativo de Potássio, MA demonstrou superioridade; porém, inferior a AO que se apresentou como alternativa ambiental mais viável, por conta da maior distribuição espacial, apesar de indicar maior quantitativo de Potássio e custo maior comparado a ZMA. Considerando apenas média nacional de 70% de eficiência de aplicação de Potássio apresentada por (ASSAD et al., 2012), independentemente do método amostral, haveria perdas para o ambiente na ordem de 0,39 t (390 kg) para MA e 3,13 t (3120 kg) para AO, quando avaliados os resultados da área A1. Para área A2, as perdas seriam de 0,03 t (30kg) para MA e 0,75 t (750 kg) para AO. Já para área A3, a perda por ineficiência de aplicação seria de 0,24 t (240 kg) para ZMA, 0,84 t (840 kg) para MA e 1,26 t (1260 kg) para AO.

Hauschild (2013) ao comparar recomendações de Calcário, Fósforo e Potássio para plantio de milho, demonstra a eficiência do uso de malhas amostrais. Em seus resultados foi possível constatar dosagens subdimensionadas e superdimensionadas em locais diferentes, indicando aplicação excessiva de fertilizantes quando observadas as recomendações baseadas na média.

A lixiviação por Potássio é um problema real (ZOLIN, 2011; MEURER et al., 2012). O excesso de Potássio pode poluir as águas subterrâneas (SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2014) e conseqüentemente o lençol freático. Por este motivo é de grande importância que as dosagens das recomendações químicas sejam assertivas de modo a evitar a poluição dos recursos hídricos (SILVA et al., 2007).

Vargas et al. (2012) avalia que o Potássio pode lixiviar e penetrar nos lençóis freáticos aumentando os sólidos dissolvidos totais por ser solúvel em água e por conferir ao solo elevada concentração salina. Simplício et al., (2015) constata ainda que o processo de salinização por Potássio pode alterar a composição da fauna local, mesmo com baixas concentrações por conta da sua alta toxicidade, sendo o Cloreto de Potássio o mais conhecido.

Comparando e correlacionando os métodos amostrais estudados é possível obter dosagens ideais de Potássio, de modo a reduzir a contaminação dos lençóis freáticos por lixiviação do KCl e a conseqüente salinização desses reservatórios.

6.1.4 Nitrogênio

O mapa de recomendação apresentado na Figura 21a, que trata da recomendação de Nitrogênio para área A1 e que foi gerado a partir ZMA, não apresentou distribuições relevantes nas dosagens recomendadas de Nitrogênio a ser aplicado na área A1 sob o ponto de vista visual. Desta forma, observou-se apenas duas na quarta e quinta faixa de distribuição, com dosagens de 210,0 kg.ha⁻¹ a 280,0 kg.ha⁻¹ em 152,69 ha ou para 98,7% da área quarta faixa de interpretação. Na quinta faixa, foi possível observar as dosagens de 280,0 kg.ha⁻¹ a

360 kg.ha⁻¹ em 1,98 ha ou para 1,3% da área. A recomendação total de Nitrogênio para área A1 baseada em ZMA foi de 40,1 t.

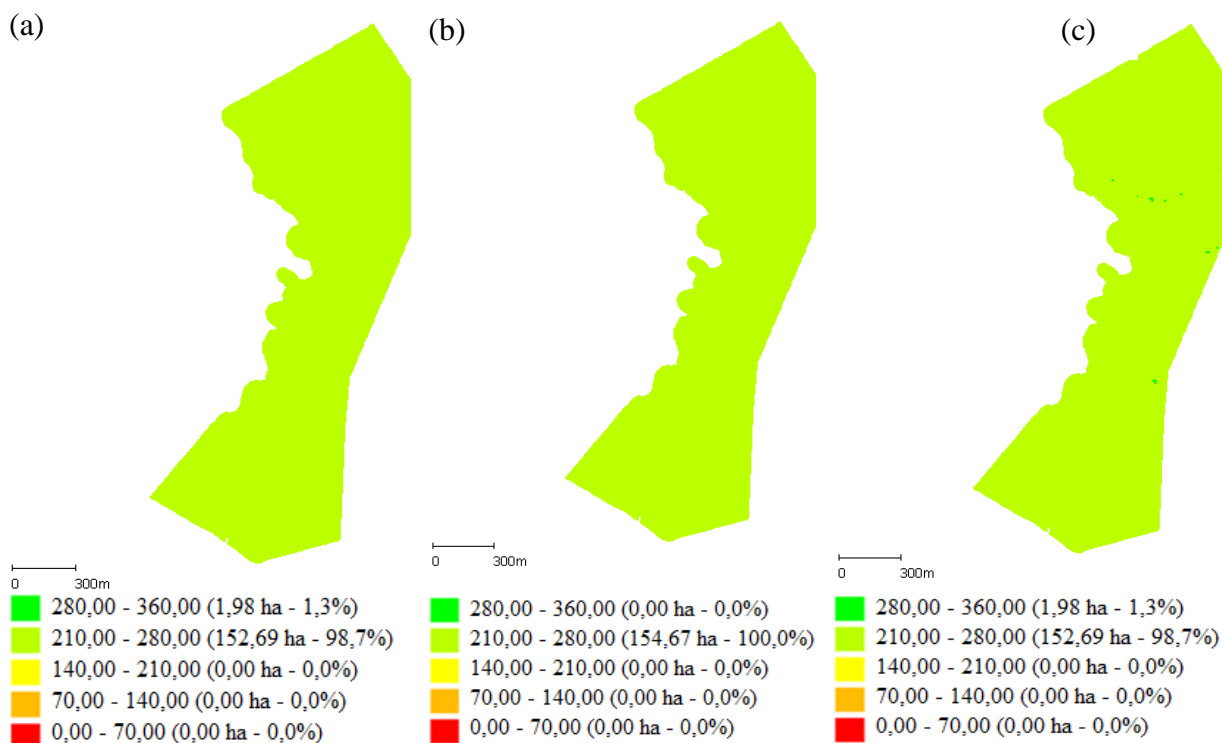


Figura 21. Mapas de recomendação de Nitrogênio da área A1 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A1.

O mapa de recomendação de Nitrogênio, apresentado na Figura 21b para área A1 e que foi gerado a partir do método MA, também não apresentou distribuições relevantes nas dosagens recomendadas de Nitrogênio a ser aplicado na área A1 sob o ponto de vista visual, com apenas uma faixa de recomendação de aplicação de Nitrogênio com apenas uma dosagem a ser aplicada. Desta forma, observou-se a dosagem de 210,0 kg.ha⁻¹ a 280 kg.ha⁻¹ em 154,67 ha ou para 100,0% da área na quarta faixa de interpretação. A recomendação total de Nitrogênio para área A1 baseada em MA foi de 40,4 t.

O mapa de recomendação de Nitrogênio, apresentado na Figura 21c para área A1 e que foi gerado a partir do método AO, também não apresentou distribuições relevantes nas dosagens recomendadas de Nitrogênio a ser aplicado na área A1 sob o ponto de vista visual, com apenas duas faixas de recomendação de aplicação de Nitrogênio com dosagens a serem aplicadas. Desta forma, observou-se apenas duas na quarta e quinta faixa de distribuição, com dosagens de 210,0 kg.ha⁻¹ a 280,0 kg.ha⁻¹ em 152,69 ha ou para 98,7% da área quarta faixa de interpretação. Na quinta faixa, foi possível observar as dosagens de 280,0 kg.ha⁻¹ a 360 kg.ha⁻¹ em 1,98 ha ou para 1,3% da área. A recomendação total de Nitrogênio para área A1 baseada em AO foi de 40,6 t.

Os valores totais de ZMA e MA foram de 40,1 t e 40,4 t respectivamente. AO apresentou valor total de 40,6 t e apesar de inexpressivo, foi o único método com representatividade visual e espacial em seu mapa (Figura 21c). Por este motivo, AO se apresenta como alternativa quando comparada aos métodos anteriores na questão da variabilidade espacial.

O mapa de recomendação apresentado na Figura 22a, que trata da recomendação de Nitrogênio para área A2 e que foi gerado a partir ZMA, não apresentou distribuições relevantes nas dosagens recomendadas de Nitrogênio a ser aplicado na área A2 sob o ponto de vista visual, com apenas uma faixa de recomendação de aplicação de Nitrogênio e apenas uma dosagem a ser aplicada. Desta forma, observou-se a dosagem de 210,0 kg.ha⁻¹ a 280 kg.ha⁻¹ em 18,61 ha ou para 100,0% da área na quarta faixa de interpretação. A recomendação total de Nitrogênio para área A2 baseada em ZMA foi de 4,8 t.

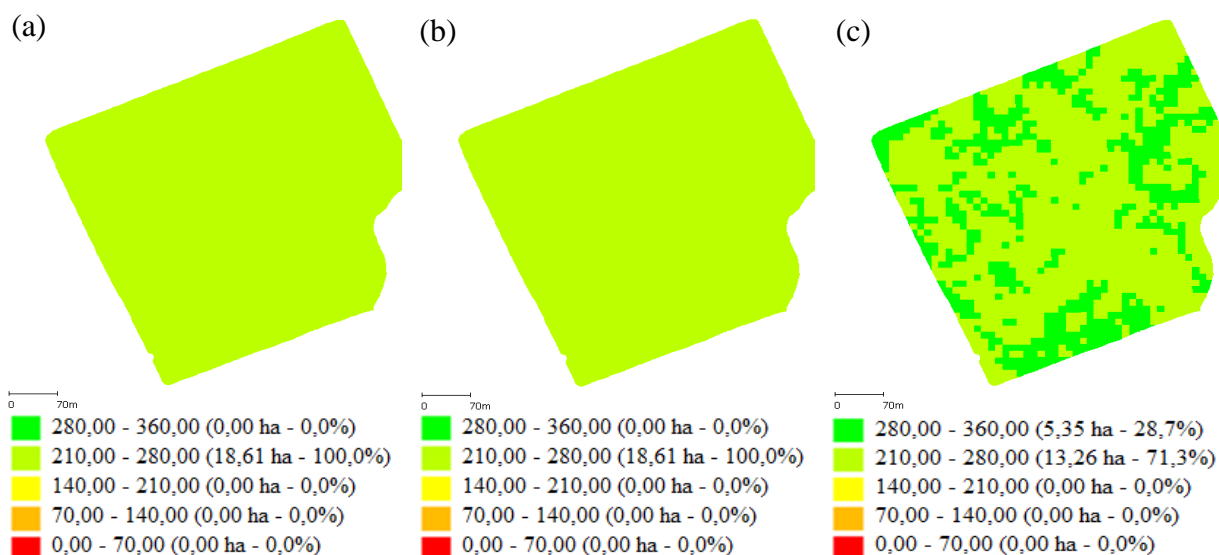


Figura 22. Mapas de recomendação de Nitrogênio da área A2 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A2.

O mapa de recomendação de Nitrogênio, apresentado na Figura 22b para área A2 e que foi gerado a partir do método MA, também não apresentou distribuições relevantes nas dosagens recomendadas de Nitrogênio a ser aplicado na área A2 sob o ponto de vista visual, com apenas uma faixa de recomendação de aplicação de Nitrogênio e apenas uma dosagem a ser aplicada. Desta forma, observou-se a dosagem de 210,0 kg.ha⁻¹ a 280 kg.ha⁻¹ em 18,61 ha ou para 100,0% da área na quarta faixa de interpretação. A recomendação total de Nitrogênio para área A2 baseada em MA foi de 4,9 t.

O mapa de recomendação de Nitrogênio, apresentado na Figura 22c para área A2 e que foi gerado a partir do método AO, também não apresentou distribuições relevantes nas dosagens recomendadas de Nitrogênio a ser aplicado na área A2 sob o ponto de vista visual, com apenas duas faixas de recomendação de aplicação de Nitrogênio com dosagens a serem aplicadas. Desta forma, observou-se apenas duas na quarta e quinta faixa de distribuição, com dosagens de 210,0 kg.ha⁻¹ a 280,0 kg.ha⁻¹ em 13,26 ha ou para 71,3% da área quarta faixa de interpretação. Na quinta faixa, foi possível observar as dosagens de 280,0 kg.ha⁻¹ a 360 kg.ha⁻¹ em 5,35 ha ou para 28,7% da área. A recomendação total de Nitrogênio para área A2 baseada em AO foi de 5,0 t.

Os valores totais de ZMA e MA foram de 4,8 t e 4,9 t respectivamente. AO apresentou valor total de 5,0 t e apesar de inexpressivo, foi o único método com representatividade visual

e espacial em seu mapa (Figura 22c). Por este motivo, AO se apresenta como a alternativa mais viável quando comparada aos métodos anteriores.

De maneira semelhante aos demais métodos de avaliação do Nitrogênio nas áreas A1 e A2, o mapa de recomendação apresentado na Figura 23a, que trata da recomendação de Nitrogênio para área A3 e que foi gerado a partir ZMA, não apresentou distribuições relevantes nas dosagens recomendadas de Nitrogênio a ser aplicado na área A3 sob o ponto de vista visual, com apenas uma faixa de recomendação de aplicação de Nitrogênio e apenas uma dosagem a ser aplicada. Assim, observou-se a dosagem de 210,0 kg.ha⁻¹ a 280 kg.ha⁻¹ em 62,56 ha ou para 100,0% da área na quarta faixa de interpretação. A recomendação total de Nitrogênio para área A3 baseada em ZMA foi de 16,3 t.

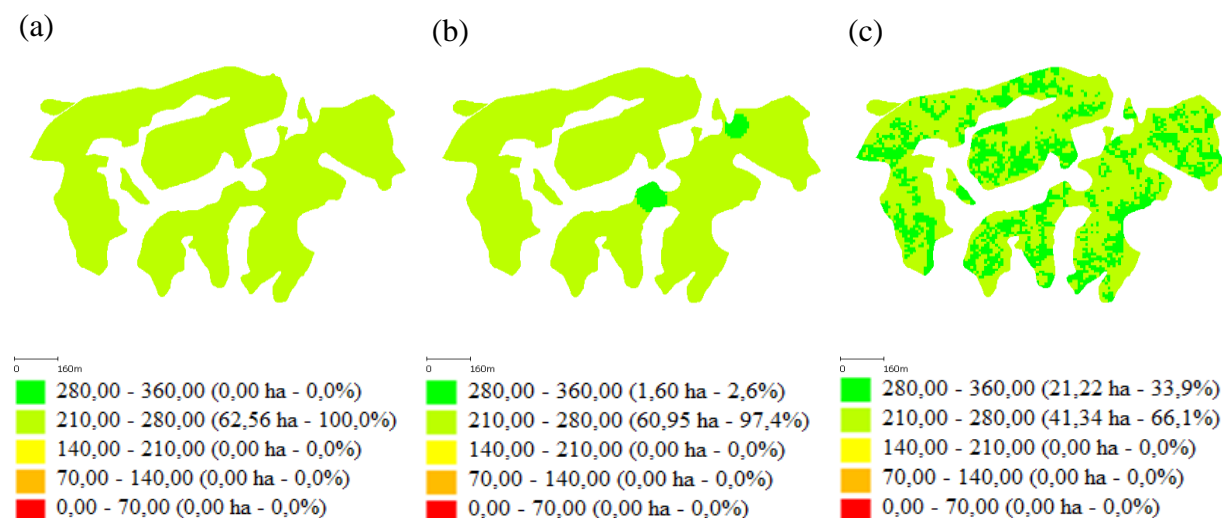


Figura 23. Mapas de recomendação de Nitrogênio da área A3 obtidos pelo método amostral da Zona de Manejo por Altitude (a), pelo método da amostragem em Malha (b) e pelo método da Amostragem Orientada (c) utilizado na área A3.

O mapa de recomendação de Nitrogênio, apresentado na Figura 23b para área A3 e que foi gerado a partir do método MA, também não apresentou distribuições relevantes nas dosagens recomendadas de Nitrogênio a ser aplicado na área A3 sob o ponto de vista visual, com apenas duas faixas de recomendação de aplicação de Nitrogênio. Desta forma, observou-se as dosagens de 210,0 kg.ha⁻¹ a 280 kg.ha⁻¹ em 60,95 ha ou para 97,4% da área na quarta faixa de interpretação. A quinta faixa, apresentou dosagens de 280,0 kg.ha⁻¹ a 360 kg.ha⁻¹ em 1,6 ha ou para 2,6% da área. A recomendação total de Nitrogênio para área A3 baseada em MA foi de 15,9 t.

O mapa de recomendação de Nitrogênio, apresentado na Figura 23c para área A3 e que foi gerado a partir do método AO, apresentou maior distribuição visual das dosagens recomendadas de Nitrogênio a ser aplicado na área A3; porém, com apenas duas faixas de recomendação de aplicação de Nitrogênio. Desta forma, observou-se as dosagens de 210,0 kg.ha⁻¹ a 280 kg.ha⁻¹ em 41,34 ha ou para 66,1% da área na quarta faixa de interpretação. A quinta faixa, apresentou dosagens de 280,0 kg.ha⁻¹ a 360 kg.ha⁻¹ em 21,22 ha ou para 33,9% da área. A recomendação total de Nitrogênio para área A3 baseada em AO foi de 16,8 t.

Considerando a média nacional de 60% de eficiência de aplicação de Nitrogênio apresentada por (ASSAD et al., 2012), independentemente do método amostral, haveria

perdas para o ambiente na ordem de 16,04 t (16.640 kg) para ZMA, 16,16 t (16.160 kg) para MA e 16,52 t (16.520 kg) para AO, quando avaliados os resultados da área A1. Para área A2, as perdas seriam de 1,92 t (1.920 kg) para ZMA e 1,96 t (1.960 kg) para MA e AO. Já para área A3, a perda por ineficiência de aplicação seria de 6,52 t (6.520 kg) para ZMA, 6,36 t (6.360 kg) para MA e 6,6 t (6.600 kg) para AO.

Comparando os resultados das áreas A1, A2 e A3, observou-se que os mapas gerados a partir de ZMA e MA não foram representativos para suas recomendações totais, com representação e distribuição espacial apenas em AO. Por este motivo, AO se apresenta como alternativa mais viável quando comparada aos métodos anteriores, por conta da sua distribuição espacial não apresentada nos mapas anteriores.

Vargas et al. (2012), aponta que a perda da produtividade, do valor econômico das propriedades e o risco à saúde humana estão diretamente relacionados às contaminações dos lençóis freáticos. O nitrato lixiviado das adubações nitrogenadas é passível de percolação e eutrofização (BOBATO, 2016; ZOLIN, 2011; MEURER et al., 2012), que convertido para nitrito.

Simplício (2015), avalia que os fertilizantes nitrogenados são preocupantes poluentes dos ecossistemas aquáticos, sendo os organismos os principais alvos dessa contaminação.

Em humanos, principalmente em bebês menores de 6 meses, o nitrato também é convertido em nitritos em seus corpos que quando alcançam a circulação sanguínea ao reagir com a hemoglobina, pode induzir inclusive o desenvolvimento da metahemoglobinemia (Síndrome do Bebe Azul), por inviabilizar o transporte de oxigênio (MEURER et al., 2012, SIMPLICIO, 2015).

Em animais ruminantes que se alimentam de águas contaminadas, o Nitrato é convertido em Nitrito pelas bactérias presentes em seus tratos digestivos, causando mortandade desses animais e prejuízos a pecuária (SIMPLICIO, 2015).

Por se tratar de um nutriente dinâmico e com alta solubilidade e mobilidade no solo (RAMBO, et al., 2004, MIYAZAWA et al., 2011), o N está sujeito a perdas por lixiviação, volatilização, imobilização, mobilização, nitrificação, desnitrificação e mineralização (BASI, 2013; SANGOI, et al., 2014; FOLLMANN, 2015; BIESDORF, et al., 2016).

O nitrato está entre os maiores contaminantes citados na literatura acerca da contaminação e representa sérios riscos à saúde humana, sendo um indicador confiável de potencial de contaminação das águas subterrâneas (KAISER et al., 2010). É um poluente mineral que contamina as águas subterrâneas por meio do acúmulo no perfil do solo em época de seca e da lixiviação nos períodos chuvosos (SILVA et al., 2007), podendo ser carregado para o lençol freático e cursos d'água (RAMBO, et al., 2004), com consequências ambientais desastrosas (BOBATO, 2006).

Estudos realizados por (KAISER et al., 2010), para avaliação da contaminação do solo por nitratos em plantio de tabaco do Rio Grande do Sul, indicaram altas concentrações de deste elemento, com risco de contaminação dos lençóis freáticos.

De acordo com (GOMES et al., 2014), concentrações pontuais de K, P e K na forma iônica, mesmo com baixa toxicidade no corpo hídrico pode desencadear efeitos tóxicos para a biota.

A forma iônica do Nitrogênio também participa do processo de acidificação dos córregos e rios, com aumento do pH e solubilidade de metais (SIMPLÍCIO, 2015).

Assim como o P é importante observar que o N e o K também foi aplicado diretamente nas linhas de semeadura em todas as áreas em estudo, aumentando consideravelmente a possibilidade de contaminação por conta do escoamento superficial. Assim, torna-se imperativa a necessidade da aplicação de técnicas amostrais de AP que propiciem a correta

dosagem do Nitrogênio para minimizar a possibilidade de impactos ambientais negativos aos corpos hídricos e atmosfera.

6.2 Análise Econômica comparativa entre os Métodos Amostrais

6.2.1 Calcário

Os resultados para aquisição de Calcário para área A1 foram de 213 t para ZMA, 219 t para o método MA e 154 t para AO (Figura 24). Tomando-se como ZMA como referência, houve acréscimo de 6 t (2,81% superior a MA) e redução de 59 t (72,30%) para AO.

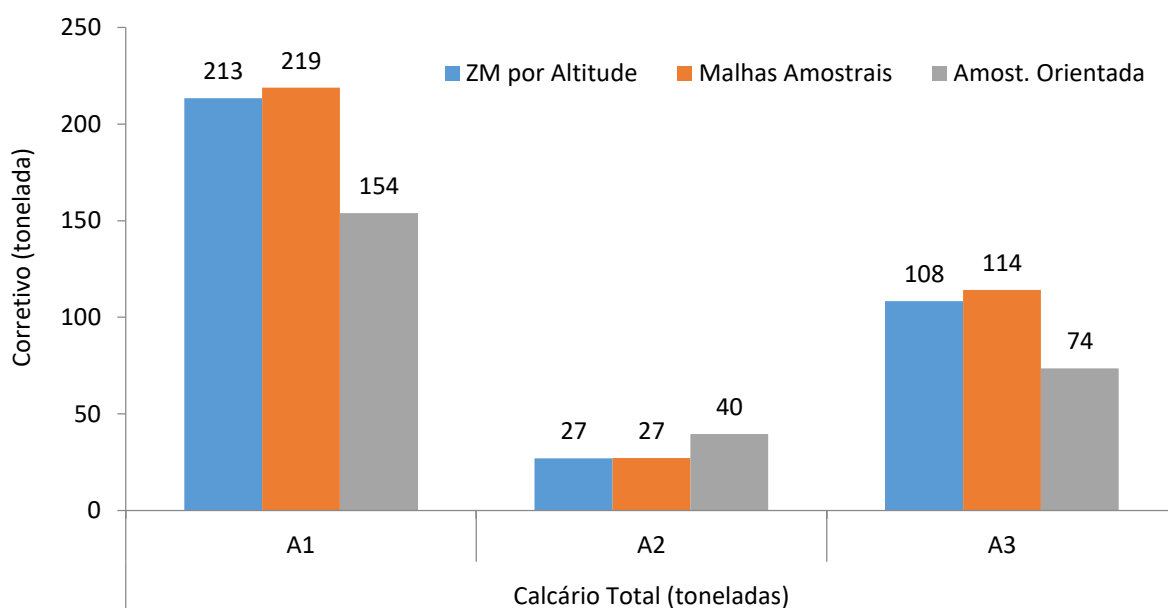


Figura 24. Comparação entre os resultados das recomendações de Calcário para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais.

Pela análise da Figura 25 é possível observar o custo final do Calcário por hectare para área A1 ficou em R\$ 105,5 para ZMA, R\$ 107,68 para MA (aumento de R\$ 2,18), e R\$ 23,07 para AO (redução de R\$ 82,43).

Os resultados para aquisição de Calcário para área A2 foram de 27 t para ZMA e MA e 40 t para AO (48,15% superior ZMA), como apresentado na Figura 24.

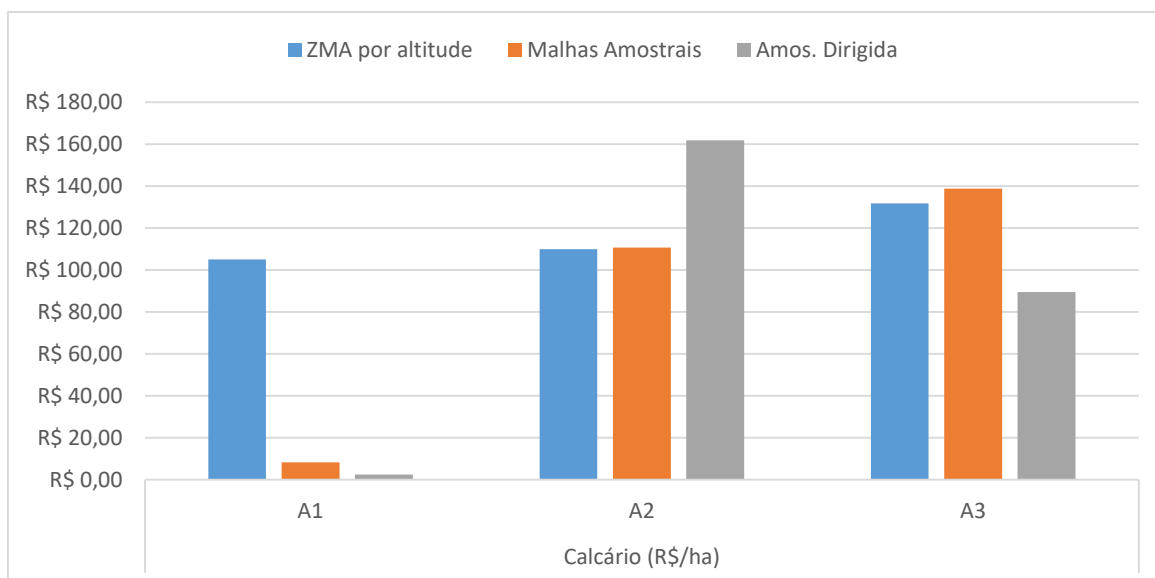


Figura 25. Custos de aquisição do Calcário para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais.

Pela análise da Figura 25 percebe-se que o custo final com aquisição de Calcário por hectare para área A2 foi de R\$ 109,90 para ZMA, R\$ 110,71 para MA (aumento de R\$ 0,81), e R\$ 161,79 para AO (aumento de R\$ 51,89).

De maneira semelhante à área A1, os dois métodos amostrais iniciais (ZMA x MA) apresentaram resultados próximos. Os resultados para aquisição de Calcário para área A3 foram de 108 t para ZMA, 114 t para MA, uma redução equivalente a 6t (5.56%). Para AO chegou-se ao resultado de 74 t, 34% inferior ZMA e 35,09% inferior a MA, como apresentado na Figura 25.

O custo final de aquisição do Calcário por hectare para área A3 (Figura 25) ficou em R\$ 131,74 para ZMA, R\$ 138,81 para MA (aumento de R\$ 7,07), e R\$ 89,52 para AO (redução de R\$ 42,22).

6.2.2 Potássio

Quando avaliadas as doses de Potássio por hectare para área A1, é possível constatar aumento crescente das doses entre os métodos. Os resultados para aquisição de Potássio para área A1 foi nulo para ZMA; ou seja, nenhuma adição de KCl. Para MA chegou-se ao valor de 1,3 t e 10,4 t para AO, como observado na Figura 26.

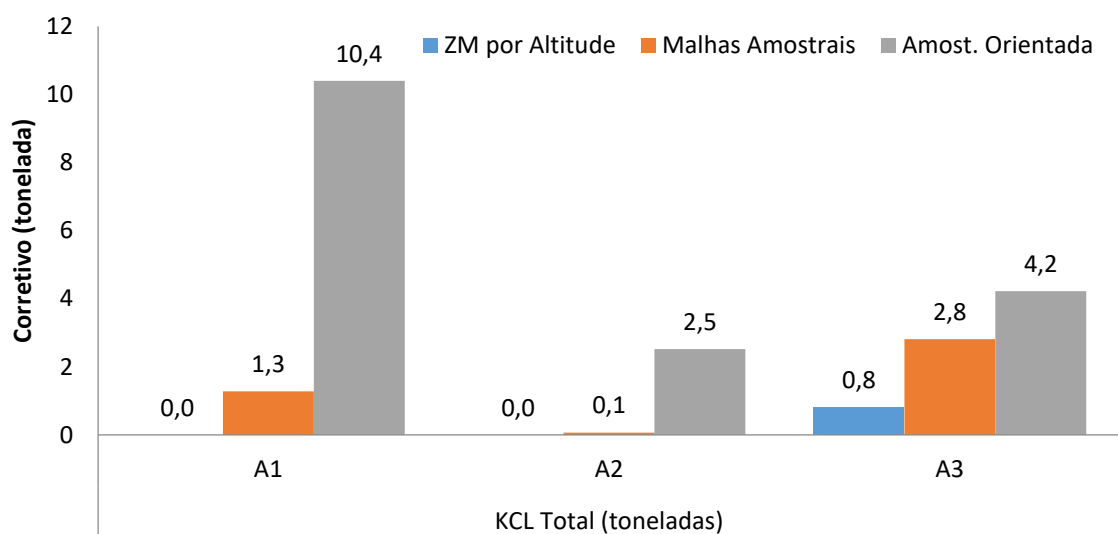


Figura 26. Comparação entre os resultados das recomendações de Potássio para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais.

O custo final de aquisição do Potássio por hectare para área A1 (Figura 27) ficou nulo para ZMA, R\$ 11,55 para MA (aumento de R\$ 11,55), e R\$ 46,37 para AO (aumento de R\$ 46,37).

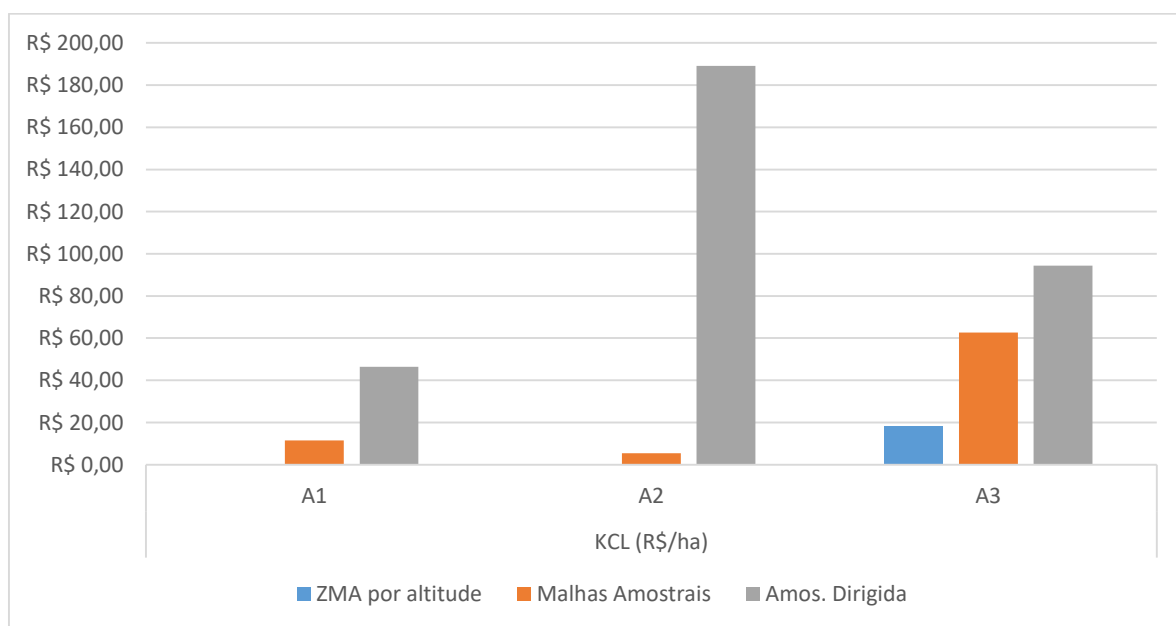


Figura 27. Custos de aquisição do Potássio para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais.

Assim como na área A1 ao avaliar os resultados para aquisição de Potássio, os valores de KCl permaneceram nulos para ZMA; 0,1 t para MA e 2,5 t para AO, como observado na Figura 26.

O custo final do Potássio por hectare para área A2 apresentado na Figura 27 foi nulo para ZMA, R\$ 5,37 para MA (aumento de R\$ 5,37), e R\$ 189,19 para AO (aumento de R\$ 189,19).

Os resultados para aquisição de Potássio para área A3 foram de 0,8 t para ZMA, 2,8 t para MA (250% superior a ZMA) e 4,2 t AO (425% superior a ZMA), como observado na Figura 26.

Conforme apresentado na Figura 27, o custo final do Potássio para área A3 ficou em R\$ 18,33 para ZMA, R\$ 62,73 para MA (aumento de R\$ 44,4), e R\$ 94,37 para AO (aumento de R\$ 76,04).

6.2.3 Fósforo

Quando avaliados dos resultados para recomendação de adubação fosfatada, observa-se pequena variação entre os métodos, porém crescentes. Os resultados para aquisição de Fósforo total para área A1 foram de 32,6 t para C; 34,3 t para MA (5.21% superior a ZMA) e 36,9 t para AO (13.19% superior a ZMA), como observado na Figura 28.

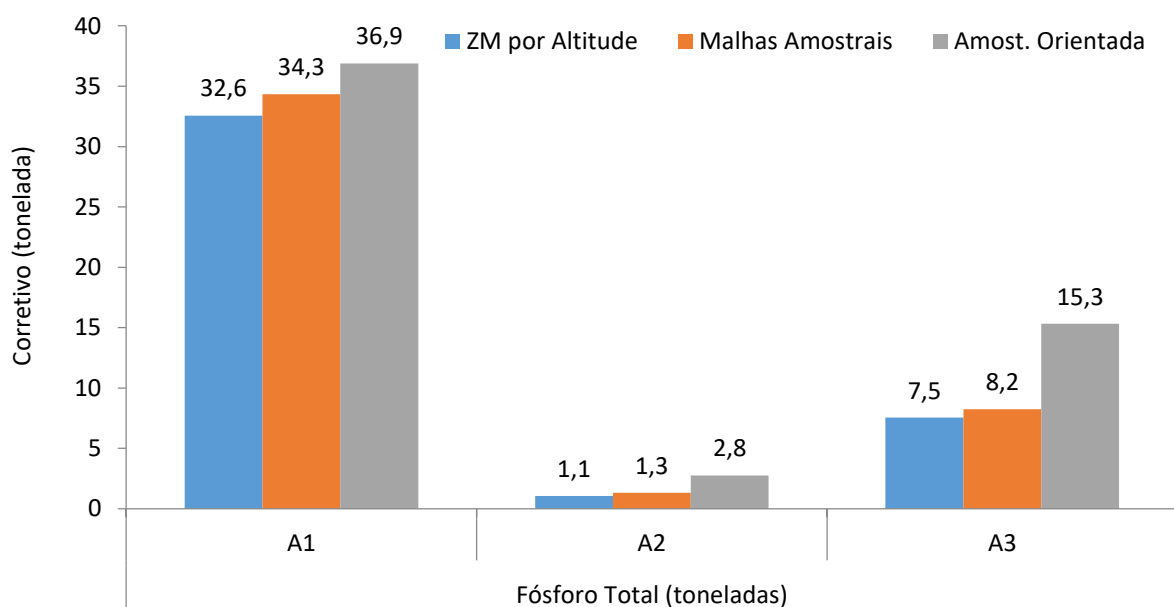


Figura 28. Comparação entre os resultados das recomendações de Fósforo para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais.

Ao observar a Figura 29 que trata do custo final de aquisição do Super Fosfato Triplo por hectare para área A1, foi possível verificar que os resultados foram de R\$ 352,34 para ZMA, R\$ 371,48 para MA (aumento de R\$ 19,14), e R\$ 399,10 para AO (aumento de R\$ 46,76).

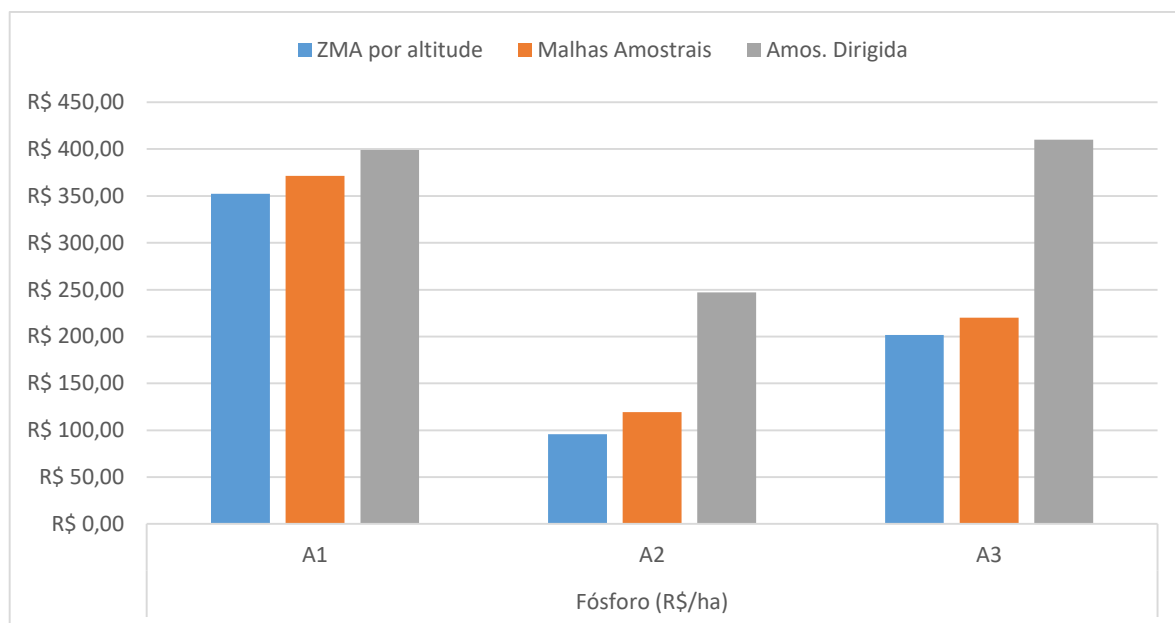


Figura 29. Comparação entre os custos de aquisição do Fósforo para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais.

Os resultados para aquisição de Fósforo para área A2 foram de 1,1 t para ZMA; 1,3 t para MA (18,18% superior a ZMA) e 2,8 t para AO (154,55% superior a ZMA), como observado na Figura 28.

Na Figura 29 que trata do custo final de aquisição do Super Fosfato Triplo por hectare para área A2, foi possível observar que os custos foram de R\$ 95,61 para ZMA, R\$ 119,40 para MA (aumento de R\$ 23,79), e R\$ 247,25 para AO (aumento de R\$ 151,25).

Quando avaliados os resultados na área A3, houve comportamento similar dos resultados da área A2, com os valores crescendo ao longo dos métodos avaliados. Os resultados para aquisição de Fósforo para área A3 foram de 7,5 t para ZMA; 8,2t para MA (17,33% superior a ZMA) e 15,3 t para AO (104% superior a ZMA), como observado na Figura 28.

O custo final do Super Fosfato Triplo por hectare observado na Figura 29 para área A3 ficou em R\$ 201,75 para ZMA, R\$ 220,19 para MA (aumento de R\$ 18,44), e R\$ 410,01 para AO (aumento de R\$ 208,26).

6.2.4 Nitrogênio

Na Figura 30 que trata dos resultados para aquisição de Nitrogênio para área A1, foi possível observar que os quantitativos de N foram de 40,1 t para ZMA; 40,4 t para MA (0,75% superior a ZMA) e 41,3 t para AO (2,99% superior a ZMA).

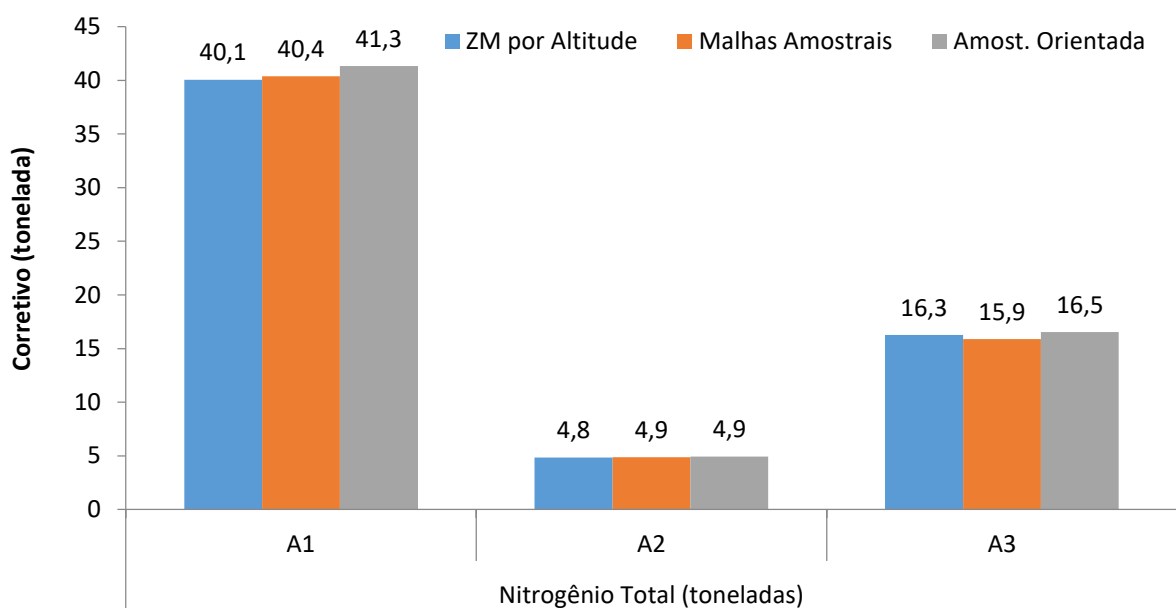


Figura 30. Comparação entre os resultados das recomendações de Nitrogênio para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais.

O custo final do Nitrogênio por hectare para área A1 ficou em R\$ 364,61 para ZMA, R\$ 367,54 para MA (aumento de R\$ 2,92), e R\$ 369,08 para AO (aumento de R\$ 4,46), como observado na Figura 31.

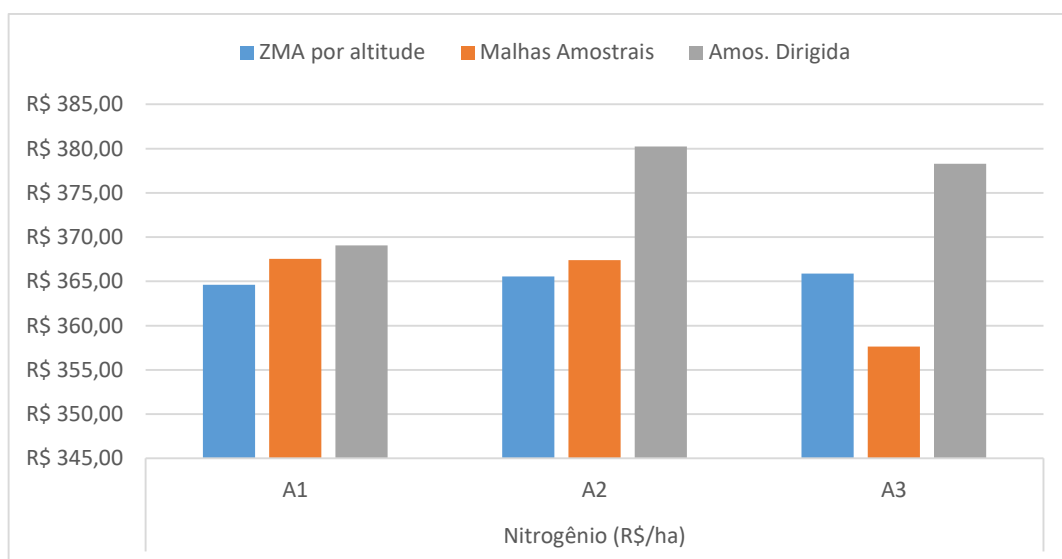


Figura 31. Comparação entre os custos do Nitrogênio para as áreas A1, A2 e A3, baseados nos três métodos amostrais.

Seguindo a tendência dos resultados da área A1 (Figura 30), os valores se comportaram indicando o aumento de dosagem crescente. Os resultados para aquisição de Nitrogênio para área A2 foram de 4,8 t para ZMA; 4,9 t para MA (2.08% superior a ZMA) e 4,9 t para AO (1.93% superior a ZMA).

O custo final do Nitrogênio por hectare para área A2 foi de R\$ 365,55 para ZMA, R\$ 367,41 para MA (aumento de R\$ 1,85), e R\$ 380,23 para AO (aumento de R\$ 14,68), como observado na Figura 31.

Na Figura 30 que trata dos resultados para aquisição de Nitrogênio para área A3, foi possível observar que os quantitativos de N foram de 16,3 t ZMA; 15,9 t para MA (-2.45% inferior a ZMA) e 16,5 t para AO (1.69% superior a ZMA).

O custo final do Nitrogênio por hectare para área A3 ficou em R\$ 365,87 para ZMA, R\$ 357,62 para MA (redução de R\$ 8,26), e R\$ 378,30 para AO (aumento de R\$ 12,43), como pode-se observar na Figura 31.

6.3 Conjuntos mecanizados

Os cálculos para a composição dos custos dos conjuntos mecanizados seguiram as recomendações de Balastreire (2004), e podem ser observados na Tabela 9. Foram utilizados para aplicação de Calcário e Nitrogênio implemento tracionado com disco duplo de 4 a 6 t para aplicação em taxa variável, de acordo com a recomendação de adubação indicada pelos mapas apresentados nas Figuras 12, 13 e 14 para Calcário e 21,22 e 23 para Nitrogênio. Para aplicação de Fósforo e Potássio foram utilizadas semeadoras de precisão para aplicação em conjunto com as semeaduras, ambas com aplicações em taxa variável, como indicado pelos mapas de recomendação nas figuras 15,16,17,18,19 e 20.

Para composição do custo final por implemento por hectare, levou-se em consideração os seguintes itens: depreciação, juros, seguro, combustível, manutenção, custo operacional, viabilidade, mão de obra e custo total apresentados adiante.

Os custos com depreciação ou desvalorização dos implementos são calculados com base na relação entre o valor médio de mercado após aquisição, o valor de sucata e a vida útil. Para o cálculo, faz-se a média entre o valor de sucata com o preço médio e após, divide-se este resultado pela vida útil do implemento (Tabela 6).

Os custos com juros estão relacionados com a média entre os valores de aquisição, os valores de sucata, a taxa de juros e a quantidade de horas trabalhadas por ano (Tabela 6). Para o cálculo dos juros das semeadoras para aplicação de taxa variável de Fósforo e Potássio, utilizou-se como referência 300 horas trabalhadas por ano.

De acordo com Balastreire (2004), apesar de não ser comum fazer seguro para máquinas agrícolas, há a necessidade de se calcular o custo do seguro para embuti-lo no custo final, uma vez que perdas e acidentes ocorrem de maneira frequente.

Para realização dos cálculos dos custos com seguro, utilizou-se a mesma expressão matemática que foi utilizada para o cálculo dos custos com os juros, porém com substituição da taxa de juros pelo percentual de 1,6% do valor do equipamento para os implementos tracionados de discos duplos e 0,6% do valor das semeadoras (Tabela 6). Desta forma, o seguro foi calculado relacionando a média entre o preço médio de aquisição do implemento e o valor de sucata com a quantidade de horas trabalhadas por ano. O valor final foi de R\$ 2,80 por hora/ano para as aplicações de Calcário e Nitrogênio e R\$ 2,50 por hora/ano para as aplicações de Fósforo e Potássio.

Tabela 6. Custos com depreciação, juros e seguro

| Adubador de arrasto - Aplicação de Calcário e Nitrogênio | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|---------------|-----------------------|-------------------|----------------|----------------------------------|---------------------|---------------|----------------|
| Valores | | | | | | | Itens avaliados | | |
| Preço Médio (R\$) | Valor de sucata (R\$) | Vida útil (h) | Horas trabalhadas/ano | Taxa de juros (%) | Eficiência (%) | Capacidade (ha.h ⁻¹) | Depreciação (R\$/h) | Juros (R\$/h) | Seguro (R\$/h) |
| 72.293,6 | 14.458,7 | 3.000 | 250 | 14,43 | 0,6 | 7,2 | 19,3 | 78,4 | 2,8 |
| Semeadora de precisão - Aplicação de Fósforo e Potássio | | | | | | | | | |
| Valores obtidos | | | | | | | Itens avaliados | | |
| Preço Médio (R\$) | Valor de sucata (R\$) | Vida útil (h) | Horas trabalhadas/ano | Taxa de juros (%) | Eficiência (%) | Capacidade (ha.h ⁻¹) | Depreciação (R\$/h) | Juros (R\$/h) | Seguro (R\$/h) |
| 210.456,9 | 42.091,38 | 5.000 | 300 | 14,43 | 0,6 | 0,6 | 33,6 | 59,5 | 2,5 |

O preço médio dos equipamentos influencia diretamente nos cálculos dos custos com manutenção. Na tabela 7, que trata dos custos com manutenção, observa-se maior impacto dos custos nas aplicações de Fósforo e Potássio por conta do preço médio da máquina que foi 191,11% maior do que o preço médio para aplicações de Calcário e Nitrogênio. Os percentuais de cálculos de 80% e 81% referem-se ao custo com manutenções corretivas e preventivas durante a vida útil do equipamento; ou seja, 80% e 81% dos preços médios dos equipamentos são gastos com manutenções preventivas e corretivas ao longo de 5 anos, incluindo-se os custos com lubrificantes.

Tabela 7. Manutenção

| Conjuntos Mecanizados | | | |
|-------------------------------------|----|-------------------|------------------------------------|
| Aplicações de Calcário e Nitrogênio | | | |
| Preço médio (R\$) | % | Valor total (R\$) | Valor total (R\$.h ⁻¹) |
| 72.293,6 | 81 | 58.557,8 | 19,5 |
| Aplicações de Fósforo e Potássio | | | |
| Preço médio (R\$) | % | Valor total (R\$) | Valor total (R\$.h ⁻¹) |
| 210.456,9 | 80 | 168.365,5 | 33,6 |

A potência está diretamente relacionada com o consumo de combustível. Observa-se na Tabela 8, que trata dos custos com consumo de combustível, que para as aplicações de Fósforo e Potássio, o custo total para o consumo de combustível foi (22,14%) superior. Este fato deve-se a maior potência da máquina que é de 76,55 kW contra os 66,19 kW da máquina aplicadora de Calcário e Nitrogênio.

Tabela 8. Combustível

| Conjuntos Mecanizados | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Aplicações de Calcário e Nitrogênio | | |
| Consumo em (l/h) | Valor do litro de diesel (R\$) | Valor total (R\$.h ⁻¹) |
| 12,60 | 2,75 | 34,6 |
| Aplicações de Fósforo e Potássio | | |
| Consumo em (l/h) | Valor do diesel (R\$) | Valor total (R\$.h ⁻¹) |
| 15,40 | 2,75 | 42,3 |

O custo com mão de obra para operação das máquinas foi de R\$ 1.500,00/mês acrescido de 63% de encargos trabalhistas (R\$ 945,00), totalizando o valor final de R\$ 2.445,00. Considerando a quantidade de horas trabalhadas por mês de 186,12, o valor final em R\$/hora de mão de obra ficou em R\$ 13,14.

O cálculo para definição do custo operacional baseia-se na soma entre os custos com depreciação, juros, seguro, manutenção, combustível e mão de obra.

Estes custos dependem da frequência de uso e considerando os valores apresentados na Tabela 9, o custo operacional final para aplicação de Calcário e Nitrogênio foi de R\$ 82,80 e para aplicação de Fósforo e Potássio foi de R\$129,50.

A viabilidade de utilização do implemento é calculada por hectare entre as horas trabalhadas por ano, a capacidade em há/hora e a frequência de uso da área (Tabela 9). Para o cálculo da viabilidade para aplicação de Calcário, levou-se em consideração 250 horas de trabalho por ano, capacidade de 3,2 há/hora e apenas uma utilização do implemento. Assim, chegou-se ao valor total de R\$ 810,00 de viabilidade para aplicação de Calcário.

Assim como na aplicação de Calcário, o implemento de tração utilizado possui 250 horas de trabalho por ano, diferindo apenas na capacidade que foi de 7,2 há/hora. Desta forma, o custo final da viabilidade para aplicação de Nitrogênio com apenas uma aplicação foi de R\$ 1.800,00.

O custo final em R\$.h⁻¹ foi calculado pelo somatório entre os custos com máquinas, o custo do trator e custo com mão de obra. O valor final para utilização dos implementos com aplicação em taxa variável foi de R\$ 53,90 para o Calcário, R\$ 179,40 para aplicação de Fósforo e Potássio e R\$ 24,30 para aplicação de Nitrogênio.

Os resultados demonstram que os custos para aplicação de Fósforo e Nitrogênio foram os que mais impactaram na utilização dos implementos. Isso deve-se, principalmente, ao maior custo de aquisição da máquina que foi de R\$ 210.456,9 contra R\$ 72.293,6 para as aplicações de Calcário e Potássio. Além do maior preço a máquina possui maior potência (22,22% superior) e estevem fatores influenciam diretamente dos custos com a utilização das máquinas.

Tabela 9. Composição dos custos utilização de semeadoras e implementos.

| Implemento de tração com disco duplo (4 a 6 ton) com controlador para taxa variável – Calcário – Preço médio R\$ 72.293,6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|---------------|------------------|------------------------------|--------|---------------------|------------------------------|------------|-------------|------------------------|-------|------------------------|---------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|------|
| Sucata | | Vida Útil (h) | Trabalho (h/Ano) | Depr. (R\$.h ⁻¹) | Seguro | | Juros (R\$.h ⁻¹) | Manutenção | | Combustível | | Larg. (m) | Ef. (%) | Capac. (ha ⁻¹) | Viab. (ha ⁻¹) | Custo (R\$.ha ⁻¹) | |
| (%) | (R\$) | | | | (%) | R\$.h ⁻¹ | | % | Total (R\$) | (R\$.h ⁻¹) | (l/h) | (R\$.h ⁻¹) | | | | | |
| 20 | 14459 | 3000 | 250 | 19,3 | 1,6 | 2,8 | 24,6 | 81 | 58557,8 | 19,5 | 11,6 | 33,3 | 9 | 0,6 | 3,2 | 810 | 53,9 |

| Semeadoras de precisão - 8 linhas espaçamento (0,6 a 0,8 m) com controlador de taxa variável - P e K - Preço médio R\$ 210.456,92 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|---------------|------------------|------------------------------|--------|---------------------|------------------------------|------------|-------------|------------------------|-------|------------------------|---------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------|
| Sucata | | Vida Útil (h) | Trabalho (h/Ano) | Depr. (R\$.h ⁻¹) | Seguro | | Juros (R\$.h ⁻¹) | Manutenção | | Combustível | | Larg. (m) | Ef. (%) | Capac. (ha ⁻¹) | Viab. (ha ⁻¹) | Custo (R\$.ha ⁻¹) | |
| (%) | (R\$) | | | | (%) | R\$.h ⁻¹ | | % | Total (R\$) | (R\$.h ⁻¹) | (l/h) | (R\$.h ⁻¹) | | | | | |
| 20 | 42091 | 5000 | 300 | 33,7 | 0,6 | 2,5 | 59,6 | 80 | 168365,5 | 33,7 | 51,3 | 111,9 | 5 | 6,4 | 0,6 | 1,9 | 179,4 |

| Implemento de tração com disco duplo (4 a 6 ton) com controlador para taxa variável - Cobertura (N) - Preço médio R\$ 72.293,6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---------------|------------------|------------------------------|--------|---------------------|------------------------------|------------|-------------|------------------------|-------|------------------------|---------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|------|
| Sucata | | Vida Útil (h) | Trabalho (h/Ano) | Depr. (R\$.h ⁻¹) | Seguro | | Juros (R\$.h ⁻¹) | Manutenção | | Combustível | | Larg. (m) | Ef. (%) | Capac. (ha ⁻¹) | Viab. (ha ⁻¹) | Custo (R\$.ha ⁻¹) | |
| (%) | (R\$) | | | | (%) | R\$.h ⁻¹ | | % | Total (R\$) | (R\$.h ⁻¹) | (l/h) | (R\$.h ⁻¹) | | | | | |
| 20 | 14459 | 3000 | 250 | 19,3 | 1,6 | 2,8 | 24,6 | 81 | 58557,8 | 19,5 | 11,6 | 33,3 | 20 | 0,6 | 7,2 | 1800 | 24,3 |

6.3.1 Custos totais

Os custos de mão de obra para coleta das amostras variaram de acordo com o método amostral, sendo o valor de R\$ 22,00 para ZMA e AO e R\$ 33,00 para MA por amostra. Para o cálculo dos custos totais de mão de obra, multiplicou-se o valor individual das amostras pelas respectivas quantidades.

Para área A1 (Tabela 10), ZMA apresentou o valor de R\$ 66,00, MA o valor de R\$ 5.214,00 e AO o valor de R\$ 3.406,00. Comparando com ZMA, houve acréscimo de R\$ 5.148,00 em MA e R\$ 3.340,00 em AO.

O custo das análises foi de R\$ 259,89 para ZMA, R\$ 13.687,54 para MA e R\$ 433,15 para AO, um aumento de R\$ 13.427,65 em MA e R\$ 173,26 em AO quando comparados com ZMA.

Para cálculos dos custos dos conjuntos mecanizados para aplicação do Calcário, considerou-se as aplicações em taxa variável para ambos os métodos. Os valores totais foram de R\$ 53,90 para aplicação de Calcário, R\$ 179,40 para aplicação de Fósforo e Potássio e R\$ 24,30 para aplicação de Nitrogênio por hectare (Tabela 9). Multiplicando os respectivos valores de referência pela área A1 (154,82 ha), obteve-se os custos totais para aplicação de Calcário de R\$ 8.344,80 para as aplicações de Calcário em ambos os métodos. O custo do conjunto mecanizado para aplicação de Fósforo e Potássio foi de R\$ 27.774,71 e para aplicação de Nitrogênio de R\$ 3.762,13 para ambos os métodos amostrais (Tabela 10).

O método AO difere dos demais métodos por necessitar da utilização dos Sensores e da geração de mapas. O custo do uso do Sensor foi de R\$ 12,00 por hectare e a geração dos mapas R\$ 4,00 por hectare. Desta forma, o custo total para área A1 foi de R\$ 1.857,84 para o aluguel do Sensor e R\$ 619,28 para geração dos mapas.

Avaliando o custo final para área A1, ZMA teve o valor de R\$ 167.920,59, MA R\$ 192.108,17 e AO o valor de R\$ 192.310,33. Neste cenário, MA e AO foram R\$ 24.187,58 e R\$ 24.389,54 mais onerosos do que ZMA respectivamente, evidenciando, neste caso, ZMA como alternativa mais viável sob o ponto de vista econômico.

O custo total com máquinas e equipamentos para área A1, participou de 23,75% da despesa final para o método ZMA, 20,76% para o método MA e 20,74% para o método AO.

Entre os custos variáveis, para área A1, os insumos tiveram peso de 72,66% para ZMA, 69,17% para MA e 76,07% para AO.

Avaliando o custo final para área A1 apresentado na Tabela 7, ZMA apresentou-se com o método mais oneroso e AO o mais oneroso.

Tabela 9. Custos com aquisição de insumos, mão de obra, análises laboratoriais, equipamentos, máquinas, uso do sensor e geração de mapas para área A1.

| Item – custo | Área A1 | | | | | |
|--|------------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | Zonas de Manejo por Altitude (R\$) | Porcentagem (%) | Malhas Amostrais (R\$) | Porcentagem (%) | Orientada (R\$) | Porcentagem (%) |
| Aquisição de insumos | 127.263,07 | 75.79 | 132.875,00 | 69.17 | 146.281,67 | 76.07 |
| Mão de obra (coleta das amostras) | 66,00 | 0.04 | 5.214,00 | 2.71 | 3.406,04 | 1.77 |
| Análises laboratoriais | 259,89 | 0.15 | 13.687,54 | 7.12 | 433,15 | 0.23 |
| Equipamentos (trado, baldes, etc) | 450,00 | 0.27 | 450,00 | 0.23 | 450,00 | 0.23 |
| Conjunto mecanizado para aplicação de corretivo (Calcário) | 8.344,80 | 4.97 | 8.344,80 | 4.34 | 8.344,80 | 4.34 |
| Conjunto mecanizado para aplicação de fertilizante (P e K) | 27.774,71 | 16.54 | 27.774,71 | 14.46 | 27.774,71 | 14.44 |
| Conjunto mecanizado para aplicação de fertilizante (N) | 3.762,13 | 2.24 | 3.762,13 | 1.93 | 3.762,13 | 1.96 |
| Uso do Sensor (Aluguel) | - | - | - | - | 1.857,84 | 0.97 |
| Mão de obra (Geração dos mapas) | - | - | - | - | 619,28 | 0.32 |
| Totais | 167.920,59 | 100.00 | 192.108,17 | 100.00 | 192.310,33 | 100.00 |

Assim como para área A1 (Tabela 10), o custo de mão de obra para coleta das amostras para área A2 foi de R\$ 66,00 para ZMA. Para MA o valor calculado foi de R\$ 759,00 e AO R\$ 410,00. Como MA possui maior número de amostras pela própria concepção de seu método, este apresentou acréscimo de R\$ 693,00 em relação a ZMA e R\$ 348,92 superior a AO. Já AO foi R\$ 344,08 mais onerosa do que ZMA.

Quando avaliados os custos para as análises laboratoriais, chegou-se ao valor de R\$ 259,89 para ZMA, R\$ 1.992,49 para MA e R\$ 433,15 para AO. Na comparação destes custos, ZMA apresentou o valor de R\$ 1732,62 inferior a MA e R\$ 173,26 inferior a AO.

Para cálculos dos custos dos conjuntos mecanizados para aplicação do Calcário, considerou-se as aplicações em taxa variável para ambos os métodos. Os valores totais foram de R\$ 53,90 para aplicação de Calcário, R\$ 179,40 para aplicação de Fósforo e Potássio e R\$ 24,30 para aplicação de Nitrogênio por hectare (Tabela 9). Multiplicando os respectivos valores de referência pela área A2 (18,64 ha), obteve-se os custos totais para aplicação de Calcário de R\$ 10.004,69 para as aplicações de Calcário em ambos os métodos. O custo do conjunto mecanizado para aplicação de Fósforo e Potássio foi de R\$ 3.344,16 e para aplicação de Nitrogênio de R\$ 452,95 para ambos os métodos amostrais (Tabela 11).

Os custos de aluguel do Sensor, bem como da geração dos mapas em AO foram de R\$ 223,68 e R\$ 74,56 respectivamente e o custo final para área A2 foi de R\$ 16.222,05 para ZMA, R\$ 19.240,98 para MA e R\$ 24.489,79 para AO. Assim, MA e AO foram R\$ 3.018,93 e R\$ 8.266,95 mais onerosos do que ZMA respectivamente, evidenciando, neste caso, ZMA como a alternativa mais viável sob o ponto de vista econômico.

Para área A2, houve participação de 29,60% da despesa final para o método ZMA, 24,96% para o método MA e 19,61% para o método AO.

Entre os custos variáveis, para área A2, os insumos apresentaram peso de 65,61% para ZMA, 58,41% para MA e 73,89% para AO.

Avaliando o custo final para área A2 apresentado na Tabela 11, ZMA apresentou-se com o método menos oneroso AO o mais oneroso.

Tabela 10. Custos com aquisição de insumos, mão de obra, análises laboratoriais, equipamentos, máquinas, uso do sensor e geração de mapas para área A2.

| Item - custo | Área A2 | | | | | |
|--|-------------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| | Zonas de Manejo por Altitude R\$ | Porcentagem (%) | Malhas Amostrais R\$ | Porcentagem (%) | Orientada R\$ | Porcentagem (%) |
| Aquisição de insumos | 10.644,50 | 65.62 | 11.237,83 | 58.40 | 18.096,66 | 73.89 |
| Mão de obra (coleta das amostras) | 66,00 | 0.41 | 759,00 | 3.94 | 410,08 | 1.67 |
| Análises laboratoriais | 259,89 | 1.60 | 1.992,49 | 10.36 | 433,15 | 1.77 |
| Equipamentos (trado, baldes, etc) | 450,00 | 2.77 | 450,00 | 2.34 | 450,00 | 1.84 |
| Conjunto mecanizado para aplicação de corretivo (Calcário) | 1004,69 | 6.19 | 1004,69 | 5.22 | 1004,69 | 4.10 |
| Conjunto mecanizado para aplicação de fertilizante (P e K) | 3344,01 | 20.61 | 3344,01 | 17.38 | 3344,02 | 13.65 |
| Conjunto mecanizado para aplicação de fertilizante (N) | 452,95 | 2.79 | 452,95 | 2.35 | 452,95 | 1.85 |
| Uso do Sensor (Aluguel) | - | - | - | - | 223,68 | 0.91 |
| Mão de obra (Geração dos mapas) | - | - | - | - | 74,56 | 0.30 |
| Totais | 16.222,05 | 100.00 | 19.240,98 | 100.00 | 24.489,79 | 100.00 |

Assim como ocorrido nas áreas A1 e A2 (Tabelas 10 e 11), o custo total de mão de obra para área A3 foi de R\$ 66,00 para ZMA (Tabela 12). O método MA apresentou valor de R\$ 2.145,00 e AO R\$ 1.377,86 seguindo as tendências anteriores. Por conta do maior número de amostras, MA apresentou-se como mais onerosa do que ZMA em R\$ 2.079,00 e AO em R\$ 764,14.

Avaliando os custos das análises laboratoriais, ZMA apresentou menor valor com total de R\$ 259,89 contra R\$ 5.630,95 de MA e R\$ 433,15 de AO. O método MA foi R\$ 5.371,06 mais alto do que ZMA e R\$ 5.197,80 do que AO respectivamente.

Para cálculos dos custos dos conjuntos mecanizados para aplicação do Calcário, considerou-se as aplicações em taxa variável para ambos os métodos. Assim como nas áreas A1 e A2, os valores totais foram de R\$ 53,90 para aplicação de Calcário, R\$ 179,40 para aplicação de Fósforo e Potássio e R\$ 24,30 para aplicação de Nitrogênio por hectare (Tabela 9). Multiplicando os respectivos valores de referência pela área A3 (62,63 ha), obteve-se os custos totais para aplicação de Calcário de R\$ 3.375,76 para as aplicações de Calcário em ambos os métodos. O custo do conjunto mecanizado para aplicação de Fósforo e Potássio foi de R\$ 11.235,82 e para aplicação de Nitrogênio de R\$ 1.521,91 para ambos os métodos amostrais (Tabela 11).

Os custos de aluguel do Sensor e de geração dos mapas foram de R\$ 751,56 e R\$ 250,52 respectivamente.

O custo final para área A3 foi de R\$ 61.858,37 para ZMA, R\$ 73.170,08 para MA e R\$ 79.894,81 para AO. Assim, MA e AO foram R\$ 11.311,71 e R\$ 18.036,44 mais onerosos do que ZMA respectivamente, evidenciando, neste caso, ZMA como a alternativa mais viável sob o ponto de vista econômico.

Para área A1, MA foi 14.40% mais oneroso do que ZMA e AO 14,52% mais onerosa do que ZMA. Apesar da pequena diferença, AO apresentou maior custo entre os métodos.

Quando avaliada a área A2, MA foi 18,61% mais onerosa do que ZMA e AO 50,97% mais onerosa do que ZMA. Assim como na área A1, AO apresentou maior custo final.

Já para área A3, MA foi 18,29% mais onerosa do que ZMA e AO 29,16% do que ZMA, seguindo a tendência das áreas e métodos anteriores.

No comparativo econômico geral entre as áreas A1, A2 e A3 para todos os métodos amostrais abordados, AO apresentou como alternativa mais onerosa em todas as áreas em estudo.

Já para área A3, o percentual de participação do custo com máquinas e equipamentos foi de 26,08% da despesa final para o método ZMA, 22,05% para o método MA e 20,19% para o método AO.

Entre os custos variáveis, para área A1, os insumos tiveram peso de 72,66% para ZMA, 66,71% para MA e 75,72% para AO.

Avaliando o custo final para área A2 apresentado na Tabela 12, ZMA apresentou-se com o método mais oneroso e AO o mais oneroso.

Tabela 11. Custos com aquisição de insumos, mão de obra, análises laboratoriais, equipamentos, máquinas, uso do sensor e geração de mapas para área A3.

| Item - custo | Área A3 | | | | | |
|--|------------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|------------------|-----------------|
| | Zonas de Manejo por Altitude - R\$ | Porcentagem em (%) | Malhas Amostrais R\$ | Porcentagem em (%) | Orientada R\$ | Porcentagem (%) |
| Aquisição de insumos | 44.948,99 | 72.66 | 48.810,64 | 66.71 | 60.498,23 | 75.72 |
| Mão de obra (coleta das amostras) | 66,00 | 0.11 | 2.145,00 | 2.93 | 1.377,86 | 1.72 |
| Análises laboratoriais | 259,89 | 0.42 | 5.630,95 | 7.70 | 433,15 | 0.54 |
| Equipamentos (trado, baldes, etc) | 450,00 | 0.73 | 450,00 | 0.62 | 450,00 | 0.56 |
| Conjunto mecanizado para aplicação de corretivo (Calcário) | 3.375,76 | 5.46 | 3.375,76 | 4.61 | 3.375,76 | 4.23 |
| Conjunto mecanizado para aplicação de fertilizante (P e K) | 11.235,82 | 18.16 | 11.235,82 | 15.36 | 11.235,82 | 14.06 |
| Conjunto mecanizado para aplicação de fertilizante (N) | 1.521,91 | 2.46 | 1.521,91 | 2.08 | 1.521,91 | 1.9 |
| Uso do Sensor (Aluguel) | - | - | - | - | 751,56 | 0.94 |
| Mão de obra (Geração dos mapas) | - | - | - | - | 250,52 | 0.32 |
| Totais | 61.858,37 | 100.00 | 73.170,08 | 100.00 | 79.894,81 | 100.00 |

Apesar da grande quantidade de subamostras para compor uma única amostra, é possível que resultados da média entre estes valores subestimem a dosagem de um determinado insumo e superestimem em outros (COELHO, 2003; OLIVEIRA et al., 2008; CAON, 2012; CARDOSO, 2013).

O Método de Zonas de Manejo por Altitude (ZMA), por se apresentar como evolução do método convencional tradicional, se demonstrou superior aos demais métodos sob o ponto de vista econômico; porém, com distribuições espaciais das recomendações nulas ou baixas nos respectivos mapas.

É possível que as demais recomendações inferiores aos demais métodos não indiquem ganho ambiental para ZMA e sim a possibilidade de déficit de recomendação e possível queda de produtividade caso este método fosse o escolhido.

O Método Malhas Amostrais (MA) proveniente das amostragens por malhas georeferenciadas, se apresentou como relevante alternativa ambiental para recomendação de dosagens precisas. Os resultados obtidos a partir de MA se apresentaram, em todas as comparações, numericamente superiores a ZMA e inferiores a AO. Na maioria dos casos, MA propiciou mapas mais representativos e com distribuição espacial superior a ZMA.

Estudos realizados por (SANCHEZ, et al., 2012), comprovam que a geração de mapas para aplicação de insumos à taxa variável demonstra ser mais eficientes do ponto de vista econômico e ambiental quando comparados às aplicações baseadas na média. Complementarmente, (CHERUBIN et al., 2015), ressalta que mapas fertilidade do solo perdem semelhanças de acordo com o aumento da malha amostral, com desvios mais significativos para P do que para o K.

Ao estudar a redução dos impactos ambientais promovidos pela AP em plantio de soja, Artuzo (2014), observou que houve redução na utilização de Potássio e Fósforo em 100% das áreas estudadas, com média de redução de 33,1%.

Já Artuzo (2015) ao avaliar a cultura de soja no Rio Grande do Sul em 81 propriedades rurais, observou que 82% dos produtores já realizavam amostragem georreferenciada; porém, apenas 14,8% realizavam semeadura por taxa variável e 33,33% demonstraram interesse pela recomendação de fertilizantes por taxa variável.

Sapkota et al., (2014) observa que a maioria dos agricultores tendem a aplicar frequentemente maiores taxas de P e N, tornando a lixiviação um fator preocupante.

O Método de Amostragem orientada por Sensores (AO), ao fornecer mapas de recomendação a partir da Condutividade Elétrica Aparente (CEa) se apresentou como alternativa superior a ZMA. É possível que tal superioridade se dê pelo fato de a AO ser um aperfeiçoamento do Método Convencional Tradicional, com Zonas de Manejo definidas por tecnologia de AP, tornando as recomendações mais eficientes por não considerar apenas as altitudes para definição das Zonas de Manejo com proposto por ZMA.

De maneira geral, AO possibilitou boa distribuição em todos os mapas de recomendação; todavia, com exceção da recomendação de Calcário na área A3 e Nitrogênio na área A1, apresentou dosagens superiores a ZMA e MA para Calcário, Fósforo, Potássio e Nitrogênio e todas as áreas.

Em estudos realizados por Artuzo (2015), apenas 51% dos produtores demonstraram interesse no uso de sensores do solo, indicando o custo das análises como fator limitante da AP.

Quando avaliada a questão econômica, ZMA demonstrou ser a alternativa mais viável, apesar de a possibilidade de ter subestimado a real necessidade das áreas objetos do estudo.

Para que o ganho ambiental seja realmente evidente, tornam-se necessárias dosagens cada vez mais precisas e aplicações orientadas de modo a atender de maneira heterogênea as necessidades do solo e não considerarem uma área total como referência para média de adubações. Neste cenário, MA se apresentou como alternativa mais viável para o estudo proposto.

Como descrito por Artuzo (2015), apenas 17,28% dos produtores avaliados em 81 propriedades possuem percepção de necessidade de melhoria ambiental pela redução do uso de fertilizantes, o que torna o tema preocupante.

Notadamente, os estudos ligados a Agricultura de Precisão têm evoluído e tendem a possibilitar ganhos econômicos e ambientais para o presente e futuro. Contudo, mesmo MA tendo sido, no presente estudo, a alternativa mais viável, os usos dos sensores do solo têm-se apresentado como tecnologias viáveis que carecem de maior aperfeiçoamento no sentido de propiciar produtividade, redução de custos e consequente ganho econômico e ambiental, de maneira a fornecer suprimentos para as presentes e futuras gerações sem exaurir os recursos naturais.

7. CONCLUSÃO

Com o presente estudo foi possível comparar os métodos amostrais em zonas de manejo por altitude, malhas amostrais e amostragens orientadas por sensor de condutividade elétrica aparente do solo. De posse dos mapas de recomendação obtidos a partir dos métodos estudados, foram gerados mapas de recomendações químicas e de correção de acidez do solo.

A partir dos mapas de recomendações e dos volumes calculados, foi realizada comparação espacial e quantitativa dos resultados, além da avaliação do comportamento dos fertilizantes e corretivos por área total e por método amostral, para avaliação do quesito ambiental e econômico.

De posse dos custos para utilização de máquinas e implementos, bem como da aquisição de insumos indicados por método amostral, realizou-se o estudo de viabilidade econômica.

Confrontado a literatura com os mapas de recomendação e resultados numéricos, foi possível concluir que o método de obtenção de amostras por malhas amostrais apresentou superioridade junto aos demais por conta da maior distribuição espacial dos insumos.

Quando avaliada a questão econômica por meio do estudo de viabilidade, o método de amostragem por zonas de manejo por altitude se apresentou como a alternativa de menor custo efetivo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. M. F. ; ALCANTARA, G. R. ; REIS, E. F. ; QUEIROZ, D. M. ; VALENTE, D. S. M. . **Definição de zonas de manejo a partir de mapas de condutividade elétrica e matéria orgânica**. Bioscience Journal (Online), v. 29, p. 104-114, 2013.

ANSEMI, A. A. **Adoção da Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado)**. Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

ARAUJO, J. L.; SEVERO, P. J. S. ; LUCENA, F. T. ; VERIATO, R. G. ; PAIVA, K. F.. **Enxofre elementar ou sulfato de cálcio para remediação de solos salino-sódicos?** Pesquisa Agropecuária Tropical (Online), v. 45, p. 388-396, 2015.

ARTUZO, F. D. ; JANDREY, W. F. ; SILVA, L. X. . **Impacto da agricultura de precisão a taxa variável na cultura da soja: questões produtivas e ambientais**. In: 2º Simpósio da Ciência do Agronegócio, 2014, Porto Alegre. Cadeias Globais de Suprimento no Agronegócio, 2014.

ARTUZO, F.D. **Análise da eficiência técnica e econômica da agricultura de precisão a taxa variável de fertilizantes na cultura da soja no RJ**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 113 f. 2015.

ASSAD, E.D.; MARTINS, S.C.; PINTO, H.S. **Sustentabilidade no Agronegócio Brasileiro. Coleção de Estudos sobre Diretrizes para uma Economia Verde no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS, 2012. Disponível em: <http://fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-553.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2016.

AUERNHAMMER, H. **Precision farming - The environmental challenge**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 30, n. 1-3, p. 31–43, 2001.

BALASTREIRE, L. A. **Aplicação Localizada de Insumos-ALI: um velho conceito novo. Congresso brasileiro de engenharia agrícola, Potencial do uso da agricultura de precisão no Brasil**. In: II ENCONTRO PAULISTA DE SOJA. s.d. 2000, Campinas. Anais... Campinas: Universidade de Campinas (Unicamp), 2000. p. 176-217.

BARROS, M. M. ; VOLPATO, C. E. S. ; SILVA, F. C. ; PALMA, M. A. Z. ; SPAGNOLO, R. T. **Avaliação de um sistema de aplicação de fertilizantes a taxa variável adaptado à cultura cafeeira**. Coffee Science , v. 10, p. 223-232, 2015.

BASI, S. **Associação de Azospirillum brasilense e de Nitrogênio em cobertura na cultura do milho**. 2013. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Guarapuava.

BERALDO, J. M. G. **Variabilidade espacial de atributos do solo e da produtividade de soja**. 2004. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

BERAS, G. **Análise da viabilidade econômica da semeadura da cultura de soja utilizando taxa variável de fertilizante na linha**. 2014. 70p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília,

DF: Embrapa, 2014.

BERNARDI, A. C. C. ; BETTIOL, G. M. ; ANDRADE, R. G. ; RABELLO, L. M. ; INAMASU, R. Y. **Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo.** Cadernos de Ciência & Tecnologia , v. 32, p. 211-227, 2015.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação.** 8a. Edição, Viçosa, Editora UFV, 2008. 625p.

BIESDORF, E. M. ; BIESDORF, Elivelton ; TEIXEIRA, M. F. F. ; DIETRICH, O. H. S. ; PIMENTEL, L. D. ; ARAUJO, C. **Métodos de Aplicação de Nitrogênio na Cultura do Milho em Solo de Cerrado.** Revista de Agricultura Neotropical , v. 3, p. 44-50, 2016.

BOBATO, Alexon. **Índice nutricional do Nitrogênio: uma ferramenta para o diagnóstico do estado nutricional da cultura do milho.** 2006. 76f. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Pós-Graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. **Precision agriculture and sustainability.** Precision Agriculture, v. 5, n. 4, p. 359–387, 2004.

BORTOLINI, P. C. **Duração do pastejo na produção de forragem e de grãos em cereais de inverno no sul do Brasil.** Curitiba, 2004, 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004.

BOTTEGA, E.L. et al. **Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro.** Revista Ciência Agrônômica, v.44, n.1, p.19, 2013. DOI: 10.1590/S180666902013000100001.

BOTTEGA, E.L. **Utilização de zonas de manejo para a produção de soja no cerrado brasileiro.** Viçosa, MG, 2014. xii, 78f.: il. (algumas color); 29 cm. Tese de Doutorado.

BRAMLEY, R. G. V et al. Generating benefits from precision viticulture through selective harvesting. **Precision Agriculture '05. Papers presented at the 5th European Conference on Precision Agriculture,** v. Uppsala, S, n. 2003, p. 891–898, 2005.

BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; MEDEIROS, J. C.; SANA, R. S.; FERREIRA, G. B. **Condutividade elétrica aparente e sua correlação com o pH em solos no cerrado de Goiás.** In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 162-167.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de precisão / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília: Mapa/ACS, 2013. 36 p.

BRITO, M. D. **Condutividade elétrica aparente do solo como ferramenta à silvicultura de precisão.** Dissertação (Mestrado) - Viçosa, MG. ix, 89f. : il., 2014.

BURAK, D. L. ; PASSOS, R.R. ; ANDRADE, F.V. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo.** Bragantia (São Paulo, SP. Impresso), v. 71, p. 538-547, 2012.

CAMBARDELLA, C. A. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CAON D., GENU A. M. C. A. **Mapeamento de atributos químicos em diferentes densidades amostrais e influência na adubação e calagem**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.17, n.6, p.629–639, 2013

CARVALHO L. C. C.; SILVA, F. M.; FERRAZ, G. A. S.; SILVA, F. C.; STRACIERI, J. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e características agrônômicas da cultura do café**. Coffee Science, Lavras, v. 8, n. 3, p. 265-275, 2013.

CASTRO, C.N. **Definição de unidades de gerenciamento do solo por meio da sua condutividade elétrica e variáveis físico – químicas**. 131p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

CELINSKI, V. G. **Desenvolvimento de sensor elétrico de contato e correlações com atributos do solo visando à agricultura de precisão**. 2008. 121 f. Tese Doutorado – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

CERRI, D. G. P. **Desenvolvimento de um sistema de aplicação localizada de Calcário a taxas variáveis**. 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L.; EITELWEIN, M.T.; MENEGOL, D.R.; DA ROS, C.O.; PIAS, O.H. de C.; BERGHETTI, J. **Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de Fósforo e Potássio**. *Ciência Rural*, v.44, p.425-432, 2014. DOI: 10.1590/S0103-84782014000300007.

CHERUBIN, M.R.; SANTI, A.L.; EITELWEIN, M.T.; AMADO, T.J.C; SIMON, D.H.; DAMIAN, J.M. **Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de Fósforo e Potássio em Latossolo Vermelho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.50, n.2, p.168-177, fev. 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000200009.

CHIG, L. A. ; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. da S. **Tecnologias para o levantamento da variabilidade dos atributos do solo para um programa de agricultura de precisão**. Uniciências (UNIC) , v. 14, p. 127-149, 2010.

COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas**. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. H. V. (Ed.). Tópicos em Ciência do solo, Viçosa, v. 3, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

COLAÇO, A. F. **Efeito da adubação em doses variadas e m pomares de laranjeiras ao longo da safra**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2012.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Editores: Antonio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontigo Guimarães, Victor Hugo Alvarez V. - Viçosa, MG, 1999. 359p.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; e BERALDO, J. M. G. **Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

COSTA, C. C. ; GUILHOTO, J. J. M.. **Impactos potenciais da agricultura de precisão sobre a economia brasileira.** Revista de Economia e Agronegócio. v. 10, p. 177-204, issn: 16791614, 2013.

CUNHA, J.P.B. ; SILVA, F. M. ; DIAS, R. E. B. A. **Eficiência de campo em diferentes operações mecanizadas na cafeicultura.** Coffee Science , v. 11, p. 76-86, 2016.

CUNHA, J. P. B. ; SILVA, F. M. ; MARTINS, F. G. L. ; CONCEICAO, F. G. ; CAMELO, L. G. **Estudo técnico e econômico de diferentes operações mecanizadas na cafeicultura.** Coffee Science , v. 11, p. 87-96, 2016.

CUNHA, J. P. B. ; SILVA, F. M. ; DIAS, R. L. B.A. ; LISBOA, C.F.L.; MACHADO, T de A., L. G. **Viabilidade técnica e econômica de diferentes sistemas de colheita do café.** Coffee Science, Lavras, v. 11, n. 3, p. 416 - 425, jul./set. 2016.

CUNHA, J.P.B. ; SILVA, F. M. ; ANDRADE, F. ; MACHADO, T. A. ; BATISTA, F. A. . **Análise técnica e econômica de diferentes sistemas de transplante de café (Coffea arabica).** Coffee Science , v. 10, p. 289-297, 2015.

CROOKSTON, K. **A top 10 list of developments and issues impacting crop management and ecology during the past 50 years.** Crop Science, n. 46, p. 2253-2262, 2006.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; NOGUEIRA, D.C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F.L.; ASSIS, J.T.; OLIVEIRA, M.S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.41, p.8-19, 2011.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. Revista Ciência Agronômica (UFC. Online) , v. 43, p. 453-461, 2012.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, Morel de Passos e; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M.; ANDREOTTI, M.; DAL BEM, E. A. Sugarcane trash management assessed by the interaction of yield with soil properties. Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso) , v. 37, p. 1709-1719, 2013.

DALCHIAVON, F. C.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M.; DALLACORT, R.; SOUZA, M. F. P. Relationship between sunflower productivity and soil's chemical properties by geostatistical techniques. African Journal of Agricultural Research , v. 10, p. 3525-3532, 2015.

DELGADO, J.A.; BERRY, J.K. **Advances in Precision Conservation.** Advances in Agronomy, v.98, p.1-44. 2008.

DELGADO, J.A.; GROSS, C.M.; IAI, H.; COVER, H.; GAGLIARDI, P.; MCKINNEY, S.P.; HESKETH, E.; SHAFFER, M.J. **A New GIS nitrogen trading tool concept for conservation and reduction of reactive nitrogen losses to the environment.** Advances in Agronomy, v. 105, p.117-171. 2010.

DERCON, G.; DECKERS, J.; POESEN, J.; GOVERS, G.; SÁNCHEZ, H.; RAMÍREZ, M.; VANEGAS, R.; TACURI, E.; LOAIZA, G. **Spatial variability in crop response under contour hedgerow systems in the Andes region of Ecuador**. Soil & Tillage Research, v. 86, n. 1/2, p. 15-26, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

ESAU, T., ZAMAN, Q., GROULX, D. et al. **Economic analysis for smart sprayer application in wild blueberry fields**. Precision Agric (2016) 17: 753. doi: 10.1007 / s11119-016-9447-8.

FAULIN, G.D.C. **Variabilidade espacial do teor de água e sua influência na condutividade elétrica do solo**. 52p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2005.

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

FERRAZ, G. A. S. **Cafecultura de Precisão: Análise econômica e uso da geoestatística**. 88 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2010.

FERRAZ, G. A. E S.; SILVA, F. M.; CARVALHO, F. M.; COSTA, P. A. N.; CARVALHO, L. C. C. **Viabilidade econômica do sistema de adubação diferenciado comparado ao sistema de adubação convencional em lavoura cafeeira: um estudo de caso**. Engenharia Agrícola. vol.31, n.5, p. 906-915, 2011.

FERRAZ, G. A. S. **Cafecultura de Precisão: Malhas amostrais para o mapeamento de atributos do solo, da planta e recomendações**. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FERRAZ, G. A. S.; SILVA, F. M.; CARVALHO, L. C. C.; ALVES, M. C.; FRANCO, B. C. **Variabilidade espacial e temporal do Fósforo, Potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira**. Engenharia Agrícola, v.32, n.1, p.140-150, 2012.

FIORIN, J. E.; COCCO, K. L. T.; AMADO, T. J. C.; WYZYKOWSKI, T.; LORENZONI, J.; SILVA JR, V. R.; HAUSCHILD, F. E. G. **Viabilidade técnica e econômica da agricultura de precisão no sistema cooperativo do Rio Grande do Sul**. In: Seminário Institucional de Ensino Pesquisa e Extensão, 04., 2011, Cruz Alta. Anais... Cruz Alta: UNICRUZ, 2011. p. 3-4.

FONTOURA, S.M.V.; VIEIRA, R.C.B.; BAYER, C.; VIERO, F.; ANGHINONI, I., MORAES, R.P. **Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto no Centro-Sul do Paraná**. 1. ed. – Guarapuava : Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015.

FRANCO, A.P.B. **Fatores de variação na caracterização da fertilidade do solo visando adubação: Estudo de caso em Goiás.** 82 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Agronomia Engenharia de Alimentos e Florestal, Universidade Federal de Goiás, 2008.

FREGONEZI, G. A. F. ; ALMEIDA, L. H. C. ; PRETE, R. O. **Avaliação econômica da correção de solos pelo método tradicional e pela agricultura de precisão.** Synergismus scyentifica , v. 09, p. 1, 2014.

FREIRE, L. R.; CAMPOS, D.V. B. de; ANJOS, L. H. C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G.; BLOISE, R. M.; MOREIRA, G. N. C.; EIRA, P. A. **Análise química de amostras de terra.** In: FREIRE, L. R., BALIEIRO, F. C., ZONTA, E., ANJOS, L. H. C., PEREIRA, M. G., LIMA, E., GUERRA, J. G. M., FERREIRA, M. B. C., LEAL, M. A. A., CAMPOS, D.V.B., POLIDORO, J. C. (Org.). **Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro.** 1ed. Brasília - Seropédica: Embrapa - Universidade Rural, 2013, v. 1, p. 87-100.

Gamma Design Software. GS: Geostatistics for environmental sciences. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Desing Software, 2004. 159 p.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. **Precision agriculture and food security.** Science (New York, N.Y.), v. 327, p. 828–831, 2010.

GIMENEZ, L.M. **Relação da condutividade elétrica aparente com algumas propriedades físico-hídricas e com a variabilidade espacial dos solos,** Piracicaba, 2013. 120 p: il. Tese de doutorado. Escola superior Luiz de Queiroz, 2013.

GEBLER, L. ; BERTOL, I. ; BIASI, L. R. ; LOUZADA, J. A. S. ; RAMOS, R. R. **Transferência superficial de Fósforo reativo potencialmente contaminante por chuvas simuladas intensas.** Engenharia Sanitária e Ambiental , v. 19, p. 393-399, 2014.

GOMES, M. A. F; BARIZON, R. R. M. **Panorama da contaminação Ambiental por Agrotóxicos e nitrato de origem agrícola no Brasil: Cenário 1992/2011, Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente,** 2014. 36p.

HARMON, T.; KVIEN, C.; MULLA, D.; HOGGENBOOM, G.; JUDY, J.; HOOK, J.; et al. **Precision agriculture scenario.** In P. Arzberger (Ed.), NSF workshop on sensors for environmental observatories. Baltimore, MD, USA: World Tech. Evaluation Center. 2005.

HURLEY, T.; OISHI, K. G.; MALZER, G. **Estimating the potential value of variable rate nitrogen applications: a comparison of spatial econometric and geostatistical models.** Journal of Agricultural & Resource Economics. 2005. v. 30, n. 2, p. 231-249.

INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro.** In: INAMASU, R. Y. et al. (Ed.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 14-26.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Amostragem de solo para análise química: plantio direto e convencional, culturas perenes, várzeas, pastagens e capineiras.** Londrina-PR, 1996. 28p. ilustr. (Circular, 90).

JACINTHO, J. L. **Zonas de Manejo na Cafeicultura de Precisão**. 2016. 48p Dissertação (Mestrado em Ciências, Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

KAISER, D.R. **Nitrato na solução do solo e na água de fontes para consumo humano numa microbacia hidrográfica produtora de fumo**. 2006. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

KAISER, D.R., D.J. REINERT, J.M. REICHERT, C.A. STRECK, AND A. PELLEGRINI. 2010. **Nitrate and ammonium in soil solution in tobacco management systems**. Brazil J. Soil Sci. 34:379–388. Kinnell, P.I.A. 2008.

KAMIMURA, K.M.; SANTOS, G.R. dos; OLIVEIRA, M.S. de; DIAS JUNIOR, M. de S.; GUIMARÃES, P.T.G. **Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob lavoura cafeeira**. Revista Brasileira Ciência do Solo, v.37, p.877-888, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000400006.

KLEIN, C.; AGNE, S.A.A. **Fósforo: de nutriente à poluente**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v.8,p. 1713-1721, 2012.

KITCHEN, N. R. et al. **Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil-crop systems**. Agronomy Journal, v. 95, n. 100 cm, p. 483–495, 2003.

KUNIYOSHI, M. A.; GRISI, B. U.; NOGUEIRA, M. **Sistemas de Informação Para a Tomada de Decisão em Agricultura de Alta Precisão**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia da Computação). 2009.

LARSON, W. E.; ROBERT, P. C. Farming by soil. In R. Lal, & F. J. Pierce (Eds.), Soil management for sustainability. **Soil & Water Conservation Society**. 1991. p. 103-112.

LIMA, J. S. S.; Souza, G. S.; Silva, S. A. **Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração**. Revista Árvore, v.34, p.127-136, 2010.

LUND, E.D.; CHRISTY, C.D. & DRUMMOND, P.E. **Practical applications of soil electrical conductivity mapping**. 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, July 1999b.

MARQUES JÚNIOR, J.; CORÁ, J. E. **Atributos do solo para agricultura de precisão**. In: SILVA, F. M.; BORGES, P. H. M. Mecanização e agricultura de precisão. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 31-70. (Simpósio do XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola).

MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A. **Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34:1883-1890, 2010.

MEDEIROS, W.N. **Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica aparente do solo obtida por sensor portátil de contato direto**. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 2013.

- MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2012.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; WHELAN, B. M. **Vesper version 1.6**. Sidney: Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A05, The University of Sydney, NSW, 2002.
- MIYAZAWA, M. ; BARBOSA, G. M. C. **Efeito da agitação mecânica e matéria orgânica na análise granulométrica do solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso) , v. 15, p. 680-685, 2011.
- MOLIN, J. P., MOTOMIYA, A. V. D. A., FRASSON, F. R., FAULIN, G. D. C., & TOSTA, W. (2010). **Test procedure for variable rate fertilizer in coffee**. *Acta Scientiarum Agronomy*, 32(4), 569–575.
- MOLIN, J.P.; RABELLO, L.M. **Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo**. Engenharia na Agricultura, v. 31, n. 1, p. 90-101. 2011.
- MOLIN, J. P.; FAULIN, G. D. C. **Spatial and temporal variability of soil electrical conductivity related to soil moisture**. Scientia Agrícola, v. 70, p. 1-5, 2013.
- MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão. In: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Agricultura de precisão – Boletim Técnico**. – Brasília: Mapa/ACS, 2011. p. 5 – 27
- MONTANARI, R.; SOUZA, G.S.A.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JUNIOR, J.; SIQUEIRA, D.S.; SIQUEIRA, G.M. **The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields**. Precision Agriculture, v.13, p.542-552, 2012. DOI: 10.1007/s11119-012-9265-6.
- MOTA, L. H. S. O. ; GOMES, A. S. ; VALLADARES, G. S. ; MAGALHAES, R. M. F. ; LEITE, H. M. F. ; SILVA, T. A. **Risco de salinização das terras do baixo Acaraú (CE)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso), v. 36, p. 1203-1210, 2012.
- MULLA, D. J. **Mapping and managing spatial patterns in soil fertility and crop yield**. Soil Specific Crop Management. 1993. p. 15-26.
- MUELLER N. D. et al. **Closing yield gaps through nutrient and water management**. Nature. v. 490, p. 254-257, 2012.
- MULLA, D. J. **Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps**. Biosystems Engineering. 2013. n. 114 p. 358-371.
- MULLA, D. J.; & SCHEPERS, J. S. **Key processes and properties for site-specific soil and crop management**. In F. J. Pierce, & E. J. Sadler (Eds.), The state of site specific management for agriculture, 1997. p. 1-18.
- MULLA, D. J.; GOWDA, P.; KOSKINEN, W. C.; KHAKURAL, B. R.; JOHNSON, G.; & ROBERT, P. C. **Modeling the effect of precision agriculture: pesticide losses to surface waters**. In E. Arthur, A. Barefoot, & V. Clay (Eds.), Terrestrial field dissipation studies, 2002. n. 842, p. 304-317.

- MULLA, D. J.; PERILLO, C. A.; & Cogger, C. G. **A site-specific farm-scale GIS approach for reducing groundwater contamination by pesticides.** Journal of Environmental Quality. 1996. n. 25, p. 419-425.
- MZUKU, M.; KHOSLA, R.; REICH, R.; INMAN, D.; SMITH, F.; MACDONALD, L. **Spatial variability of measured soil properties across site-specific management zones.** Soil Science Society American Journal. 2005. v. 69, n. 5, p. 1572-1579.
- OLIVEIRA, F.R.A. de. **Interação entre salinidade e Fósforo na cultura do rabanete.** Revista Ciência Agrônômica, v.41, n.4, p.519-526, 2010.
- OLIVEIRA, R. B. ; SILVA, Alessandra Fagioli da; Quartezeni, W.Z.; LIMA, J. S. S.; Zimback, C.R.L. **Levantamento do tipo de malha amostral, tamanho de área e número de pontos utilizados em análise geoestatística.** In: Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias, 2011, Botucatu. Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias. Botucatu, 2011. v. 2. p. 1-5.
- OLIVEIRA, R. B. et al. **Comparação entre métodos de amostragem do solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro conilon.** Engenharia Agrícola, v. 28, n. 1, p. 176-186, 2008.
- OLIVEIRA, T. C.A.; MOLIN, J. P. **Uso de piloto automático na Implantação de pomares de citros.** Revista Engenharia Agrícola. , Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 334-342, 2011.
- PACHECO, E.P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000.** 21p. (Embrapa Acre. Documentos, 58).
- PAULINO, Janaina; ZOLIN, Cornélio A.; BERTONHA, Altair; FREITAS, Paulo S. L.; e FOLEGATTI, Marcos V. **Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. II. Características da cana-de-açúcar.** Revista Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.15, n.3, p.244–249, 2011.
- PIAS, O. H. C. ; Santi A L ; Cherubim M R ; BERGHETTI, J. ; OLIVEIRA, T. C. **Caracterização da variabilidade espacial do índice relativo de clorofila na cultura do trigo.** Pesquisa Agropecuária Tropical (Online) , v. 44, p. 451-459, 2014.
- PIERCE, F.J.; NOWAK, P. **Aspects of Precision Agriculture.** Advances in Agronomy. 1999. v. 67, p. 1-86.
- PIERPAOLI, E.; CARLI, G.; PIGNATTI, E.; CANAVARI, M. **Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review.** Procedia Technology. 2013. n. 8, p. 61-69.
- PINCELLI, A. L. S. **Desenvolvimento e ensaios de um sistema de mensuração de condutividade elétrica do solo.** 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- PRADO, E. V. ; MACHADO, T. A. ; PRADO, F.M.T. **Geração e correlação de zonas de manejo usando sensor spad e condutividade elétrica aparente do solo para a cafeicultura irrigada na zona da mata mineira.** Revista Científica Eletrônica de Agronomia , v. 1, p. 1-7, 2015.

PREZOTTO, M. E. M. **Amostragem de solo para fins da avaliação da fertilidade na área de reforma de canaviais**. 1982. 128 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1982.

RABELLO, L. M. ; BERNARDI, A. C. C. ; INAMASU, RICARDO Y. . **Condutividade elétrica aparente do solo**. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y.. (Org.). Agricultura de Precisão: Resultados de um Novo Olhar. 1ed.São Carlo: Embrapa Instrumentação, 2014, v. 1, p. 48-57.

RAGAGNIN, V. A.; Sena Júnior, D. G.; Silveira Neto, A. N. **Recomendação de calagem a taxa variada sob diferentes intensidades de amostragem**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.600-607, 2010.

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**. Revista Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.5, p.1637-1645, 2004.

REAL, A.H.B. **Adoção da Agricultura de precisão no cultivo da cana-de-acúcar**. 2015. 42f. Dissertação de Mestrado. Campo Grande, 2015.

REFATTI, J. P.; AVILA, L. A. DE ; AGOSTINETTO, D.; MANICA-BERTO, R.; BUNDT, A. DA CAS; ELGUEIRA, D. B. **Efeito da calagem na lixiviação de imazethapyr e imazapyr em solo de cultivo de arroz irrigado**. Ciência Rural (UFSC. Impresso), v. 44, p. 1008-1014, 2014.

REIS, R.P.; REIS, A.J.; FONTES, R.L.; TAKAKI, E.R.; CASTRO JUNIOR, L.G. DE. **Custos de produção da cafeicultura no Sul de Minas Gerais**. Organizações Rurais e Agroindustriais, Lavras, v.3, n.1, p. 37-44, 2001.

RHOADES, J. D.; CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. **Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation**. 1999.

SÁ, F. V. S. ; MESQUITA, E. F. ; BERTINO, A. M. P. ; COSTA, J. D. ; Araujo, J.L. . **Influência do gesso e biofertilizante nos atributos químicos de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do girassol**. Irriga (UNESP. CD-ROM) , v. 20, p. 46, 2015.

SANA, R. S.; ANGHINONI, I.; BRANDÃO, Z. N.; HOLZSCHUH, M. J. **Variabilidade espacial de atributos físicos-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 10, p. 994-1002, 2014.

SANCHEZ, RB, Marques Júnior J, Pereira GT, Baracat Neto J, Siqueira DS, Souza ZM. **Mapeamento das formas do relevo para estimativa de custos de fertilização em cana-de-acúcar**. Eng Agric. 2012;32:280-92.

SANGOI, L. ; SCHENATTO, D. E. ; GIORDANI, W. ; KOLLING, D. F. ; PANISON, F. ; MOTA, M. R. ; BONIATTI, C. M. ; DALLIGNA, L. ; DALLIGNA, M. . **Fontes estabilizadas de Nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos do milho**. In: Seminário de Iniciação Científica, 2014, Lages. 24º Seminário de Iniciação Científica CAV-UDESC, 2014. p. 16-16.

SANTOS, H.P. dos; LHAMBY, J.C.B. **Influência de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos de soja cultivada em sistemas de rotação de culturas.** Ciência Rural , Santa Maria, v.31, n.1, 2001.

SANTOS, L.B.S. **Viabilidade econômica da implantação de agricultura de precisão na cultura do arroz irrigado em Cachoeira do Sul / RS.** 71p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

SANTOS, E. O. J. ; PINTO, F. B. ; BARBOSA, M. A. ; GONTIJO, I. . **Delineamento de zonas de manejo para macronutrientes em lavoura de café conilon consorciada com seringueira.** Coffee Science , v. 10, p. 309-319, 2015.

SAPKOTA, T.B. et al. **Precision nutrient management in conservation agriculture based wheat production of Northwest India: Profitability, nutrient use efficiency and environmental footprint.** Field Crops Research, Netherlands, v. 155, p. 233-244, Jan 2014. ISSN 0378-4290.

SCHADECK, F.A. **Fertilidade de solo e viabilidade técnica – econômica da agricultura de precisão na região das Missões – RS.** / 2015. 48 f.; Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

SILVA, Mellissa A. S.; GRIEBELER, Nori P.; BORGES, Lino C. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático.** Revista. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.11, n.1, p.108–114, 2007.

SILVA, A. M. P. ; Bono, J.A.M. ; PEREIRA, F. A. R. **Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online) , v. 18, p. 38-43, 2014.

SILVA, C. B.; MORETTO, A.C.; RODRIGUES,R.L. **Viabilidade econômica do uso da agricultura de precisão: o caso do Paraná.** In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 42, 2004, Cuiabá. Anais. Cuiabá: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2004. CD-ROM.

SILVA, C. B. **Inovação na indústria sucroalcooleira paulista: os determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão.** 2009. 89 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2009.

SILVA, M. V. T.; LIMA, R. M. S.; MEDEIROS, J. F.; MEDEIROS, A. M. A.; SILVA, N. K. C. **Evolução da salinidade do solo em função de diferentes doses de Nitrogênio e salinidade da água de irrigação.** Revista ACSA- Agropecuária Científica no Seminário , v. 9, n. 2, p. 126 – 136, 2013.

SILVA, F. M.; SILVA, F. C.; SILVA, F. O.; SILVA, D. H. **Viabilidade técnica e econômica da colheita mecanizada do café.** Revista Visão Agrícola, n.13, p.98-101, 2013.

SILVA, S.F. ; MENDES, D.F. ; QUARTO JUNIOR, P. ; LIMA, W.L. ; RANGEL, O.J.P. ; FERRARI, J.L. **Variabilidade Espacial de Atributos Químicos de Solo Sob Pastagem.** Vértices , v. 17, p. 25-37, 2015.

SIMPLÍCIO, N. **Ecotoxicidade de fertilizantes: Uma análise comparativa entre produtos a base de nitrogênio, fósforo e potássio e seus ingredientes ativos isoladamente**. 2015. 81f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade UnB de Planaltina, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SOARES, I.P.M. **Análise de viabilidade financeira do plantio de soja utilizando a agricultura de precisão**. UNI-FACEF. Trabalho de Conclusão de Curso, 2013.

SOUZA, Z.M. de; SOUZA, G.S. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. **Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo**. *Ciência Rural*, v.44, p.261-268, 2014. DOI: 10.1590/S0103-84782014000200011.

STEPIEN, M.; GOZDOWSKI, D.; SAMBORSKI, S. **Acase study on the estimation accuracy of soil properties and fertilizer rates for different soil-sampling grids**. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v.176, p.57-68, 2013. DOI: 10.1002/jpln.201100422.

VALNIR JÚNIOR, MANOEL; SOARES, FREDERICO ANTONIO LOUREIRO; LIMA, S. C. R. V.; GOMES FILHO, RAIMUNDO RODRIGUES; CARVALHO, CLAYTON MOURA DE; SOUSA, ANTÔNIO EVAMI CAVALCANTE. **Tecnologia na Irrigação**. Tecnologia na Irrigação, 2010.

VARGAS, G. R. **Efeito da adubação potássica na produtividade da soja**. *Publicatio UEPG. Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias (Impresso)*, v. 18, p. 79-84, 2012.

VARELLA, C. A. & SENA JUNIOR, D.G. **Estudo do interpolador IDW para utilização em agricultura de precisão**. 2008. Departamento de Solos. Pós Graduação em Ciências do Solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro UFRRJ. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IA1328_agricultura_de_%20precisao/Aulas/Estudo%20do%20interpolado%20idw%20para%20uso%20em%20AgP.pdf>
Acessado em: 10 de Abril de 2016.

VERNETTI JUNIOR, F. J.; GOMES, A. S.; SCHUCH, L. O. B. **Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil**. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS, v. 39, n. 6, p. 1708-1714, set. 2009.

VERIS TECHNOLOGIES. Disponível em: <<http://www.veristech.com>>. Acesso em: 27 mar. 2016.

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

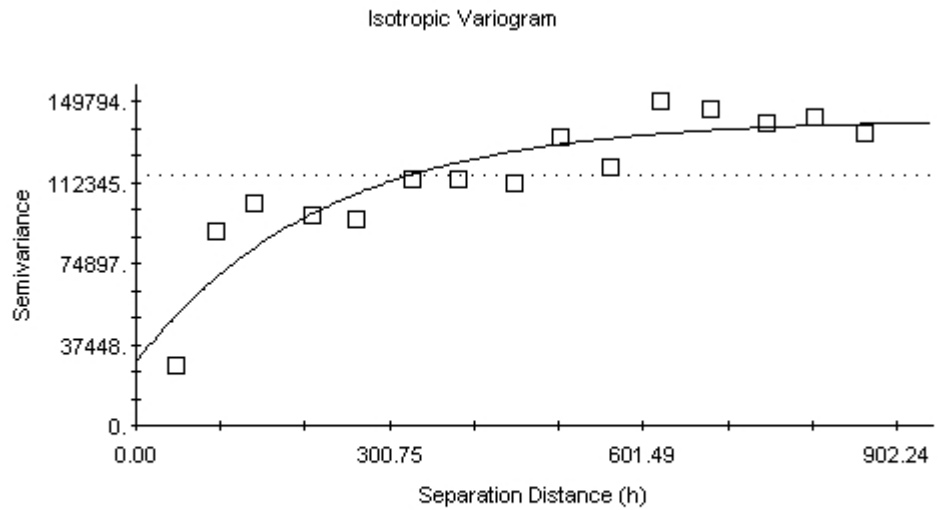
ZHANG, N.; WANG, M.; & WANG, N. **Precision agriculture: a worldwide overview**. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2002. v. 36, p. 113-132.

ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. **Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. I. Características do solo**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, n.1, p.22–28, 2011.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; MEDEIROS, J. C.; SANA, R.S.; SOFIATTI, V. **Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil.** Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 18, n. 6, p. 595 - 602, Jan, 2014.

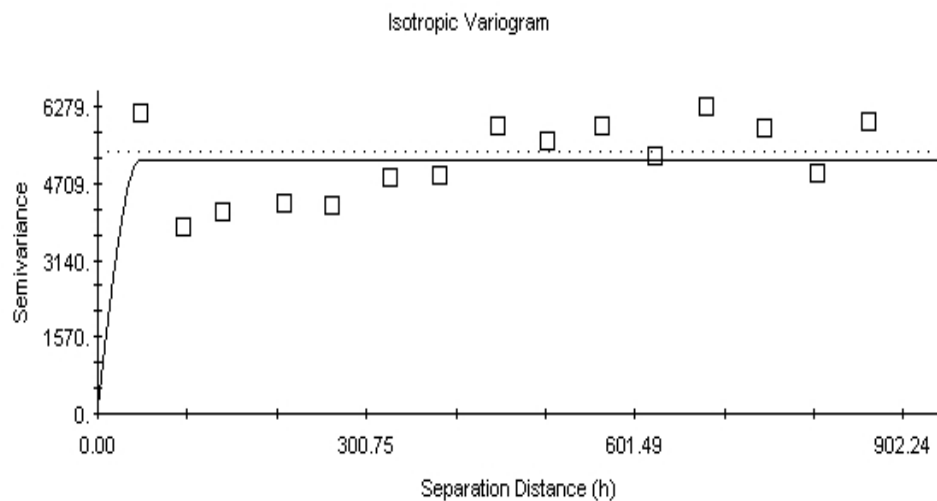
ANEXOS

A - Semivariograma da área A1 para o Calcário



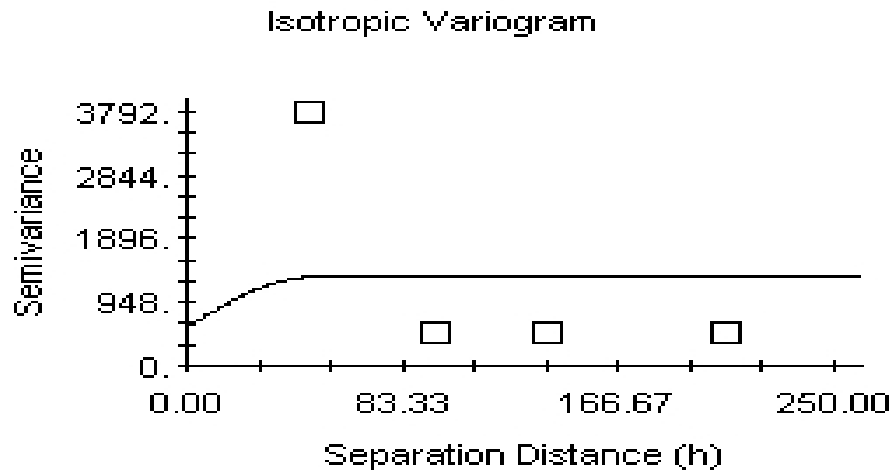
Exponential model ($C_0 = 29200.00000$; $C_0 + C = 141600.00000$; $A_0 = 222.00$; $r^2 = 0.819$;
RSS = 2.44E+09)

B - Semivariograma da área A1 para o Fósforo



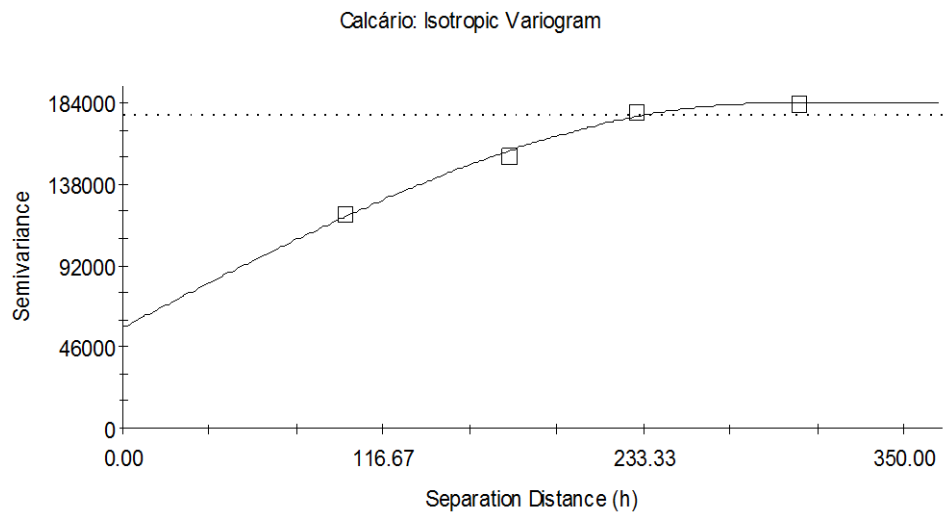
Spherical model ($C_0 = 130.00000$; $C_0 + C = 5206.00000$; $A_0 = 47.00$; $r^2 = 0.000$;
RSS = 9201090.)

C - Semivariograma da área A1 para o Potássio



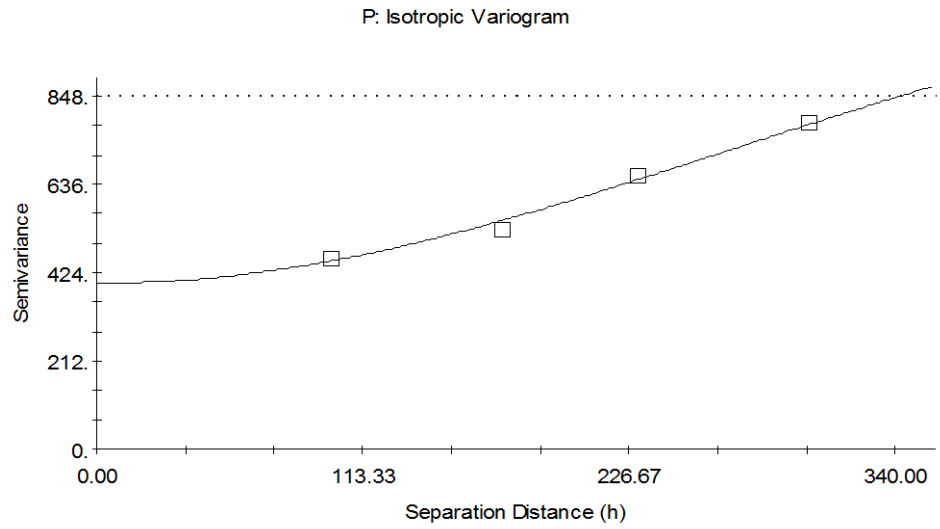
Spherical model ($C_0 = 582.00000$; $C_0 + C = 1324.00000$; $A_0 =$
 $RSS = 8125989.$)

D - Semivariograma da área A2 para o Calcário



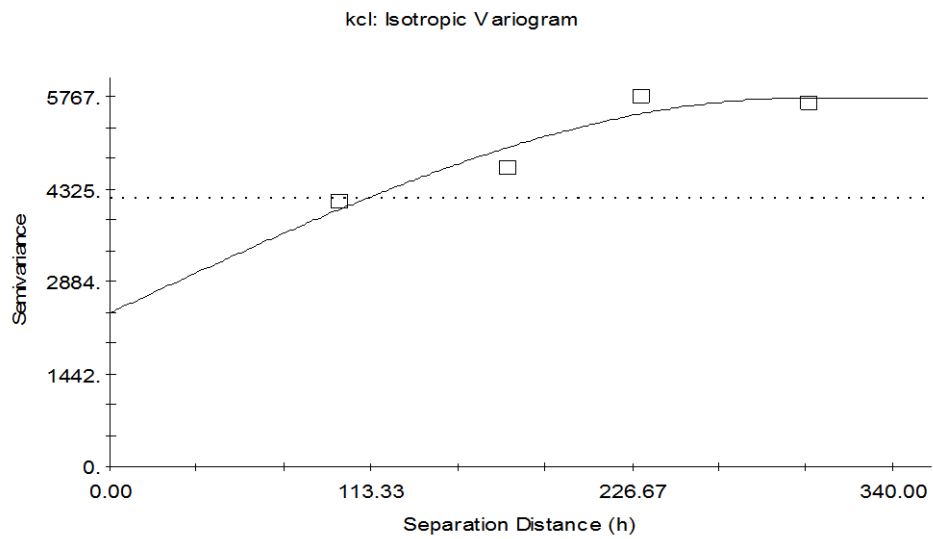
Spherical model ($C_0 = 57200.00000$; $C_0 + C = 184000.00000$; $A_0 = 291.80$; $r_2 = 0.994$;
 $RSS = 1.49E+07$)

E - Semivariograma da área A2 para o Fósforo



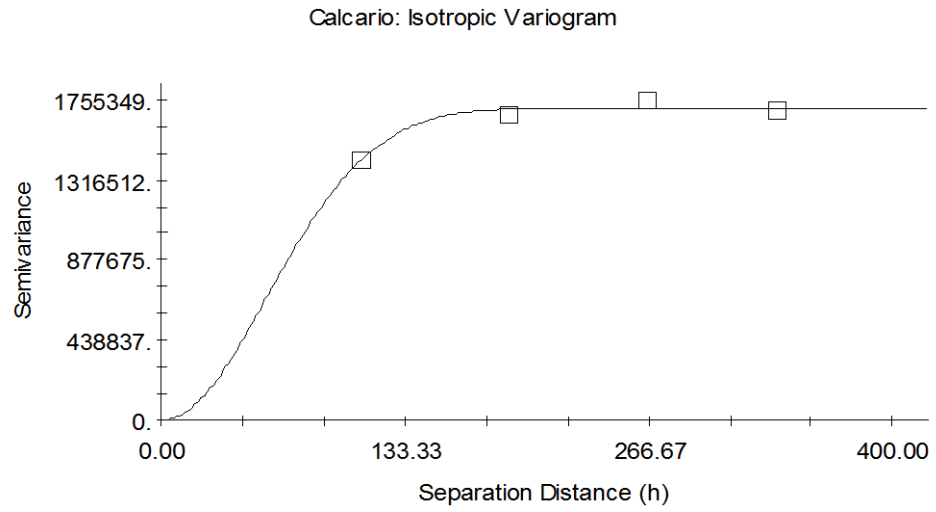
Gaussian model ($C_0 = 398.00000$; $C_0 + C = 1206.90000$; $A_0 = 379.50$; $r^2 = 0.989$;
RSS = 656.)

F - Semivariograma da área A2 para o Potássio



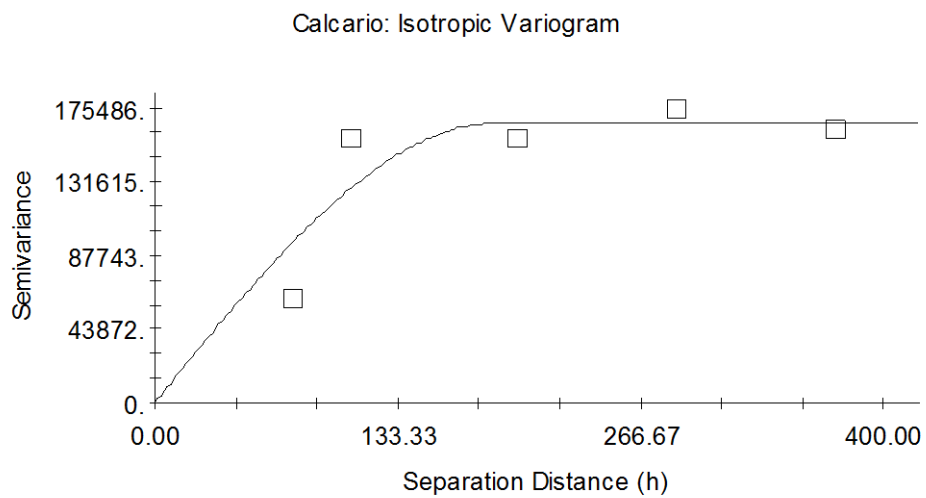
Spherical model ($C_0 = 2390.00000$; $C_0 + C = 5737.00000$; $A_0 = 298.70$; $r^2 = 0.895$;
RSS = 199199.)

G - Semivariograma da área A3 para o Calcário



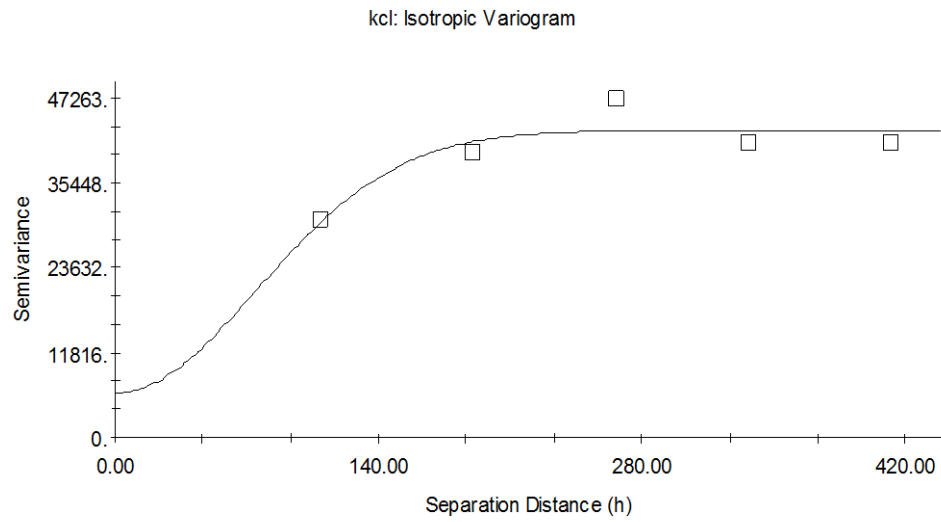
Gaussian model ($C_0 = 1000.00000$; $C_0 + C = 1713000.00000$; $A_0 = 81.80$; $r_2 = 0.955$;
RSS = $2.86E+09$)

H - Semivariograma da área A3 para o Fósforo



Spherical model ($C_0 = 100.00000$; $C_0 + C = 166500.00000$; $A_0 = 187.30$; $r_2 = 0.776$;
RSS = $2.23E+09$)

I - Semivariograma da área A3 para o Potássio



Gaussian model ($C_0 = 6200.00000$; $C_0 + C = 42730.00000$; $A_0 = 106.60$; $r_2 = 0.802$;
RSS = $2.95E+07$)