

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Influência da adubação em doses variadas na produtividade e no estado nutricional da cultura do café (*Coffea arabica* L.)**

**Gustavo Di Chiacchio Faulin**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor  
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba  
2010**

Gustavo Di Chiacchio Faulin  
Engenheiro Agrônomo

**Influência da adubação em doses variadas na produtividade e no estado  
nutricional da cultura do café (*Coffea arabica* L.)**

Orientador:  
Prof. Dr. **JOSÉ PAULO MOLIN**

Tese apresentada, para obtenção do título de Doutor  
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba  
2010**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Faulin, Gustavo Di Chiacchio

Influência da adubação em doses variadas na produtividade e no estado nutricional da cultura do café (*Coffea arabica* L.) / Gustavo Di Chiacchio Faulin. - - Piracicaba, 2010.  
103 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

1. Adubação - Manejo 2. Agricultura de precisão 3. Café - Produtividade 4. Fertilizantes NPK 5. Nutrição vegetal I. Título

CDD 633.73  
F262i

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

Aos meus queridos pais João e Maria Ângela,  
pelo amor, carinho e pela oportunidade dos estudos.

Aos meus avós José (*in memoriam*), Maria e Mariana,  
que sempre me apoiaram e me deram muito carinho.

À minha esposa Marisa,  
sempre ao meu lado e quem amo muito.

Dedico



## **Agradecimentos**

Ao Professor Dr. José Paulo Molin pela orientação, pelo exemplo de competência, ética e dedicação ao ensino, sobretudo pela confiança e amizade dedicada nestes anos desde meu ingresso no Mestrado.

Ao Professor Dr. Jorge Dafonte Dafonte pelos ensinamentos e apoio.

À Luciane Aparecida Lopes Toledo, secretária do programa de pós-graduação da Fitotecnia, pelo profissionalismo e amizade, sempre disposta a ajudar no que fosse preciso.

Aos grandes amigos, José Vitor Salvi, Prof. Dr. Thiago Romanelli e Fabrício Povh, que nunca negaram suas ajudas e sempre compartilharam de momentos filosóficos nas pausas para os cafezinhos.

À empresa Jacto S.A. pela grande parceria e aos seus funcionários que de forma direta ou indireta colaboraram com este trabalho e deram total apoio ao projeto.

Ao Sr. Wilson Marcos Stanislavski que esteve diretamente ligado ao projeto, sempre apoiando em todas as fases.

Ao Dr. Ruy Bonini, proprietário da área localizada no município de Gália, SP, que sempre nos ajudou cedendo toda a infraestrutura, por quem tenho o maior respeito.

À Srta. Maria Gabriela Baracat Sanchez, proprietária das áreas localizadas no município de Patrocínio, MG, que não mediu esforços na condução do trabalho.

Ao Sr. Carlos e ao Sr. Nivaldo, gerentes das fazendas que intermediaram todas as operações.

Ao amigo Glécio Machado Siqueira pelo apoio.

Ao colega Dr. Osvaldo, Eng<sup>o</sup>. Agrônomo, pela troca de experiências.

Aos funcionários das fazendas que, em muitas vezes, não mediram esforços para que todas as etapas fossem concluídas com o maior capricho possível, em especial ao Ademir que demonstrou uma força de superação incrível, e juntamente com o Sr. Geraldo, demonstraram muita competência.

Aos integrantes do Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão (gMAP), em especial a Paula Bernardo Echevarria e Marcos Nascimbem Ferraz que me ajudaram na execução das tarefas.

Aos amigos da pós-graduação em Máquinas Agrícolas, Étore Francisco Reynaldo, Tiago Carletti Antunes de Oliveira, Vanderson Rabelo de Paula e Felipe de Araújo Lopes

Aos amigos Juarez Renó do Amaral e Áureo Santana de Oliveira, responsáveis pelo laboratório de instrumentação eletrônica, cuidando para que tudo funcionasse perfeitamente.

À Fernanda Barbosa Neves da Silva, secretária do setor de mecânica e máquinas agrícolas, e aos colegas do Departamento de Engenharia Rural, Luiz Afonso da Costa, Francisco de Oliveira, Dona Lourdes e José Geraldo Gomes pela amizade, suporte técnico e operacional.

Ao Departamento de Fitotecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realizar este curso de Doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT .....	11
1 INTRODUÇÃO .....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Descrição da área .....	21
3.2 Descrição dos tratamentos .....	23
3.3 Amostras .....	24
3.3.1 <i>Fertilidade do solo</i> .....	24
3.3.2 <i>Diagnose foliar</i> .....	26
3.4 Adubação .....	27
3.4.1 <i>Área experimental localizada em Gália, SP.</i> .....	28
3.4.2 <i>Área experimental localizada em Patrocínio, MG.</i> .....	30
3.5 Colheita .....	32
3.6 Análise dos dados .....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 Teores de fósforo e potássio no solo.....	37
4.2 Recomendação de adubação.....	46
4.3 Produtividade.....	50
4.4 Teores de nitrogênio, fósforo e potássio na folha.....	63
5 CONCLUSÕES .....	75
REFERÊNCIAS.....	77
ANEXOS .....	83





## RESUMO

### **Influência da adubação em doses variadas na produtividade e no estado nutricional da cultura do café (*Coffea arabica* L.)**

As técnicas utilizadas na agricultura de precisão agregam não só ferramentas para o diagnóstico das causas da variabilidade encontrada nas lavouras, como também soluções para o convívio ou correção dessa variabilidade. O Brasil é o maior produtor mundial de café e ainda hoje apresenta um mercado em franca expansão. Por isso, em razão do potencial produtivo e da lucratividade da cultura do café, atualmente o interesse pelas técnicas de manejo localizado e a procura por novas tecnologias estão aumentando. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do manejo localizado das adubações de nitrogênio, fósforo e potássio, na produtividade e no estado nutricional do cafeeiro. Para isso, foram utilizadas quatro áreas comerciais, sendo uma localizada no município de Gália, SP, conduzida durante quatro safras, e três no município de Patrocínio, MG, conduzidas durante três safras. Estabeleceram-se dois tratamentos para testar a hipótese do aumento da produtividade e a manutenção do estado nutricional do cafeeiro com aplicações localizadas dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, em doses variáveis. Como resultados foram observados que as adubações de nitrogênio, fósforo e potássio aplicadas em doses variáveis aumentaram a produtividade do cafeeiro em  $240,0 \text{ kg ha}^{-1}$ , quando somadas todas as safras. Houve redução do consumo do nitrogênio em  $134,7 \text{ kg ha}^{-1}$  e do potássio em  $82,0 \text{ kg ha}^{-1}$ , e para o nutriente fósforo ocorreu um aumento no consumo de  $65,0 \text{ kg ha}^{-1}$ . A avaliação do estado nutricional das plantas de cafeeiro mostrou-se apropriada para possíveis correções das doses dos nutrientes durante a adubação.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Manejo localizado; Variabilidade espacial



## ABSTRACT

### **Influence of variable rate fertilizer application on yield and nutritional status of coffee crop (*Coffea arabica* L.)**

The precision agriculture techniques, besides adding tools to identify the causes of variability found in the fields, provide solutions for this variability to be corrected or for the best management solution when the variability is unavoidable. Brazil is the biggest producer of coffee within an increasing market. Therefore, because of the potential yield and profit of coffee crop, currently the interest in site specific management techniques and the demand for new technologies are increasing. This study aimed to evaluate the influence of site specific management of fertilizers (nitrogen, phosphorus and potassium) in the yield and in the nutritional status of coffee crop. Four commercial areas were used, one located in Gália, SP, and three in Patrocínio, MG. Two treatments were established to test the hypothesis of higher yield and maintenance of the nutritional status of coffee with site specific fertilizer rates of nitrogen, phosphorus and potassium. The results indicated that nitrogen, phosphorus and potassium nutrients applied in variable rates increased the yield in 240.0 kg ha<sup>-1</sup>, considering all the harvesting seasons. Nitrogen fertilizer consumption was reduced in 134.7 kg ha<sup>-1</sup> and potassium in 82.0 kg ha<sup>-1</sup>, on the other hand phosphorus consumption increased in 65.0 kg ha<sup>-1</sup>. The evaluation of nutritional status of coffee plants was appropriate for possible corrections of nutrient supplying during fertilization.

Keywords: Precision agriculture; Site-specific crop management; Spatial variability



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café. Desde sua chegada ao país, em 1727, o café foi o maior gerador de riquezas e o produto mais importante da história nacional. Hoje, o café continua sendo um importante gerador de divisas com uma estimativa de 30,1 milhões de sacas a serem exportadas na safra 2009/10 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2009). Um mercado ainda em franca expansão, cujo agronegócio gera, no mundo todo, recursos da ordem de 91 bilhões de dólares ao comercializar os 115 milhões de sacas que, em média, são produzidos. A atividade envolve ainda meio bilhão de pessoas da produção ao consumo final.

A produção do café arábica representa 74,6% da produção do País (26,8 a 28,3 milhões de sacas de café beneficiado), e tem como maior produtor o estado de Minas Gerais, com 66% (17,7 a 18,6 milhões de sacas de café beneficiado). A área total cultivada com café (arábica e conilon) está estimada em 2.350.779 hectares, 0,5% inferior à safra passada de 2007/08, o que corresponde a uma redução de 11.903 hectares. Desse total, 9,7% (228,2 mil hectares) estão em formação e 90,3% (2.122,6 mil hectares) estão em produção (CONAB, 2009).

Considerando o potencial produtivo e o lucro por hectare da cafeicultura, os cafeicultores estão demonstrando interesse pelas técnicas de manejo localizado, com um aumento na procura por novas tecnologias e com isso gerando muitas dúvidas dos reais benefícios dessa adoção.

Para algumas culturas, como os grãos, o estudo da variabilidade espacial da produtividade está bem consolidado, principalmente pelo fácil acesso aos pacotes tecnológicos que tornam possível essa investigação. As culturas perenes como a laranja e o café, por exemplo, sofrem com a falta de informações sobre a variabilidade da produção. Entretanto, as pesquisas estão evoluindo e já é possível obter informações das possíveis causas da variabilidade na produção, mas muito tem que ser feito ainda.

As técnicas da agricultura de precisão agregam não só informações necessárias para o diagnóstico das causas da variabilidade encontradas na lavoura

como também soluções para o convívio ou correção dessa variabilidade. Os mapas gerados com informações georreferenciadas identificam e alertam para os locais onde o manejo deve ser diferenciado.

O mapa da produtividade pode ser facilmente obtido em colhedoras equipadas com o monitor de colheita. Sendo a colheita uma operação obrigatória, este mapa geralmente acaba se tornando o início de todo o processo de investigação das causas da variabilidade. Após seu processamento e visualização, desperta o interesse do agricultor e alerta para regiões com produtividades diferenciadas que, aliadas a outras informações da lavoura, podem ser manejadas localizadamente para nas próximas safras fornecer um incremento da produção e/ou uma otimização na aplicação dos insumos agrícolas.

Outra informação importante para a tomada de decisões no manejo da lavoura é o conhecimento dos atributos de solo, tendo em vista que a variabilidade espacial de alguns atributos de solo em uma área agrícola influencia diretamente na produtividade das culturas

A produção da cultura do cafeeiro é o resultado integrado dos diversos fatores ligados ao manejo da cultura, do solo, do clima e da própria planta. Geralmente suas áreas são consideradas homogêneas e manejadas como tal. Há poucos relatos sobre a variabilidade da produção do cafeeiro no tempo e no espaço.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do manejo localizado das adubações de nitrogênio, fósforo e potássio, na produtividade e no estado nutricional do cafeeiro.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O café foi introduzido no Brasil no século XVIII, iniciando, desde então, uma história de sucesso. Teve grande influência na colonização e desenvolvimento do Brasil e assume hoje um importante papel econômico e social.

A cafeicultura brasileira foi, durante várias décadas, a atividade econômica mais importante da nação, sendo suplantada aos poucos e apenas recentemente pelo setor industrial.

O Brasil é o maior exportador e produtor mundial de café, com uma produção de 46 milhões de sacas de 60 kg na safra 2007/08 distribuída em 2,17 milhões de hectares (CONAB, 2009). A cultura envolve direta e indiretamente, aproximadamente dez milhões de pessoas, desde a produção até a industrialização e comercialização.

O café no Brasil não está como principal produto da balança comercial, configurando uma perda significativa da importância no desempenho da commodity na economia brasileira. Dentre os elementos condicionantes dessas perdas, estão as produções mundiais, que cresceram rapidamente, levando a uma concorrência em preço, dado o aumento de produção dos outros países, e ainda o fator qualidade, que tem se mostrado fundamental nessa concorrência.

Segundo Wiezel (1981), para a sobrevivência de nossa cafeicultura, o Brasil tem que seguir o caminho da qualidade. Assim sendo, o amplo conhecimento das técnicas de produção de cafés finos, ou seja, de alta qualidade, é indispensável para a cafeicultura moderna.

Embora a adubação influa na qualidade da bebida, são escassos os trabalhos que relacionam a composição química do solo, os tratamentos culturais e a composição da folha e dos frutos (NOGUEIRA et al., 2001).

A produção vegetal intensiva requer fornecimento regular e balanceado de nutrientes. Desequilíbrios extremos no fornecimento de nutrientes levam a planta a sofrer estresses metabólicos danosos ao seu desenvolvimento, chegando até ao ponto de surgirem sintomas de deficiência ou de excesso que, certamente, determinam perda de produção e qualidade. A análise química de plantas, com critérios ajustados de



amostragem, é uma ferramenta essencial para a avaliação desse balanceamento de nutrientes (BATAGLIA, 2004).

As exigências nutricionais do cafeeiro variam com a espécie e, deste modo, o diagnóstico do estado nutricional constitui fator indispensável no sistema de produção do cafeeiro (COSTA, 2001).

Para Miranda et al. (2005), a variabilidade de uma área influencia fatores de produção ligados à disponibilidade de nutrientes. Se for constatada a variabilidade espacial destes fatores e da produtividade das culturas, a localização das regiões de alto e baixo potencial produtivo pode trazer benefício pela adoção de estratégias de manejo localizado.

Segundo Salviano (1996), poucos trabalhos têm sido conduzidos sobre as relações entre a variabilidade dos atributos do solo e a variabilidade da produtividade. De acordo com Mulla (1990), a variabilidade dos atributos do solo influencia a eficiência do manejo e o desenvolvimento da cultura. A variação dos atributos do solo causa rendimento desuniforme, mesmo em pequenas áreas.

Assim, entender como a distribuição espacial dos atributos dos solos funciona é importante para o estabelecimento de práticas de manejo adequadas, não somente à otimização da produtividade agrícola, mas também para a minimização de possíveis danos ambientais (McBRATNEY; PRINGLE, 1999).

Na agricultura de precisão, o conhecimento da variabilidade dos atributos de solo e planta é necessário para o manejo localizado da produtividade agrícola. Hoje já estão disponíveis ferramentas que possibilitam a coleta, armazenamento e análise de dados, viabilizando estudos desta natureza.

De acordo com Balastreire (1998) a agricultura de precisão é um conjunto de técnicas que permitem o gerenciamento localizado das culturas. Já Queiroz et al. (2000), consideram que é a tecnologia modificando as técnicas existentes e incorporando novas ferramentas aos especialistas no manejo diferenciado das áreas agrícolas. Schueller (1992) acrescenta que as técnicas da agricultura de precisão também visam o lucro, a sustentabilidade e a proteção do ambiente.

A agricultura de precisão é um sistema contínuo e muitas das etapas se repetem a cada ciclo da cultura. Seu ciclo completo realiza-se quando é feita a

intervenção nos fatores de produção que foram considerados relevantes para o manejo da variabilidade da produção (MOLIN, 2001).

Segundo Oliveira (2003), trabalha-se em agricultura de precisão desde o início do século XX. Porém, a prática remonta anos da década de 1980, quando em 1988, nos EUA, fez-se a primeira adubação em tempo real com doses variadas (STAFFORD, 2000).

Também, no final dos anos 1980, ocorreram as primeiras tentativas para a mensuração do escoamento de grãos em colhedoras. Mais recentemente, com os avanços da agricultura de precisão, diversas outras culturas têm recebido atenção no desenvolvimento de monitores de colheita.

A colheita mecanizada do café iniciou-se no Brasil em 1979 com o surgimento no mercado de uma colhedora de café e, somente recentemente, as técnicas da agricultura de precisão referentes à cultura do café têm gerado debates importantes (MOLIN et al., 2002).

Leal (2002) desenvolveu um sistema de mapeamento da produtividade na colheita mecanizada do café por meio da adaptação, construção e utilização de um sistema automático de pesagem dos frutos, construído de uma estrutura apoiada sobre quatro células de carga e suportando um “*bigbag*” utilizado como depósito dos frutos colhidos. Oliveira (2003) estudou, por meio de coleta manual, a variabilidade espacial da produção do café de montanha. Em ambos os trabalhos foi verificada a variabilidade espacial da produtividade, fortalecendo o conceito de agricultura de precisão para o gerenciamento localizado da cultura.

No ano de 2000, um sistema automático para mensuração de fluxo volumétrico de café colhido mecanicamente foi desenvolvido e testado em duas lavouras de café no estado de São Paulo. A obtenção de dados de produtividade mostrou-se apropriada, prática, suficientemente acurada e possível de ser incorporada ao projeto de uma colhedora (SARTORI et al., 2002). Em experimento conduzido nessas mesmas lavouras, Molin et al. (2002) observaram uma acentuada variabilidade da produtividade nos dois talhões, o que indicou a viabilidade da definição de unidades de gerenciamento diferenciado, especialmente para aplicação de fertilizantes. Ainda, segundo os autores, correlações entre componentes da fertilidade do solo e a

produtividade, apesar dos baixos valores obtidos, ofereceram importantes indicações da variabilidade na lavoura.

A adubação é uma ferramenta complementar no conjunto solo-planta-clima. Considerando que o custo de fertilizantes contribui, em média, com aproximadamente 30% do custo total da produção em culturas anuais (FAGERIA, 1998), a otimização da eficiência nutricional é fundamental para melhorar a produtividade e reduzir o custo de produção.

Recentemente, avanços tecnológicos mostram que é possível alocar espacialmente os insumos com base nas necessidades de cada lavoura. Especialmente em alguns países da Europa, com a preocupação da contaminação do lençol freático com nitrato, os estudos a respeito da tecnologia da aplicação em doses variadas de insumos recebem uma importância maior.

Tradicionalmente, os agricultores têm feito amostragem de solo de uma dada área, uniformizando as sub-amostras em uma única amostra que possa representar as características de fertilidade desta área. Com base nesta interpretação, fazem aplicações com doses uniformes dos insumos. No entanto, as propriedades destes solos podem variar de local para local dentro da mesma lavoura (SCHUELLER, (1992); WIEDA; BORGELT, 1993).

A tarefa do gerenciamento localizado de culturas exige um conjunto de novas ferramentas, o que implica investimentos em equipamentos e conhecimento. Com a viabilização de novas tecnologias, dentre elas o próprio Sistema de Posicionamento Global (GPS, acrônimo do inglês *Global Position System*), a agricultura de precisão preconiza a aplicação de fertilizantes em doses variáveis e localizadas (MOLIN, 2001).

Segundo Silva et al. (2007), estudando a cultura do café numa área de 4,2 ha no município de Ijací, MG, com a variedade Mundo Novo, os atributos químicos do solo apresentaram baixos valores de alcance na análise do semivariograma, com exceção das variáveis fósforo e potássio, evidenciando a baixa continuidade espacial do solo sob cafeeiro. Segundo os mesmos autores, a grande amplitude de variação destes atributos químicos na área justifica a aplicação diferenciada e localizada de fertilizantes na lavoura cafeeira.

Molin et al. (2006) não observaram efeito significativo, após a adubação em doses variadas, da interação entre os teores de fósforo e potássio no solo e a produtividade de café em uma lavoura de 6,4 ha, durante uma safra. Entretanto a área que recebeu aplicação de fertilizantes em doses variadas apresentou 34% de aumento na produtividade em relação àquela que recebeu fertilizantes em dose fixa.

Gallo et al. (1999) concluíram que o teor de N total nas folhas e a análise de solo para P e K mostraram-se como ferramentas eficientes na avaliação da disponibilidade desses nutrientes e na resposta à adubação.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição das áreas experimentais

A pesquisa foi conduzida em quatro áreas comerciais cultivadas com a espécie *Coffea arabica* cuja descrição encontra-se na Tabela 1, compreendendo um período de quatro safras agrícolas, entre 2004/05 até 2007/08, para a área localizada no município de Gália, SP, e três safras agrícolas, 2005/06 até 2007/08, para as três áreas localizadas no município de Patrocínio, MG.

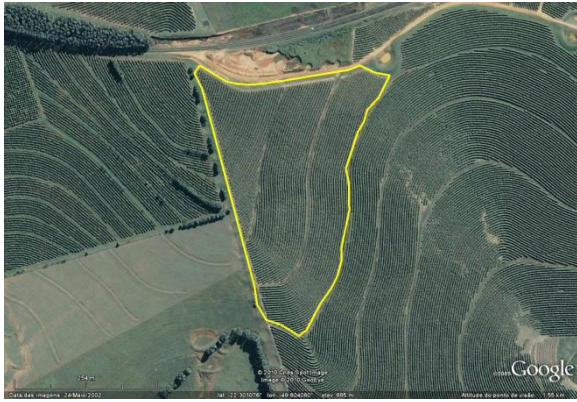
Tabela 1 – Descrição das áreas

Área	Município, UF	Superfície (ha)	Variedade	Espaçamento entre fileiras de plantio (m)
1	Gália, SP	8,64	Mundo Novo	3,90
2	Patrocínio, MG	5,94	Catuaí	4,20
3	Patrocínio, MG	6,39	Mundo Novo	4,20
4	Patrocínio, MG	4,67	Catuaí	4,00

Segundo a classificação de Köppen, o clima das quatro áreas é classificado como Cwa, temperado úmido com inverno seco e verão quente.

Os solos nas áreas pertencem à classe dos LATOSSOLOS. A área 1 pertence à subordem dos LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS (LVA) e as áreas 2, 3 e 4, à subordem dos LATOSSOLOS AMARELOS (LA) (EMBRAPA, 1999).

As áreas pertencem a propriedades particulares que se dedicam exclusivamente à cafeicultura e gentilmente foram cedidas pelos proprietários para a condução desse trabalho. Na Figura 1 observa-se o formato de cada área, assim como as coordenadas e a altitude central, de cada área.



Área 1 – Município de Gália, SP (8,64 ha)  
 22°18'03,88"S e 49°36'14,61"O  
 Altitude - 696 metros



Área 2 – Município de Patrocínio, MG (5,94 ha)  
 18°39'50,82"S e 46°50'38,17"O  
 Altitude - 1.193 metros



Área 3 – Município de Patrocínio, MG (6,39 ha)  
 18°39'38,87"S e 46°50'44,14"O  
 Altitude – 1.193 metros



Área 4 – Município de Patrocínio, MG (4,67 ha)  
 18°41'29,95"S e 46°49'18,36"O  
 Altitude – 1.183 metros

Figura 1 – Formato, coordenadas e altitudes centrais das quatro áreas (Google Earth, Google™)

As áreas localizadas no município de Patrocínio, MG, estão distanciadas num raio máximo de 4.770 m e suas distribuições espaciais podem ser observadas na Figura 2.



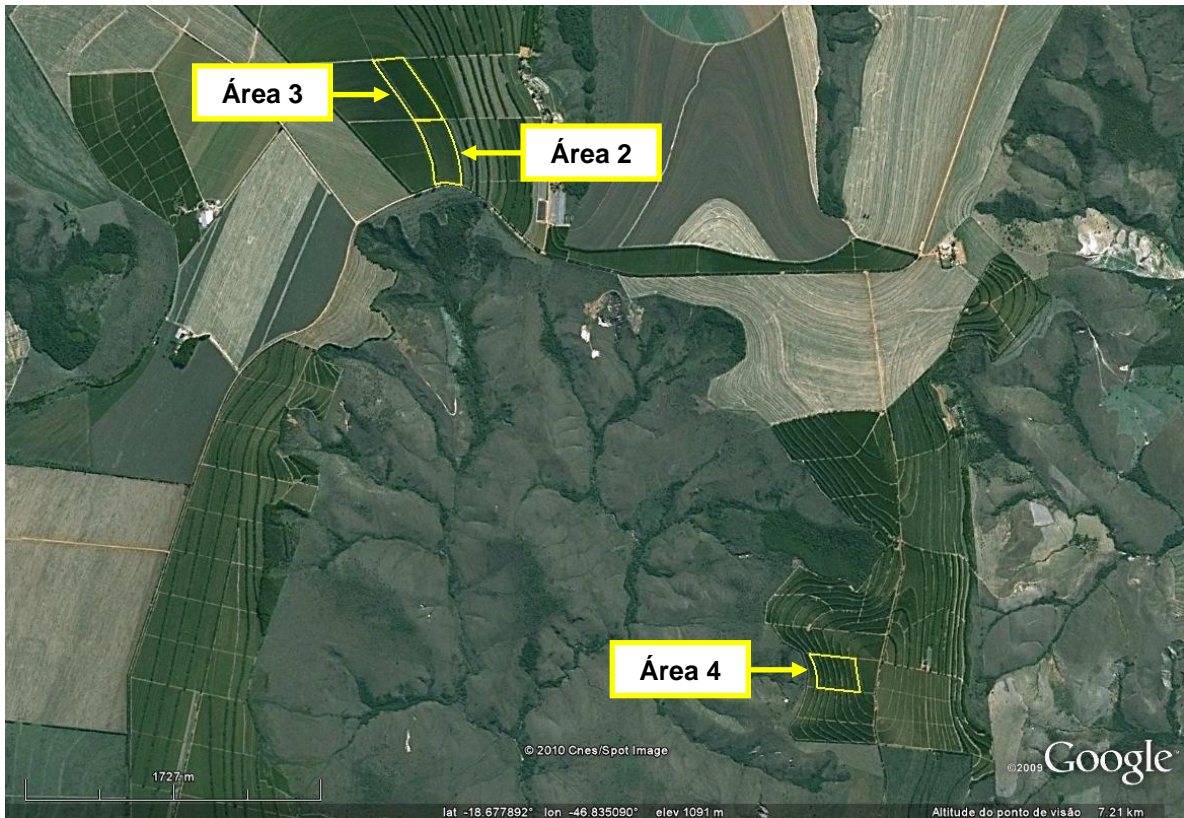


Figura 2 – Distribuição espacial das áreas localizadas no município de Patrocínio, MG (Google Earth, Google™)

### 3.2 Descrição dos tratamentos

Estabeleceram-se dois tratamentos para testar a hipótese de que as adubações localizadas com doses variáveis de nitrogênio, fósforo e potássio, proporcionassem um aumento na produtividade e na manutenção do estado nutricional das plantas.

Dentro de cada área, as fileiras de plantas corresponderam a um tratamento (Figura 3), intercaladas em uma fileira com o tratamento denominado “Dose Fixa” (testemunha), onde as adubações eram feitas utilizando apenas uma única dose de nitrogênio, fósforo e potássio para cada área, e uma fileira com o tratamento denominado “Dose Variável”, o qual testou a hipótese. As adubações dos outros nutrientes importantes na cultura do café e os tratos culturais foram executadas de forma idêntica para ambos os tratamentos.



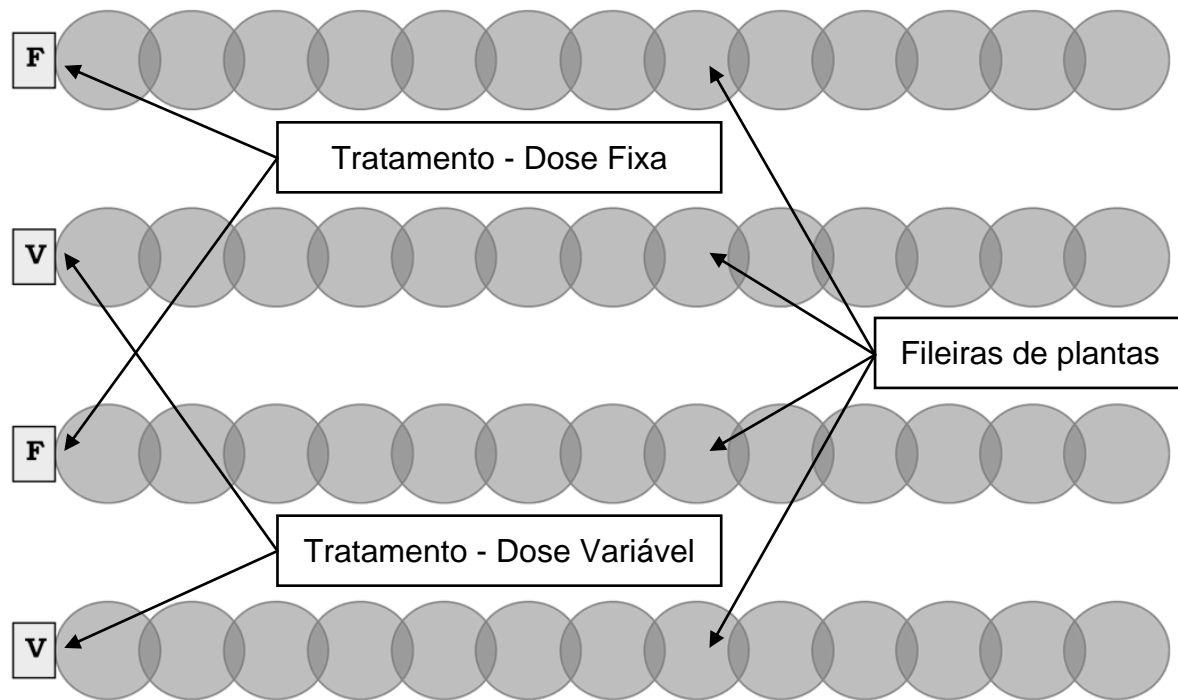


Figura 3 – Esquema demonstrando a disposição dos tratamentos nas áreas

### 3.3 Amostragens de solo e foliar

As amostragens foram realizadas em pontos georreferenciados, dispostos em uma grade com espaçamentos longitudinais e transversais equidistantes.

#### 3.3.1 Fertilidade do solo

Para conhecer alguns atributos da fertilidade do solo foram retiradas amostras de solo na camada de 0 a 0,2 m com trados do tipo holandês e helicoidal.

A densidade amostral nas áreas, para cada safra, está descrita na Tabela 2.

Tabela 2 – Densidade amostral para determinação da fertilidade do solo

Áreas	Densidade amostral para cada safra (pontos ha <sup>-1</sup> )			
	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08
1	0,79	0,66	0,30	0,30
2	-	0,50	0,24	0,24
3	-	0,43	0,25	0,25
4	-	0,47	0,23	0,23

A localização e o procedimento de retirada das amostras estão esquematizados na Figura 4.

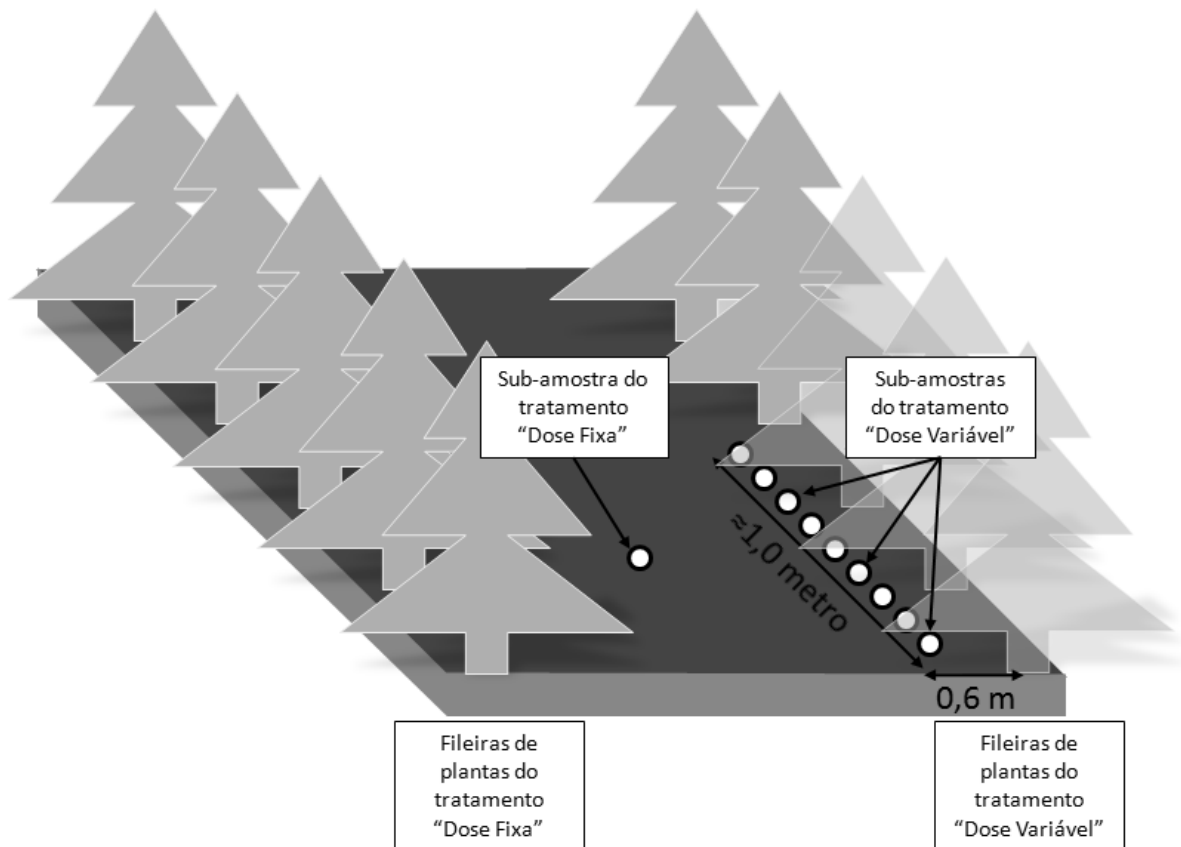


Figura 4 – Esquema da localização dos pontos amostrais de cada tratamento

Procedeu-se a amostragem em cada ponto georreferenciado de forma distinta para os tratamentos, com exceção das amostras foliares, onde utilizou-se para o tratamento “Dose Fixa” o mesmo procedimento do tratamento “Dose Variável”.

Para as amostras de solo, no tratamento “Dose Fixa” procurou-se respeitar a metodologia empregada nas fazendas, onde sub-amostras são coletadas no centro das entrelinhas ao longo da área, compondo uma única amostra composta por área. No tratamento “Dose Variável”, cada amostra foi composta por nove sub-amostras, distanciadas paralelamente à fileira de plantas em 0,6 m e agrupadas num intervalo de aproximadamente 1,0 m (Figura 4).

As amostras de solo foram encaminhadas para laboratórios de análises certificados, onde foram determinados os teores de Matéria Orgânica (MO), pH em solução de  $\text{CaCl}_2$ , Fósforo em Resina (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), Soma de Bases (SB), Acidez Potencial (H + Al), Capacidade de Troca Cátions (CTC) e Saturação de Bases (V).

### **3.3.2 Diagnose foliar**

Com o intuito de verificar o estado nutricional do cafeeiro foram coletadas em ambos os tratamentos, amostras foliares, na área 1, em dezembro de 2007 e nas áreas 2, 3 e 4, em outubro de 2008. A densidade e arranjo amostral para cada tratamento nas áreas 1 e 3, foi a mesma utilizada na amostragem da fertilidade do solo na safra 07/08 (Tabela 2). As áreas 2 e 4 tiveram um novo arranjo amostral, com o dobro de pontos de coleta da fertilidade do solo na safra 07/08, também com pontos equidistantes.

O procedimento amostral consistiu em coletar nos ramos localizados na parte mediana da altura da planta, o terceiro e o quarto par de folhas, contados a partir do primeiro par de folhas com comprimento maior que 25,0 mm. Foram retiradas 52 folhas por amostra em 13 plantas próximas ao ponto amostral, para cada tratamento. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e armazenadas em um recipiente de isopor com gelo para serem levadas ao laboratório onde se procederam as análises dos teores ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

### 3.4 Intervenções para implantação dos tratamentos

Nas adubações com os nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, foi utilizada uma adubadora de arrasto com dosador volumétrico de duas esteiras independentes com comportas ajustáveis (Máquinas Agrícolas Jacto S.A., modelo ainda não disponível comercialmente), tracionada por um trator de 31,7 kW (Figura 5).



Figura 5 – Equipamento utilizado nas adubações de nitrogênio, fósforo e potássio

O equipamento possui dois sistemas dosadores de esteiras e comportas acionadas hidráulicamente e comandadas por um computador conectado a um receptor de GPS. Devido à sua construção, com dois mecanismos dosadores e distribuição lateral independente, pôde-se configurar o lado esquerdo da máquina para aplicar uma dose fixa e o lado direito para aplicar doses variadas, comandadas pelo mapa de aplicação previamente definido e carregado no computador do equipamento. O mapa de aplicação fornece ao equipamento informações das doses a serem aplicadas e suas localizações geográficas.

De posse dos laudos da análise de solo foram calculadas as doses de nitrogênio (N), fósforo (na forma de  $P_2O_5$ ) e potássio (na forma de  $K_2O$ ) para cada tratamento nas quatro áreas. Os demais nutrientes manejados na cultura do café foram aplicados com o próprio equipamento da fazenda em doses fixas e na mesma quantidade para ambos

os tratamentos, de acordo com o estabelecido e planejado pelos técnicos de cada fazenda.

As recomendações de adubação seguiram tabelas e equações adotadas pelos técnicos de cada fazenda, como descritas a seguir.

### 3.4.1 Área experimental localizada em Gália, SP

Na área 1 as recomendações sugerem um parcelamento das doses durante o período de adubação, parcelando as doses de nitrogênio em seis parcelas, potássio em duas e o fósforo aplicado em uma única parcela. Nessas adubações foram utilizados os fertilizantes Nitrato de Amônia como fonte de N, o Superfosfato Simples como fonte de  $P_2O_5$  e o cloreto de potássio como fonte de  $K_2O$ .

A doses a serem aplicadas foram calculadas segundo Raij et al. (1997), que fornece uma tabela com faixas de produtividade esperada e teores encontrados no laudo da análise de solo (Tabela 3).

Tabela 3 – Recomendação de adubação mineral de produção segundo Raij et al. (1997) para a cultura do café

Produtividade esperada (kg ha <sup>-1</sup> )	Teor de N nas folhas (g kg <sup>-1</sup> )			P resina (mg dm <sup>3</sup> )				K+ trocável (mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )			
	< 26	26 - 30	> 30	0 - 5	6 - 12	13 - 30	> 30	0 - 0,7	0,8 - 1,5	1,6 - 3,0	> 3,0
	N, kg ha <sup>-1</sup>			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg ha <sup>-1</sup>				K <sub>2</sub> O, kg ha <sup>-1</sup>			
< 600	150	100	50	40	20	20	0	150	100	50	20
600 - 1200	180	120	70	50	30	20	0	180	120	70	30
1200 - 1800	210	140	90	60	40	20	0	210	140	90	40
1800 - 2400	240	160	110	70	50	30	0	240	160	110	50
2400 - 3600	300	200	140	80	60	40	20	300	200	140	80
3600 - 4800	360	250	170	90	70	50	30	360	250	170	100
> 4800	450	300	200	100	80	60	40	450	300	200	120

Para a recomendação de adubações do tratamento “Dose Fixa” a Tabela 3 se adéqua perfeitamente. Tem-se neste tratamento uma única amostra resultando em uma

única recomendação. No tratamento “Dose Variável”, obtendo-se, numa determinada produtividade esperada, teores nas análises do solo que se enquadram dentro de uma mesma faixa de recomendação, resulta-se em uma única dose aplicada, não variando. Para contornar a deficiência desse método e manter a proposta de adotar o mesmo método utilizado pelos técnicos das fazendas, procurou-se estabelecer alternativas que proporcionassem doses variáveis.

Foram estabelecidas regressões lineares para cada nutriente que atendessem as faixas recomendadas e a produtividade esperada. Nas Tabelas 4, 5 e 6, estão organizadas as equações para cada nutriente visando a recomendação em doses variadas, seguindo o proposto por Raij et al. (1997).

Tabela 4 – Equações utilizadas na recomendação das doses de nitrogênio

<b>Teor de N foliar (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Quantidade de N recomendada (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
<26	$N = 0,0652x + 110,74$
26 – 30	$N = 0,0446x + 72,525$
>30	$N = 0,0334x + 37,01$

Nota:  $x$  é o teor do nutriente encontrado no laudo da análise foliar

Tabela 5 – Equações utilizadas na recomendação das doses de fósforo

<b>Teor de P resina (mg dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Quantidade de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> recomendada (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
0 – 5	$P_2O_5 = 0,0132x + 37,868$
6 – 12	$P_2O_5 = 0,0132x + 17,868$
13 – 30	$P_2O_5 = 0,0098x + 10,27$
>30	$P_2O_5 = 0,0107x - 12,857$

Nota:  $x$  é o teor do nutriente encontrado no laudo da análise de solo

Tabela 6 – Equações utilizadas na recomendação das doses de potássio

Teor de K <sup>+</sup> trocável (mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> )	Quantidade de K <sub>2</sub> O recomendada (kg ha <sup>-1</sup> )
0 – 0,7	$K_2O = 0,0652x + 110,74$
0,8 – 1,5	$K_2O = 0,0446x + 72,525$
1,6 – 3,0	$K_2O = 0,0334x + 37,01$
>3,0	$K_2O = 0,0232x + 6,1765$

Nota:  $x$  é o teor do nutriente encontrado no laudo da análise de solo

### 3.4.2 Área experimental localizada em Patrocínio, MG

Nas áreas 2, 3 e 4, as recomendações são parceladas em três vezes para o nitrogênio, duas para o potássio e uma única aplicação para o fósforo. Nas adubações utilizaram-se a Uréia como fonte de N, o Superfosfato Simples como fonte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e o Cloreto de Potássio como fonte de K<sub>2</sub>O.

Nessas áreas, utilizaram-se equações que estabelecem as doses a serem aplicadas seguindo alguns critérios.

Recomendação de nitrogênio:

$$N = \left(70 + 1,5 * \frac{x}{60}\right) * m, \quad (1)$$

onde:

$N$  - dose de nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>);

$x$  - produtividade esperada (kg ha<sup>-1</sup>);

$m$  - comprimento total de fileiras de plantas (m) por hectare.

Recomendação de fósforo:

$$P_{(P_2O_5)} = \left(6 + 0,5 * \frac{x}{60}\right) * m, \quad (2)$$

onde:

$P_{(P_2O_5)}$  - dose de fósforo ( $kg\ ha^{-1}$ );

$x$  - produtividade esperada ( $kg\ ha^{-1}$ );

$m$  - comprimento total de fileiras de plantas (m) por hectare.

Conforme os resultados obtidos no laudo da análise de solo aplicaram-se alguns ajustes ao resultado da Equação 2. Se o teor de fósforo era:

- menor que  $5,0\ mg\ dm^{-3}$ , aumentar a dose em 50%;
- entre  $5,0$  a  $10,0\ mg\ dm^{-3}$ , aumentar a dose em 25%;
- entre  $10,1$  a  $20,0\ mg\ dm^{-3}$ , manter a dose;
- entre  $20,1$  a  $30,0\ mg\ dm^{-3}$  e se o ano era de safra baixa, não aplicava-se o nutriente, senão, reduzia-se a dose em 50%;
- maior que  $30,0\ mg\ dm^{-3}$ , não aplicava-se o nutriente.

Recomendação de potássio:

$$K_{(K_2O)} = \left(50 + 2,0 * \frac{x}{60}\right) * m, \quad (3)$$

onde:

$K_{(K_2O)}$  - dose de potássio ( $kg\ ha^{-1}$ );

$x$  - produtividade esperada ( $kg\ ha^{-1}$ );

$m$  - comprimento total de fileiras de plantas (m) por hectare.

Conforme os resultados obtidos no laudo da análise de solo aplicaram-se alguns ajustes ao resultado da Equação 3. Se o teor de potássio em relação à CTC era:

- menor que 1,5 %, aumentar a dose em 50%;
- entre 1,5 a 3,0%, aumentar a dose em 25%;
- entre 3,1 a 5,0%, manter a dose;



- entre 5,1 a 7,0% e se o ano era de safra baixa, reduzia-se a dose em 50%, senão, reduzia-se a dose em 25%;
- maior que 7,0%, não aplicava-se o nutriente.

### 3.5 Colheitas dos experimentos

As colheitas foram realizadas para cada tratamento individualmente, tomando o cuidado de intercalar as colheitas para que cada tratamento fosse colhido na mesma hora do dia, proporcionando as mesmas condições.

Utilizou-se uma colhedora autopropelida marca Jacto, modelo K3 (Máquinas Agrícolas Jacto S.A), equipada com um monitor de colheita volumétrico, descrito por Sartori et al. (2002), o qual mensura a produtividade em litros por hectare do fruto de café colhido.

Durante a colheita foram coletadas amostras dos frutos na saída de descarga da colhedora. Essas amostras foram obtidas aleatoriamente na área, compondo cinco amostras de um litro por tratamento. As amostras foram secas ao sol e posteriormente beneficiadas e pesadas, obtendo-se o Fator renda ( $F_r$ ) a partir da Equação 4.

$$F_r = \frac{Mb}{V_c}, \quad (4)$$

Onde:

- $F_r$  - fator renda;
- $Mb$  - massa beneficiada (kg)
- $V_c$  - volume colhido (L);

Com a produtividade obtida pelo monitor de colheita em litros por hectare de fruto colhido, multiplica-se o  $F_r$  obtendo a produtividade em quilogramas por hectare de café beneficiado.

### 3.6 Análise dos dados

Em todas as análises utilizou-se o programa computacional R versão 2.9.2 (TEAM, 2009) com os pacotes stats (TEAM, 2009), MASS (VENABLES; RIPLEY, 2002) e geoR (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2001).

Para eliminar o “efeito bordadura” e possíveis erros na aquisição dos dados de colheita, foram removidos os pontos de produtividade que estavam a uma distância de 10 m da borda da área.

Na sequência buscou-se a confirmação ou não da validade dos dados candidatos a discrepante, utilizando a análise exploratória dos dados aliada a uma descrição espacial dos conjuntos de variáveis obtidas (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Através da metodologia proposta por Tukey (1977) foram calculados os limites para valores discrepantes. Todos os dados foram espacializados, destacando os candidatos a discrepantes, ajudando na decisão de removê-los ou não. Se os valores candidatos a discrepantes estivessem localizados de forma aglomerada ou em regiões conhecidamente diferenciadas não eram considerados discrepantes; se não apresentassem nenhum indício de que faziam parte de uma região diferenciada, eram considerados discrepantes e removidos.

A seguir utilizou-se da estatística descritiva para caracterizar o comportamento dos dados até os momentos estatísticos de quarta ordem. A variabilidade expressa pelo coeficiente de variação (CV) foi classificada em baixa ( $CV < 12\%$ ), média ( $12 < CV < 62\%$ ) e alta ( $CV > 62\%$ ), segundo Warrick e Nielsen (1980). A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelos coeficientes de assimetria e curtose e pelo teste de Shapiro-Wilk.

A função de transformação para modelos lineares Box-Cox, disponível no pacote MASS (VENABLES; RIPLEY, 2002), indica a necessidade ou não da transformação dos dados. Valores de lambda ( $\lambda$ ) iguais a 1 indicam que não é necessária a transformação dos dados e valores de  $\lambda = 0$  indicam a necessidade da transformação logarítmica dos dados.

A verificação da existência de dependência espacial foi feita por meio do ajuste dos semivariogramas, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada pela Equação 5.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2, \quad (5)$$

em que  $N(h)$  é o número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  separados por uma distância  $h$ . A partir desse semivariograma ajustou-se um modelo matemático que expressa a estrutura de dependência espacial da variável avaliada.

No estudo de modelos mistos, para a predição e avaliação de tendências é necessário ter conhecimento dos componentes de variâncias e da covariância das observações. Vários são os métodos estudados para solucionar estas questões. Até a década de 80 os modelos eram ajustados de forma visual e atualmente, com o avanço da computação científica, existem algoritmos iterativos mais eficientes que retiram e/ou atenuam a subjetividade dos ajustes visuais. Dentre os métodos de ajuste do modelo destacam-se os Métodos dos Quadrados Mínimos Ordinários, Ponderados e o Método da Máxima Verossimilhança. Neste trabalho optou-se por utilizar o estimador de máxima verossimilhança (HARTLEY; RAO, 1967).

Para a escolha do modelo utilizou-se o Critério de Informação de Akaike (AIC), que, segundo Xavier (2000), é baseado na teoria da decisão e pode ser definido como:

$$AIC = -2l + 2p, \quad (6)$$

em que  $l$  é o logaritmo natural da função de verossimilhança e  $p$  é o número de parâmetros do modelo considerado. De acordo com este critério o melhor modelo é aquele que apresenta o menor valor de AIC. O valor de AIC é fornecido pelo próprio pacote geoR na função *likfit*. Com os valores de AIC gerados por cada modelo, calcula-se a diferença entre ambos, sendo que se o valor superar 2, pode-se afirmar que os modelos são estatisticamente diferentes (MELLO, 2004).

Para analisar o grau de dependência espacial dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que tem um efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, médio quando está entre 25% e 75% e fraco quando for maior que 75%.

Com os modelos de semivariogramas ajustados elaboraram-se os mapas dos atributos estudados utilizando a interpolação por krigagem.

Para estabelecer níveis de teores foliares nos valores interpolados, foram atribuídos valores -1, 0 e 1, para os níveis baixo, adequado e alto (MALAVOLTA, 1986), respectivamente.

Para testar se os tratamentos diferiram em produtividade e teores foliares, utilizou-se o teste de Mann-Whitney para comparar dois grupos que não apresentam distribuição normal.



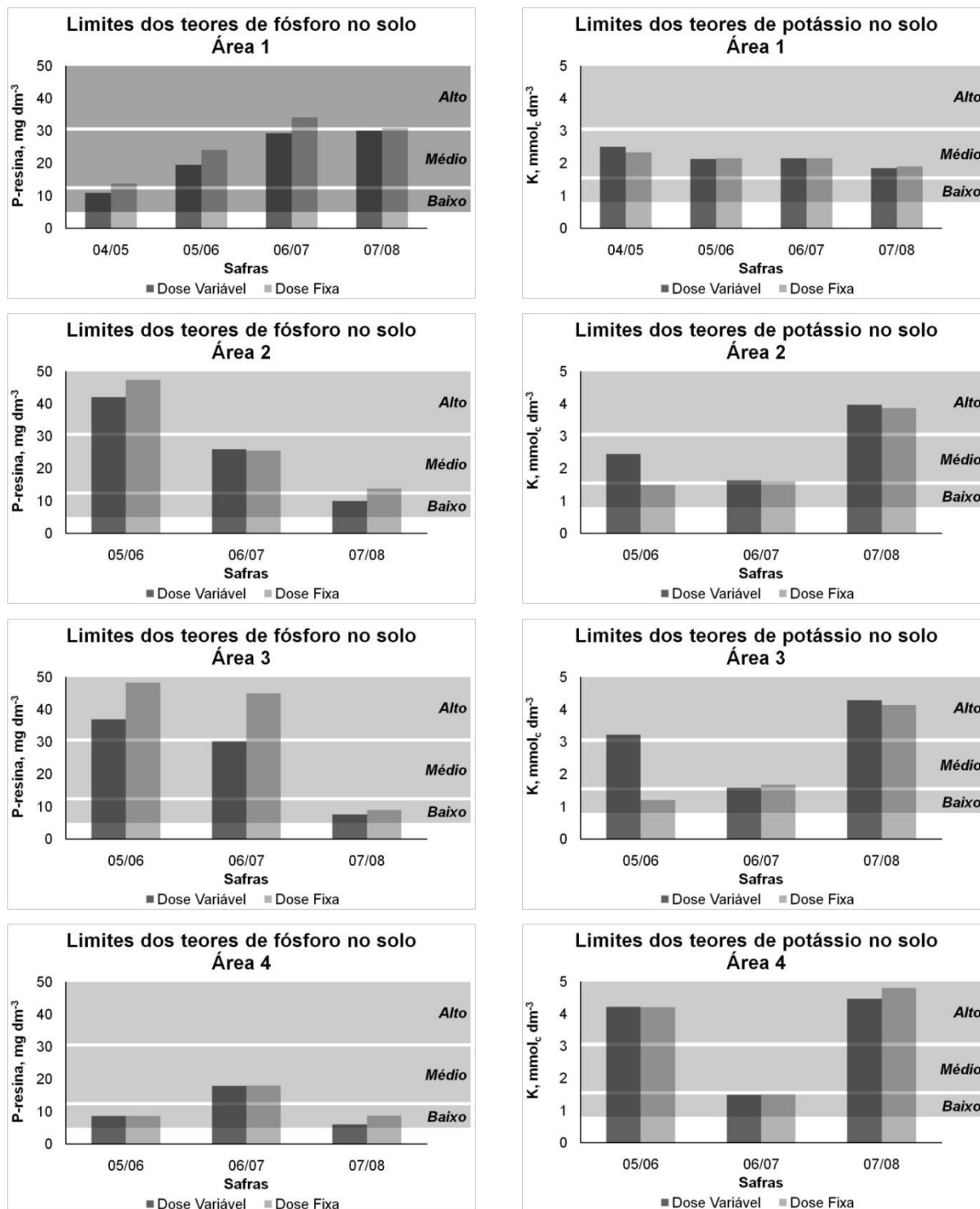
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Teores de fósforo e potássio no solo

Os resultados da análise de solo para os teores de fósforo e potássio, classificados de acordo com Raij et al. (1997), estão apresentados na Figura 6. O teor de fósforo e potássio do tratamento “Dose Variável” expressa a média dos resultados das amostragens georreferenciadas submetidas à análise de laboratório. As quantidades de amostras que compõe essas médias correspondem à densidade amostral descrita na Tabela 2. No tratamento “Dose Fixa” o resultado expressa os teores analisados na amostra composta.

As exigências de fósforo são pequenas quando comparadas com as de nitrogênio e de potássio, diferentemente no plantio e no período de formação do cafezal onde se preconiza formulações relativamente ricas em  $P_2O_5$  (MALAVOLTA, 1986). Entretanto, observam-se na Figura 6, variações nos teores de fósforo no solo ao longo dos anos. Comparando a área 1 com as áreas 2 e 3, verifica-se um comportamento inverso do teor de fósforo no solo em ambos os tratamentos. Na área 1 os teores na safra 04/05 estavam próximos do limite entre baixo e médio, evoluindo na safra 07/08 para próximo do limite entre médio e alto. Já as áreas 2 e 3 tiveram na safra 05/06 limites considerados altos, evoluindo na safra 07/08 para baixo e entre o limite baixo e médio. A área 4 apresentou uma transição nos teores, passando de baixo para médio na safra 06/07 e retornando para baixo na safra 07/08. Esta área é a única onde a bionalidade da produção é diferente das demais, com histórico de maiores produtividades em anos ímpares.

É possível que estes comportamentos estejam relacionados nas diferentes formas de recomendação de fósforo para a adubação. Como foram respeitados os métodos utilizados em cada fazenda, teve-se um método para a área 1 e outro para as áreas 2, 3 e 4. Em algumas culturas, a falta de métodos ou critérios específicos para recomendações de adubação em doses variáveis tem sido um grande entrave na evolução desse manejo.



Notas: Limites estipulados de acordo com Raj et al. (1997).

O teor do Tratamento "Dose Variável" representa a média das amostras analisadas.

Figura 6 – Teores de fósforo e potássio encontrados na análise de solo

As quantidades de potássio nas partes vegetativas, bem como nos frutos do cafeeiro são suficientes para mostrar sua importância na nutrição da planta (MALAVOLTA, 1986). O potássio na área 1 apresentou teores médios no período compreendido entre as safras de 04/05 a 07/08 para ambos os tratamentos. Na safra 05/06 das áreas 2 e 3, ocorreu uma maior variação do teor de potássio entre os tratamentos, com o tratamento “Dose Variável” apresentando teores maiores do que o “Dose Fixa”.

Nas áreas 2, 3 e 4, considerando o tratamento “Dose Variável”, houve uma diminuição, da safra 05/06 para a 06/07, nos teores de potássio encontrados no solo e em seguida um aumento na safra 07/08, atingindo altos teores. Já o tratamento “Dose Fixa” apresentou o mesmo comportamento do tratamento “Dose Variável” somente na área 4. Nas áreas 2 e 3 houve um discreto aumento do teor de potássio no solo comparando as safras 05/06 e 06/07. Nas áreas 2, 3 e 4, safra 06/07, os teores de potássio estavam próximos do limite entre baixo e médio, evoluindo na safra seguinte para alto.

Os parâmetros da análise estatística descritiva e do teste de Shapiro-Wilk para o tratamento “Dose Variável” encontram-se na Tabela 7 para os teores de fósforo e na Tabela 8 para os teores de potássio no solo.

Valores elevados de CV são os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados (FROGBROOK et al., 2002).



Tabela 7 – Parâmetros estatísticos dos teores de fósforo encontrados nas análises de solo

Área	Safr	n <sup>(1)</sup>	Média	Mínimo	Máximo	DP <sup>(2)</sup>	CV <sup>(3)</sup> (%)	W <sup>(4)</sup>
			(P-resina, mg dm <sup>-3</sup> )					
1	04/05	11	10,9	1,0	27,0	8,2	75,2	0,938*
	05/06	11	19,5	14,0	26,0	3,9	20,1	0,957*
	06/07	28	29,3	12,0	49,0	9,7	33,2	0,976*
	07/08	28	30,0	8,0	49,0	10,2	33,9	0,976*
2	05/06	12	42,0	21,0	80,0	19,3	45,9	0,900*
	06/07	23	26,0	13,0	41,0	8,5	32,6	0,933*
	07/08	22	10,0	5,0	15,0	2,9	28,8	0,888
3	05/06	15	37,0	21,0	57,0	9,2	25,0	0,968*
	06/07	20	30,2	20,0	44,0	6,8	22,7	0,954*
	07/08	25	7,6	4,0	15,0	2,6	34,0	0,907
4	05/06	10	8,6	6,0	14,0	2,5	29,1	0,900*
	06/07	20	17,9	12,0	35,0	7,1	39,3	0,791
	07/08	14	6,0	5,0	7,0	0,8	13,1	0,912*

<sup>(1)</sup> Número de pontos considerados após análise exploratória; <sup>(2)</sup> Desvio padrão; <sup>(3)</sup> Coeficiente de variação; <sup>(4)</sup> Estatística de Shapiro-Wilk

\* Os dados vieram de uma distribuição normal ao nível de significância de 5%.

Tabela 8 – Parâmetros estatísticos dos teores de potássio encontrados nas análises de solo

Área	Safr	n <sup>(1)</sup>	Média	Mínimo	Máximo	DP <sup>(2)</sup>	CV <sup>(3)</sup> (%)	W <sup>(4)</sup>
			(K, mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					
1	04/05	11	2,51	1,50	3,60	0,57	22,6	0,967*
	05/06	13	2,13	1,60	2,70	0,34	13,1	0,948*
	06/07	28	2,16	1,4	2,9	0,44	20,6	0,901
	07/08	27	1,85	1,4	2,5	0,29	15,7	0,957*
2	05/06	12	2,45	1,6	4,6	0,76	30,8	0,755
	06/07	23	1,63	0,9	2,6	0,40	24,3	0,968*
	07/08	23	3,97	2,5	4,7	0,62	15,6	0,889
3	05/06	15	3,22	2,3	4,4	0,59	18,4	0,963*
	06/07	23	1,59	1,1	2,0	0,23	14,5	0,970*
	07/08	25	4,28	3,1	5,1	0,63	14,7	0,914
4	05/06	10	4,22	2,6	5,3	0,89	21,1	0,948*
	06/07	20	1,49	1,1	3,5	0,53	35,7	0,642
	07/08	19	4,47	3,7	5,0	0,43	9,6	0,778

<sup>(1)</sup> Número de pontos considerados após análise exploratória; <sup>(2)</sup> Desvio padrão; <sup>(3)</sup> Coeficiente de variação; <sup>(4)</sup> Estatística de Shapiro-Wilk

\* Os dados vieram de uma distribuição normal ao nível de significância de 5%.

Segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), a área 1, safra 04/05, teve um CV alto para os teores de fósforo no tratamento “Dose Variável”, coerente com valores encontrados por alguns autores (MOLIN et al., 2006; SANCHEZ et al., 2005; SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2008; SOUZA, 2006) que, segundo Silva et al. (2008), é devido, provavelmente, aos efeitos residuais de adubações anteriores, haja vista que este elemento apresenta baixa mobilidade. Com exceção da safra 04/05 na área 1, todos as outras áreas e safras apresentaram valores de CV médios dos teores de fósforo.

Para o teor de potássio no tratamento “Dose Variável” também houve uma exceção no CV, enquanto todas as áreas apresentaram um CV médio, a área 4, safra 07/08, apresentou um CV baixo. Valores de CV médios do teor de potássio no solo também foram encontrados por diversos autores (MOLIN et al., 2006; SANCHEZ et al., 2005; SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2008; SOUZA, 2006).

Os dados que não se ajustaram à distribuição normal foram transformados pelo valor de lambda ( $\lambda$ ) encontrado na função de transformação Box-Cox; desta forma foi possível proceder com a análise geoestatística. Os parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas encontram-se na Tabela 9 para os teores de fósforo e na Tabela 10 para os teores de potássio, ambos do tratamento “Dose Variável”.

Tabela 9 – Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos teores de fósforo no solo do tratamento “Dose Variável”

Área	Safra	Modelo	$C_0^{(1)}$	$C_1^{(2)}$	$a \text{ (m)}^{(3)}$	$GD\%^{(4)}$
1	04/05	Esférico	0,95	7,60	116,7	11 ***
	05/06	Esférico	115,06	230,11	137,5	33 **
	06/07	Esférico	27,50	79,08	119,4	26 **
	07/08	Esférico	15,46	119,81	93,2	11 ***
2	05/06	Esférico	76,30	268,09	90,4	22 ***
	06/07	Esférico	25,61	35,86	77,8	42 **
	07/08	Esférico	0,05	0,07	93,3	42 **
3	05/06	Esférico	22,26	60,18	111,0	27 **
	06/07	Esférico	0,02	0,04	114,3	33 **
	07/08	Esférico	0,06	0,07	103,9	46 **
4	05/06	Esférico	0,983	5,3	142,1	16 ***
	06/07	Esférico	0,53	0,91	109,1	37 **
	07/08	Esférico	0,003	0,001	105,2	75 **

<sup>(1)</sup> Efeito pepita; <sup>(2)</sup> Patamar parcial; <sup>(3)</sup> Alcance; <sup>(4)</sup> Grau de dependência espacial.

Nota: Segundo Cambardella et al. (1994):

\* Dependência espacial fraca.

\*\* Dependência espacial média.

\*\*\* Dependência espacial forte.

Tabela 10 – Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos teores de potássio no solo do tratamento “Dose Variável”

Área	Safra	Modelo	$C_0^{(1)}$	$C_1^{(2)}$	$a (m)^{(3)}$	$GD\%^{(4)}$
1	04/05	Esférico	0,07	0,54	99,2	11 ***
	05/06	Esférico	0,27	0,27	121,5	50 **
	06/07	Esférico	0,03	0,06	110,1	33 **
	07/08	Esférico	0,006	0,05	93,2	11 ***
2	05/06	Esférico	0,16	0,43	150,7	17 ***
	06/07	Esférico	0,07	0,12	108,9	37 **
	07/08	Esférico	51,35	1.797,30	124,4	03 ***
3	05/06	Esférico	0,072	0,25	97,7	22 ***
	06/07	Esférico	0,03	0,11	155,9	21 ***
	07/08	Esférico	590,27	1.131,35	93,5	34 **
4	05/06	Esférico	0,15	0,69	131,9	18 ***
	06/07	Esférico	0,002	0,01	124,7	17 ***
	07/08	Esférico	2.680,92	20.777,16	105,2	11 ***

<sup>(1)</sup> Efeito pepita; <sup>(2)</sup> Patamar parcial; <sup>(3)</sup> Alcance; <sup>(4)</sup> Grau de dependência espacial.

Nota: Segundo Cambardella et al. (1994):

\* Dependência espacial fraca.

\*\* Dependência espacial média.

\*\*\* Dependência espacial forte.

O modelo matemático esférico é o que predomina nos trabalhos em ciência do solo (GREGO; VIEIRA, 2005). McBratney e Webster (1986) estudaram modelos de ajuste do semivariograma para os atributos do solo e relataram que os modelos esféricos e exponenciais são os mais encontrados. Nas áreas em estudo, o modelo esférico foi ajustado em todos os semivariogramas dos teores de fósforo e potássio no solo. A área 4, safra 07/08, foi a única que apresentou o grau de dependência espacial (GD%) no limite entre médio e fraco para o teor de fósforo (Tabela 9).

A distribuição dos teores de fósforo e potássio no espaço não é aleatória, uma vez que todos apresentaram valores moderados ou fortes para o grau de dependência

espacial, conforme estabelecido pela relação  $C_0/(C_0+C_1)$ . Principalmente na área 1, o aumento da densidade amostral dos teores de fósforo e potássio do solo nas safras subsequentes, melhorou a estimativa do modelo, principalmente na determinação da variação dos teores ao acaso.

Os mapas interpolados que serviram para o cálculo da recomendação de adubação de fósforo e potássio no tratamento “Dose Variável” estão apresentados nas Figuras 7 e 8.

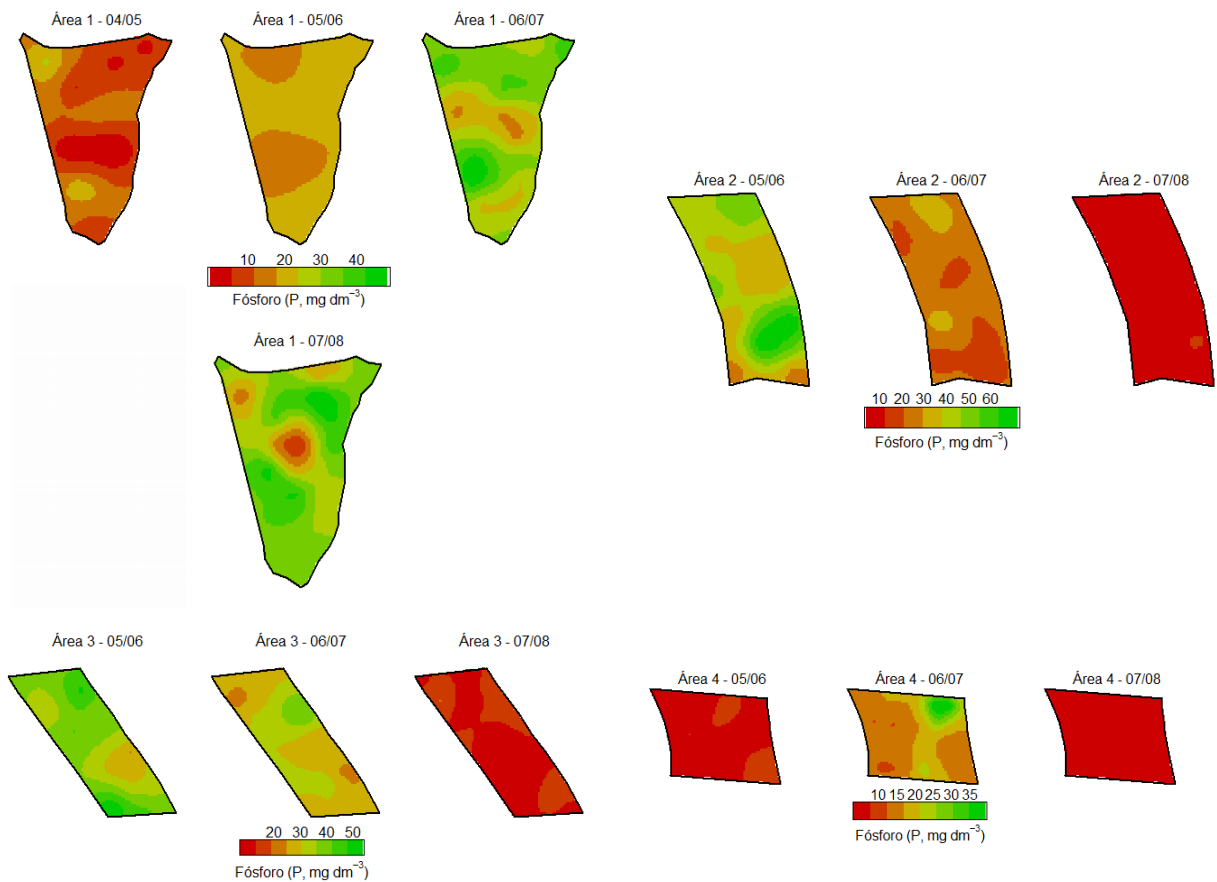


Figura 7 – Mapas interpolados dos teores de fósforo no solo do tratamento “Dose Variável” para todas as áreas experimentais

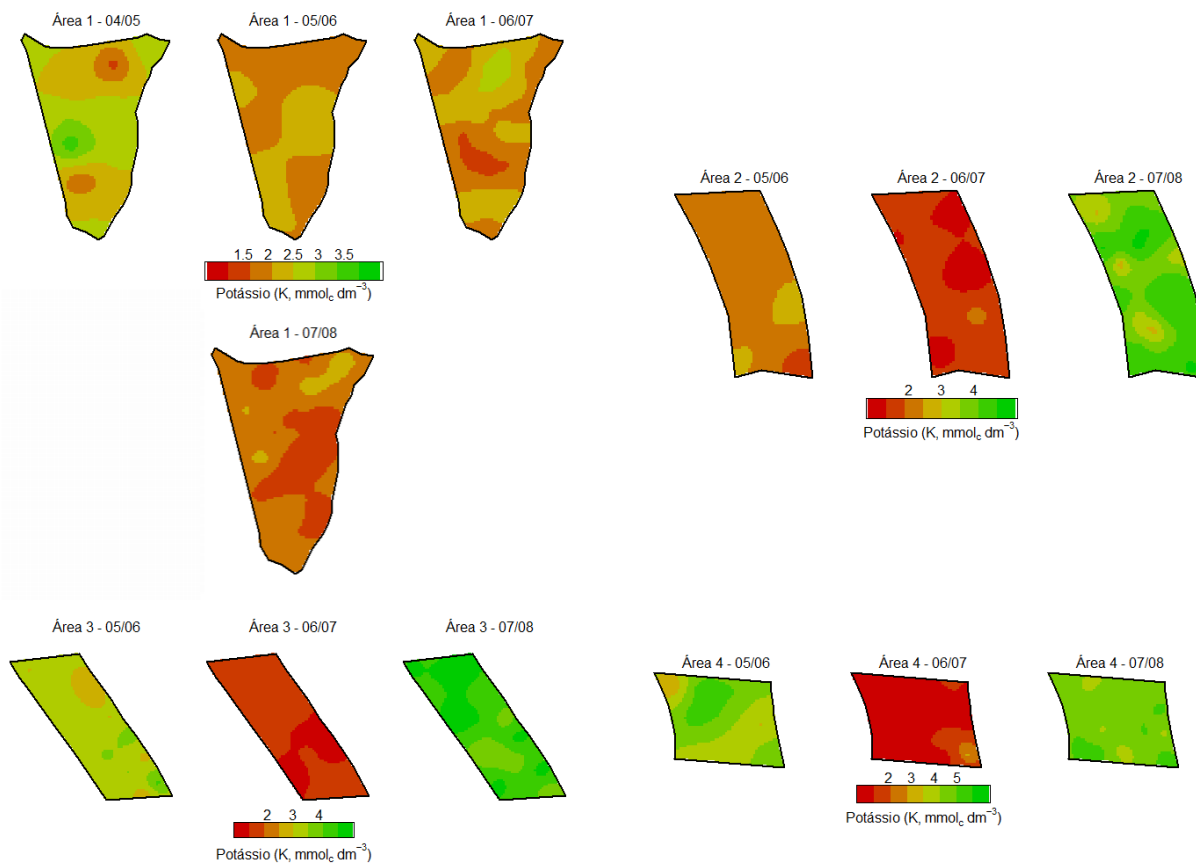


Figura 8 – Mapas interpolados dos teores potássio no solo do tratamento “Dose Variável” para todas as áreas experimentais

Nestes mapas é possível observar e acompanhar a evolução dos teores de fósforo e potássio ao longo das safras e visualizar sua variabilidade espacial.

## 4.2 Recomendação de adubação

Nas Figuras 9, 10 e 11 podem-se observar as quantidades de nitrogênio, fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) recomendadas nos tratamentos. Para o tratamento “Dose Variável” a quantidade representa a média das dosagens contidas no mapa de aplicação.

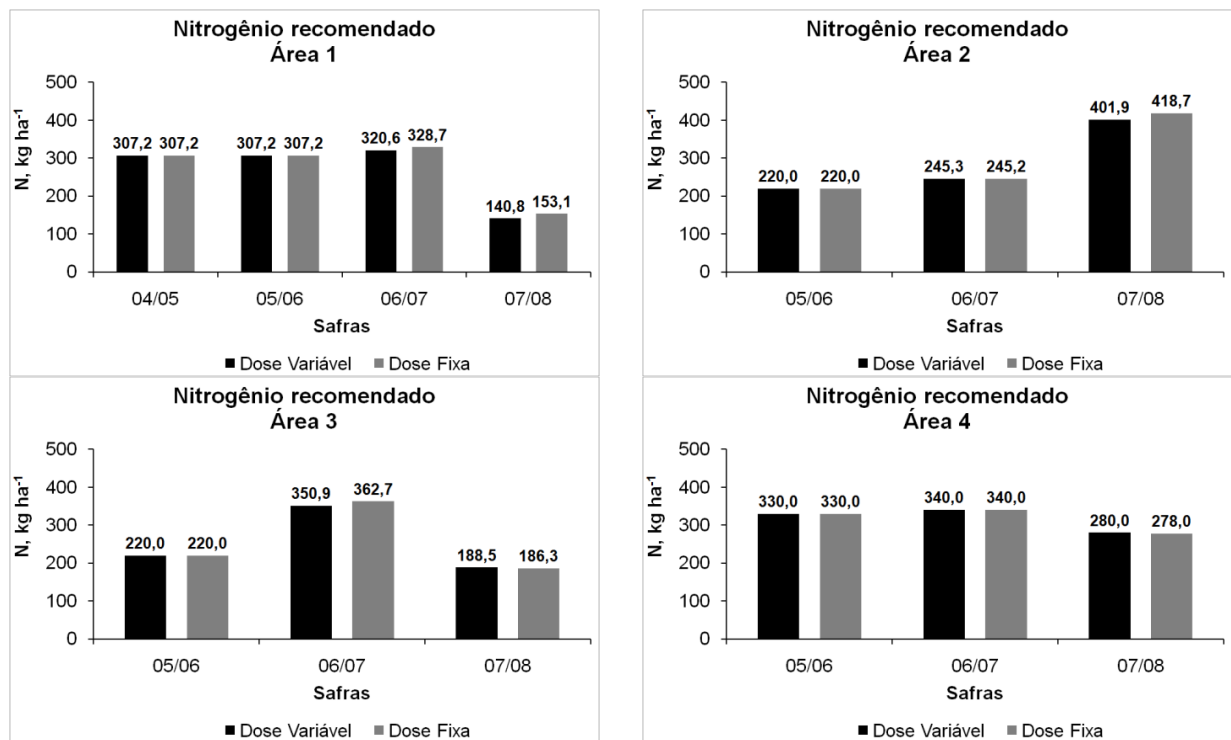


Figura 9 – Quantidade total do nutriente nitrogênio (N) recomendada para as adubações

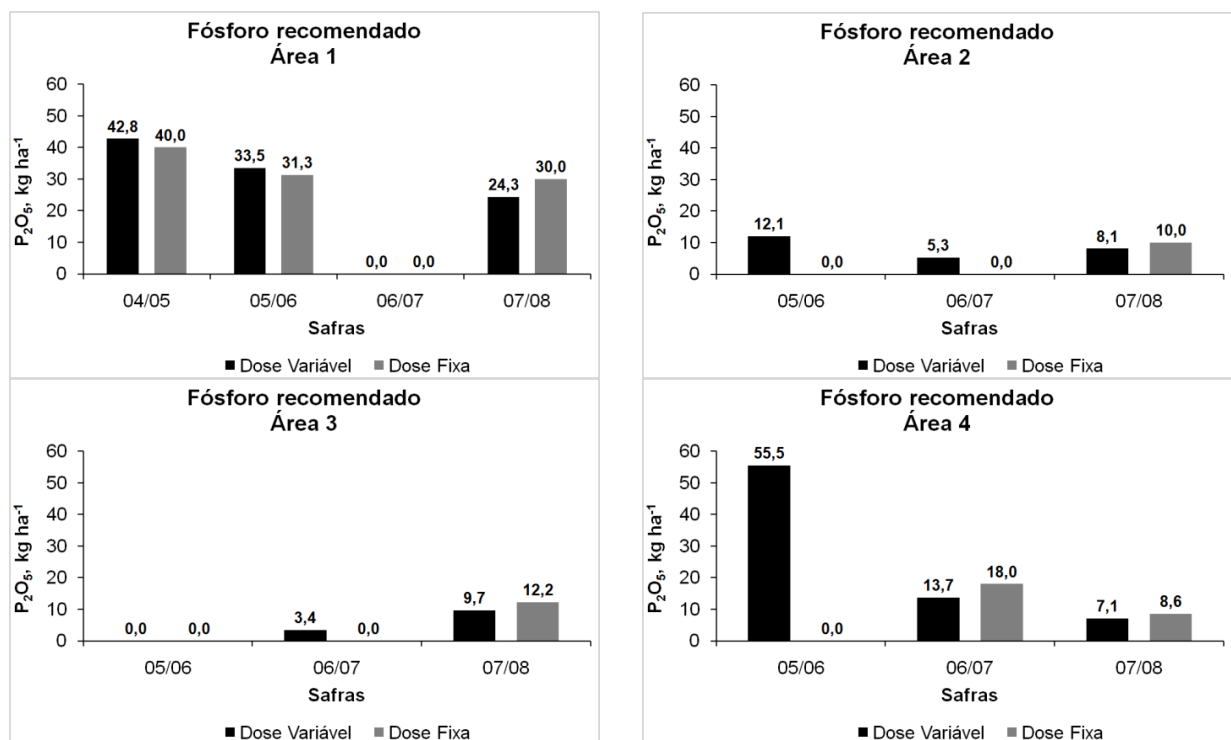


Figura 10 – Quantidade total do nutriente fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) recomendada para as adubações



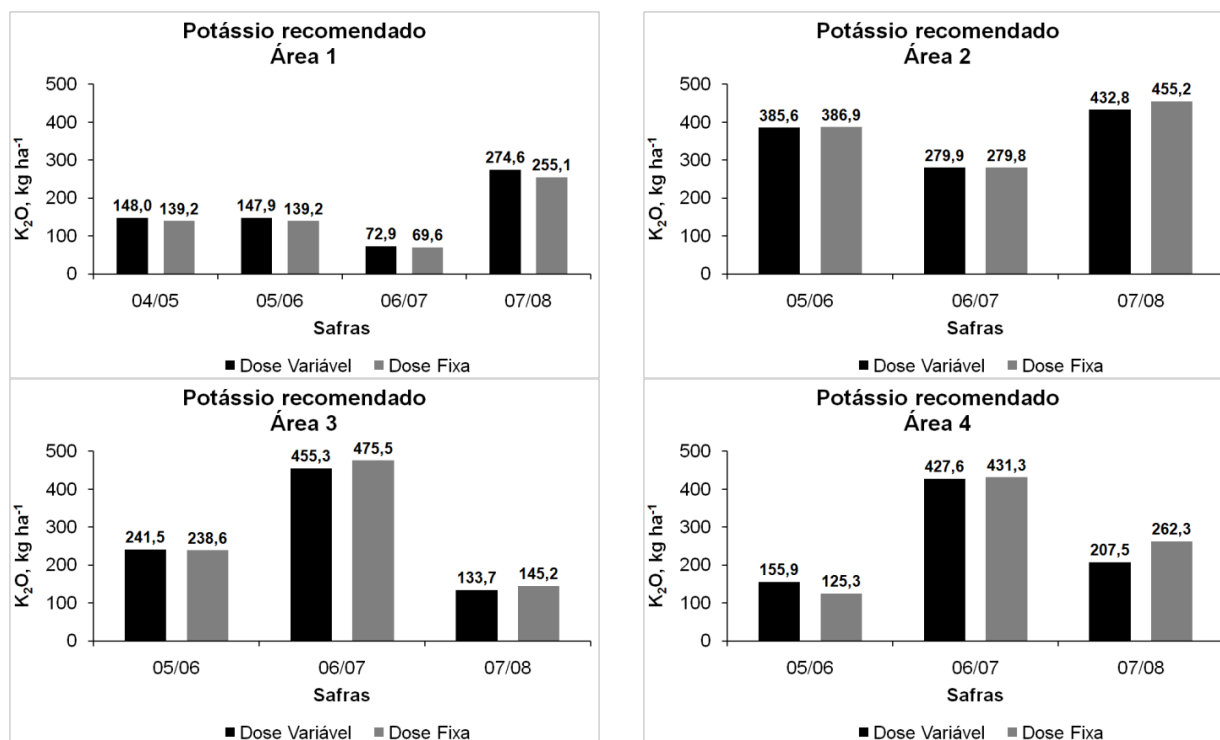


Figura 11 – Quantidade total do nutriente potássio (K<sub>2</sub>O) recomendada para as adubações

Durante a condução do experimento ocorreram ajustes nas adubações e nos parcelamentos das doses, sempre aplicando entre os tratamentos a igualdade nos ajustes. Esses ajustes levaram em consideração o início do período chuvoso, época em que se iniciam as adubações. Também foi considerado o regime de chuva no período das adubações, pois sua escassez ou seus excessos adiaram ou retardaram algumas aplicações, incorrendo na diminuição ou aumento do número de parcelamentos previstos. Outro entrave neste período, quando ocorreram os ajustes, foi administrar a logística de deslocamento da adubadora entre as fazendas, localizadas a aproximadamente 700 km de distância.

Na área 1 houve uma diminuição no número de parcelamentos da adubação de nitrogênio nas safras 04/05, 06/07 e 07/08. Na safra 04/05, optou-se por parcelar em cinco vezes o nitrogênio, mantendo a dosagem total recomendada. Já na safra 06/07 foram feitas cinco aplicações de uréia das seis estimadas, acrescentando na última parcela 30% da dose recomendada por parcela. E finalmente, na safra 07/08 não houve a quinta e nem a sexta parcela, optando por acrescentar na quarta aplicação 50% da

dosagem inicial de nitrogênio recomendada por parcelamento. Para o potássio, houve um parcelamento a mais do que o previsto para a safra 07/08, mantendo a mesma dosagem dos dois parcelamentos anteriores, isto é, um aumento de 50% na dosagem total recomendada de cloreto de potássio, decorrente da sugestão do técnico responsável, com base nas interpretações das análises foliares desta área. Como resultado observa-se na Figura 11, safra 07/08, um aumento na quantidade recomendada.

Nas áreas 2 e 3, safra 05/06, foram feitos ajustes nos parcelamentos da adubação com potássio, alterando de três parcelamentos para dois. Porém por problemas climáticos e de logística não houve a aplicação deste nutriente. Isto causou um declínio nos níveis de potássio no solo no tratamento “Dose Variável”, comparando as safras de 05/06 e 06/07, já o tratamento “Dose Fixa” teve um ligeiro aumento nos seus teores (Figura 6). Pelo mesmo motivo o fósforo também não foi aplicado, prejudicando apenas o tratamento “Dose Variável” da área 2, o único que tinha uma recomendação de  $12,1 \text{ kg ha}^{-1}$  de fósforo.

Observa-se na Figura 9 que na área 1, safras 04/05 e 05/06, áreas 2 e 3, safra 05/06, e na área 4, safras 05/06 e 06/07, não houveram diferenças nas dosagens recomendadas de nitrogênio entre os tratamentos. Este fato ocorreu, pois a recomendação de adubação leva em consideração uma estimativa da produção para a safra e como não haviam mapas de colheitas anteriores não foi possível estimar a produção nos locais georreferenciados no tratamento “Dose Variável”, utilizando apenas a produção média da área para o cálculo da recomendação de nitrogênio, não obtendo, assim, doses variáveis. Quando foi utilizada a produção georreferenciada na estimativa da recomendação de nitrogênio, essa era do biênio anterior. Por este motivo, na área 4 no tratamento “Dose Variável”, só foi possível obter uma recomendação variável de nitrogênio na safra 07/08, pois não haviam colheitas monitoradas antes da safra 05/06.

### 4.3 Produtividade

A desuniformidade da maturação, consequência de floradas sucessivas (RENA; MAESTRI, 1986), tem sido uma preocupação constante na colheita, principalmente quando se trata da qualidade da bebida. Para garantir uma melhor qualidade do produto, a colheita deve ser iniciada quando a maior parte dos frutos estiver madura. O ideal é que a porcentagem de frutos verdes não seja superior a 5%, pois uma porcentagem maior pode prejudicar a qualidade da bebida e influir no peso final do produto (NOGUEIRA, 1986). A maior ou menor facilidade de derriça dos grãos está associada ao estágio de maturação dos frutos. Na fase inicial de colheita, quando grande parte dos grãos se encontram com coloração verde e verde passando para o vermelho, a colhedora terá menor eficiência de derriça dos frutos (QUEIROZ et al., 2001), prejudicando também a qualidade do café (SILVA et al., 2006).

Na Tabela 11 são apresentados os valores do fator renda ( $F_r$ ) utilizados na conversão do volume colhido (L) para massa beneficiada (kg).

Tabela 11 – Valores do fator renda ( $F_r$ ) utilizados na conversão do volume colhido para a massa beneficiada

Safr	Área 1		Área 2		Área 3		Área 4	
	DV <sup>(1)</sup>	DF <sup>(2)</sup>	DV	DF	DV	DF	DV	DF
Fator renda ( $F_r$ )								
04/05	0,1436	0,1503	-	-	-	-	-	-
05/06	0,1340	0,1252	0,1104	0,1139	0,1122	0,1230	0,1214	0,1215
06/07	0,1382	0,1464	0,0135	0,0125	0,0069	0,0075	0,1314	0,1320
07/08	0,1694	0,1717	0,1211	0,1209	0,1407	0,1444	0,1546	0,1463

<sup>(1)</sup> tratamento “Dose Variável”; <sup>(2)</sup> tratamento “Dose Fixa”

Nas áreas 2 e 3, safra 06/07, o fator renda de ambos os tratamentos apresentou valores bem abaixo do restante, consequência de uma colheita tardia. No contexto da bienalidade da produção, estas áreas apresentaram baixa produtividade nesta safra,

fazendo com que a logística das colhedoras na fazenda priorizasse a colheita de áreas com alta produtividade.

Os registros dos sensores do monitor de colheita implicam em erros não sistemáticos que devem ser identificados e removidos. Nas Figuras 12, 13, 14 e 15, é apresentada a distribuição dos dados de produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) da área 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

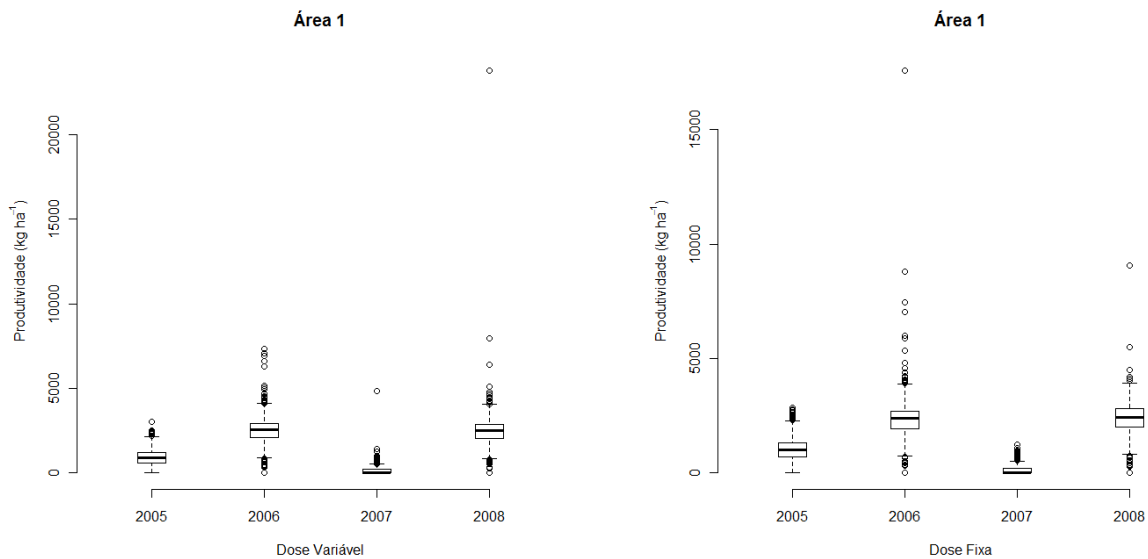


Figura 12 – Gráficos “Box Plot” da produtividade mensurada com o monitor de colheita na área 1 para ambos os tratamentos

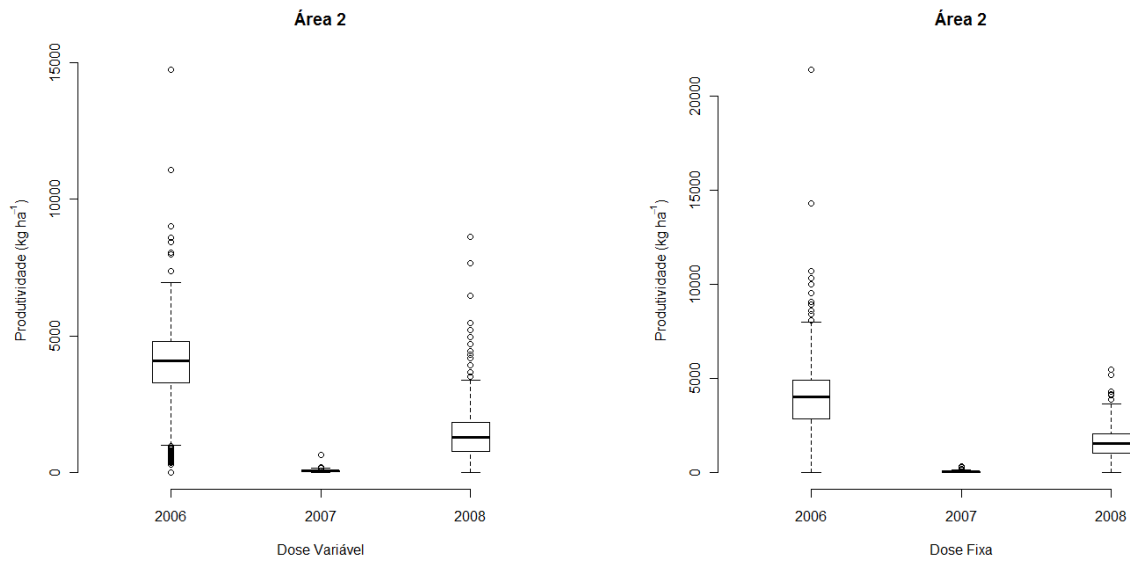


Figura 13 – Gráficos “Box Plot” da produtividade mensurada com o monitor de colheita na área 2 para ambos os tratamentos

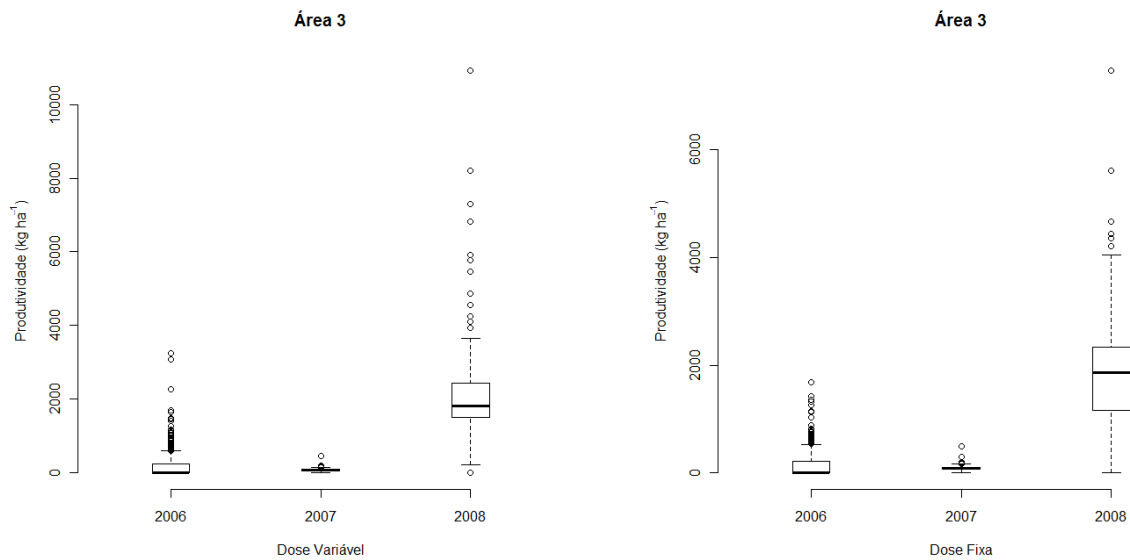


Figura 14 – Gráficos “Box Plot” da produtividade mensurada com o monitor de colheita na área 3 para ambos os tratamentos

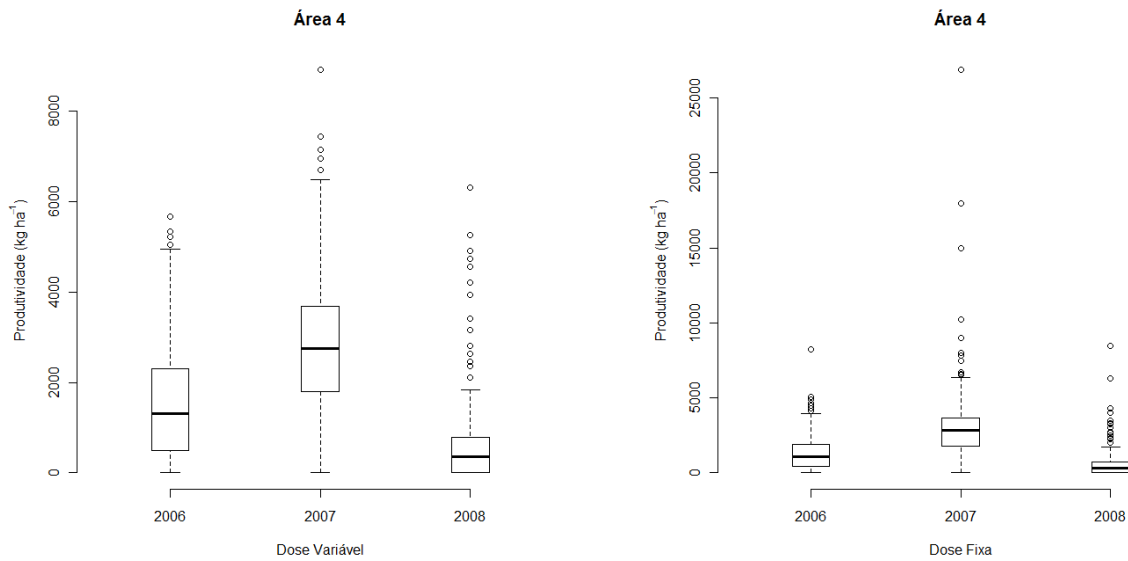


Figura 15 – Gráficos “Box Plot” da produtividade mensurada com o monitor de colheita na área 4 para ambos os tratamentos

O monitor de colheita instalado nas colhedoras registra os dados com intervalos definidos de 10 segundos, integrando em cada registro o volume contabilizado entre estes intervalos. Nas safras com baixa produção por planta em função da bienalidade, há um grande número de registros nulos que foram removidos após a sua identificação na análise exploratória. Quanto ao limite superior da produtividade nas áreas, não é trivial estabelecer o ponto correto de corte, que é o limite entre produtividade real e produtividade irreal, ocasionada por erros no monitor. Sendo assim, utilizou-se a metodologia proposta por Tukey (1977), onde foram eliminados os registros das produtividades classificadas como discrepantes. A alta densidade de registros de produtividade que o monitor armazena dá uma segurança extra nas exclusões desses registros de produtividade.

A estatística descritiva dos dados de produtividade em todas as áreas após a análise exploratória e remoção dos dados discrepantes encontra-se na Tabela 12.

Tabela 12 – Parâmetros estatísticos dos dados de produtividade (continua)

Safr	Trat. <sup>(1)</sup>	n <sup>(2)</sup>	Média	Mín. <sup>(3)</sup>	Máx. <sup>(4)</sup>	DP <sup>(5)</sup>	CV <sup>(6)</sup> (%)	Ass. <sup>(7)</sup>	Curt. <sup>(8)</sup>
			(kg ha <sup>-1</sup> )						
Área 1									
04/05	DV <sup>(9)</sup>	2.310	967	210	2.140	418,6	43,3	0,39	-0,41
	DF <sup>(10)</sup>	2.380	1.022	235	2.210	433,3	42,4	0,31	-0,47
05/06	DV	3.572	2.528	1.009	3.983	578,0	22,9	0	-0,35
	DF	3.562	2.349	977	3.722	527,7	22,5	-0,03	-0,29
06/07	DV	720	289	170	677	126,1	43,6	1,14	0,20
	DF	633	311	171	722	140,0	45,1	0,99	-0,15
07/08	DV	2.054	2.504	1.035	3.967	549,2	21,9	-0,15	-0,18
	DF	1.354	2.447	1.049	3.809	513,7	21,0	-0,15	-0,21
Área 2									
05/06	DV	3.476	4.121	1.282	6.964	1.094,1	26,6	-0,10	-0,20
	DF	3.791	4.134	893	7.374	1.286,0	31,1	-0,06	-0,24
06/07	DV	1.838	65	22	156	30,0	45,9	0,53	-0,33
	DF	1.238	63	16	145	30,6	48,6	0,48	-0,49
07/08	DV	1.190	1.396	196	3.332	678,5	48,6	0,59	-0,12
	DF	1.711	1.583	196	3.522	666,0	42,1	0,31	-0,35
Área 3									
05/06	DV	574	227	177	295	26,8	11,8	0,64	-0,35
	DF	366	215	169	259	17,9	8,3	0,48	-0,17
06/07	DV	2.521	74	12	155	29,1	39,6	0,21	-0,47
	DF	1.567	84	8	162	30,4	36,1	0,10	-0,35
07/08	DV	1.984	1.942	228	3.644	642,0	33,1	0,07	-0,12
	DF	1.875	1.939	156	3.739	721,2	37,2	-0,25	-0,03

Tabela 12 – Parâmetros estatísticos dos dados de produtividade (conclusão)

		Área 4							
05/06	DV	1.767	1.717	258	4.858	1.058,0	61,6	0,60	-0,46
	DF	1.690	1.448	306	3.961	853,0	58,9	0,72	-0,22
06/07	DV	2.589	2.818	425	6.305	1.239,8	44,0	0,20	-0,51
	DF	1.995	2.828	345	6.281	1.220,9	43,2	0,20	-0,45
07/08	DV	760	734	210	1.839	440,2	59,9	0,75	-0,45
	DF	727	682	199	1.740	395,3	58,0	0,74	-0,32

<sup>(1)</sup> Tratamentos aplicados; <sup>(2)</sup> Número de pontos amostrados; <sup>(3)</sup> Valores mínimos encontrados; <sup>(4)</sup> Valores máximos encontrados; <sup>(5)</sup> Desvio padrão; <sup>(6)</sup> Coeficiente de variação; <sup>(7)</sup> Coeficiente de assimetria; <sup>(8)</sup> Coeficiente de curtose; <sup>(9)</sup> Tratamento “Dose Variável”; <sup>(10)</sup> Tratamento “Dose Fixa”.

Apenas a safra 05/06 da área 3 apresentou baixo coeficiente de variação, segundo a classificação de Warrick e Nielsen (1980). Apesar de corresponder a uma safra com alta produtividade em relação à safra anterior, as produtividades médias foram baixas e quase se aproximaram às da safra 06/07. Na safra 05/06 da área 3 ocorreu uma poda nas plantas, chamada de “*decote*”, que consiste no corte do tronco a uma altura aproximada de 1,50 a 1,80 m, justificando estas baixas produtividades.

Na safra 07/08 das áreas 1 e 2, houve uma diferença considerável entre o número de pontos amostrados de cada tratamento, função da perda parcial dos dados no monitor de colheita durante o processo de colheita. Na área 1 as perdas aconteceram no tratamento “Dose Fixa” e na área 2 foram no tratamento “Dose Variável” (Figura 16).



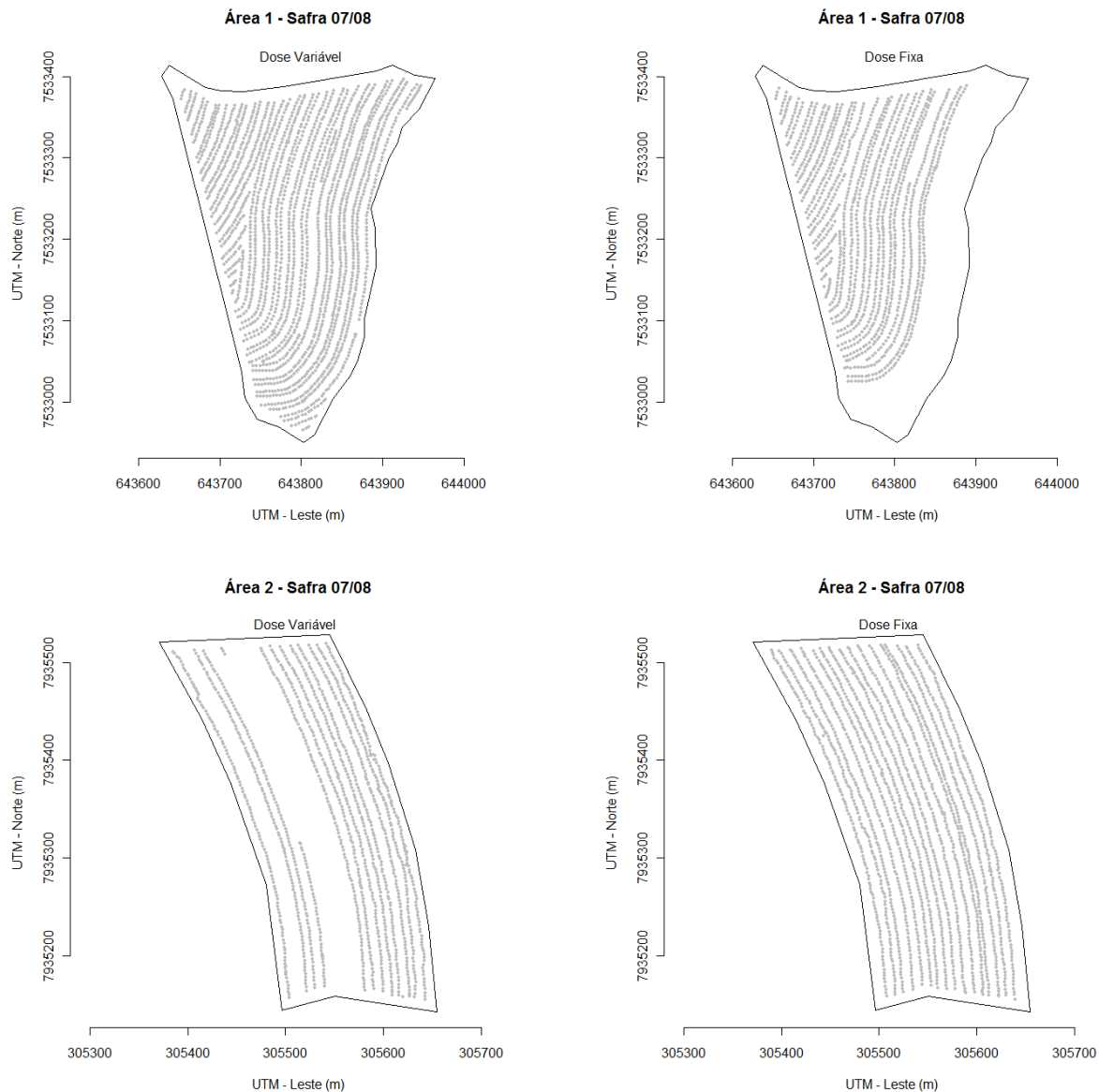


Figura 16 – Registros de pontos de produtividade de cada tratamento armazenados no monitor de colheita da colhedora nas áreas 1 e 2

Estes registros perdidos podem ocasionar uma diminuição na confiabilidade das estimativas da produtividade nessas regiões. Os semivariogramas da produtividade e seus ajustes, assim como o grau de dependência espacial encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13 – Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas da produtividade

(continua)

Área	Safra	Tratamento	Modelo	$C_0^{(1)}$	$C_1^{(2)}$	$a (m)^{(3)}$	$GD\%^{(4)}$	
1	04/05	DV	Esférico	594,8	191,8	172,5	75,6*	
		DF	Esférico	613,2	142,6	95,9	81,1*	
	05/06	DV	Exponencial	2,7e+05	5,8e+04	56,8	82,6*	
		DF	Esférico	2,5e+05	2,2e+04	71,3	91,8*	
	06/07	DV	Esférico	4,6e+07	1,5e+07	39,0	75,0**	
		DF	Esférico	1,4e+06	8,1e+05	39,0	63,9**	
	07/08	DV	Exponencial	2,2e+05	4,9e+04	80,9	82,1*	
		DF	Exponencial	1,6e+05	9,0e+04	56,0	64,4**	
	2	05/06	DV	Esférico	7,2e+05	4,6e+05	84,5	61,1**
			DF	Esférico	2,1e+05	5,5e+04	110,5	79,5*
06/07		DV	Esférico	2,0	0,8	131,3	70,4**	
		DF	Esférico	6,1	0,9	225,2	87,6*	
07/08		DV	Esférico	115,8	277,9	162,4	29,4**	
		DF	Esférico	517,8	949,2	155,9	35,3**	
3		05/06	DV	Esférico	2,5e-12	2,6e-12	97,5	49,5**
			DF	Esférico	4,0e-08	1,0e-07	84,5	28,6**
	06/07	DV	Esférico	70,0	35,0	148,1	66,7**	
		DF	Esférico	177,9	59,2	147,5	75,0**	
	07/08	DV	Exponencial	3,4e+05	6,6e+04	116,8	83,8*	
		DF	Esférico	1,4e+06	1,1e+06	148,1	55,6**	

Tabela 13 – Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas da produtividade  
(conclusão)

05/06	DV	Exponencial	22,9	51,1	33,3	30,9**
	DF	Exponencial	6,3	6,9	20,9	47,5**
4 06/07	DV	Exponencial	7,9e+03	4,7e+03	69,1	62,4**
	DF	Exponencial	8,9e+05	6,6e+05	43,7	57,6**
07/08	DV	Exponencial	2,1e-01	1,8e-01	57,3	53,9**
	DF	Exponencial	2,1e-01	1,5e-01	27,3	58,7**

<sup>(1)</sup> Efeito pepita; <sup>(2)</sup> Patamar parcial; <sup>(3)</sup> Alcance; <sup>(4)</sup> Grau de dependência espacial.

Nota: Segundo Cambardella et al. (1994): \* Dependência espacial fraca; \*\* Dependência espacial média; \*\*\* Dependência espacial forte.

Os semivariogramas da produtividade se ajustaram aos modelos esférico e exponencial. Apenas a área 2 teve seus semivariogramas ajustados unicamente ao modelo esférico e a área 4 ao modelo exponencial. O grau de dependência espacial não se mostrou forte em nenhum modelo, diferentemente de Souza (2006), que amostrando a produtividade em espaçamentos regulares de 15 m na transeção e 16 m entre transeções, relatou em seus estudos ter encontrado dependência espacial forte para a produtividade em duas safras conduzidas em sistemas de manejo convencional e orgânico, com os semivariogramas ajustados ao modelo Gaussiano. Silva et al. (2008), amostrando frutos de quatro plantas em torno dos pontos de cruzamento de uma malha amostral de 25 m para o cálculo da produtividade média por planta, também encontraram uma forte dependência espacial para a produtividade de duas safras do cafeeiro, com ajustes esféricos de seus modelos.

Com a modelagem dos semivariogramas foi possível estimar por interpolação as produtividades em locais não amostrados e padronizar o número de pontos de produtividade por área para posterior análise e concluir se as produtividades obtidas em cada tratamento se diferem.

Nas Figuras 17 a 20 pode-se observar a variabilidade espacial da produtividade nos mapas interpolados pelo método da krigagem ordinária, para as quatro áreas.

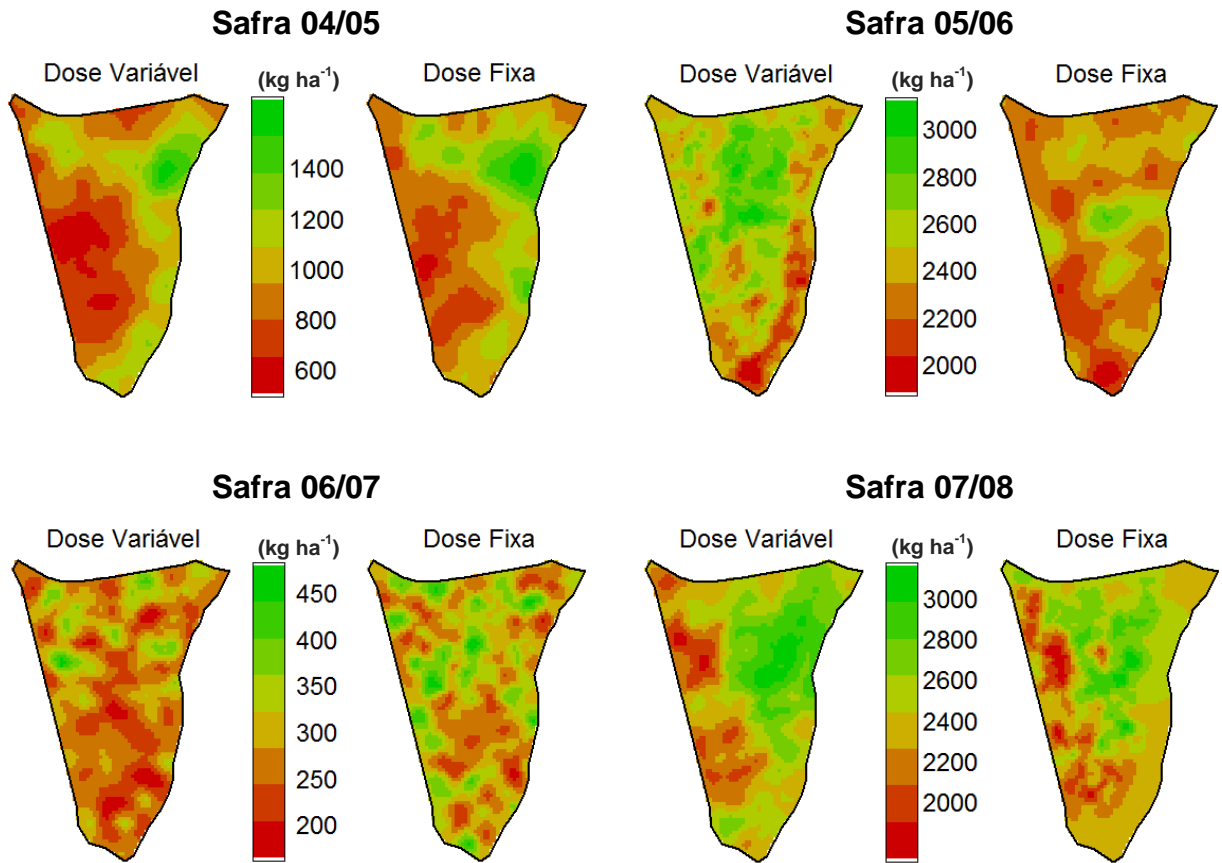


Figura 17 – Mapas interpolados da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na área 1 para ambos os tratamentos e para os três ciclos

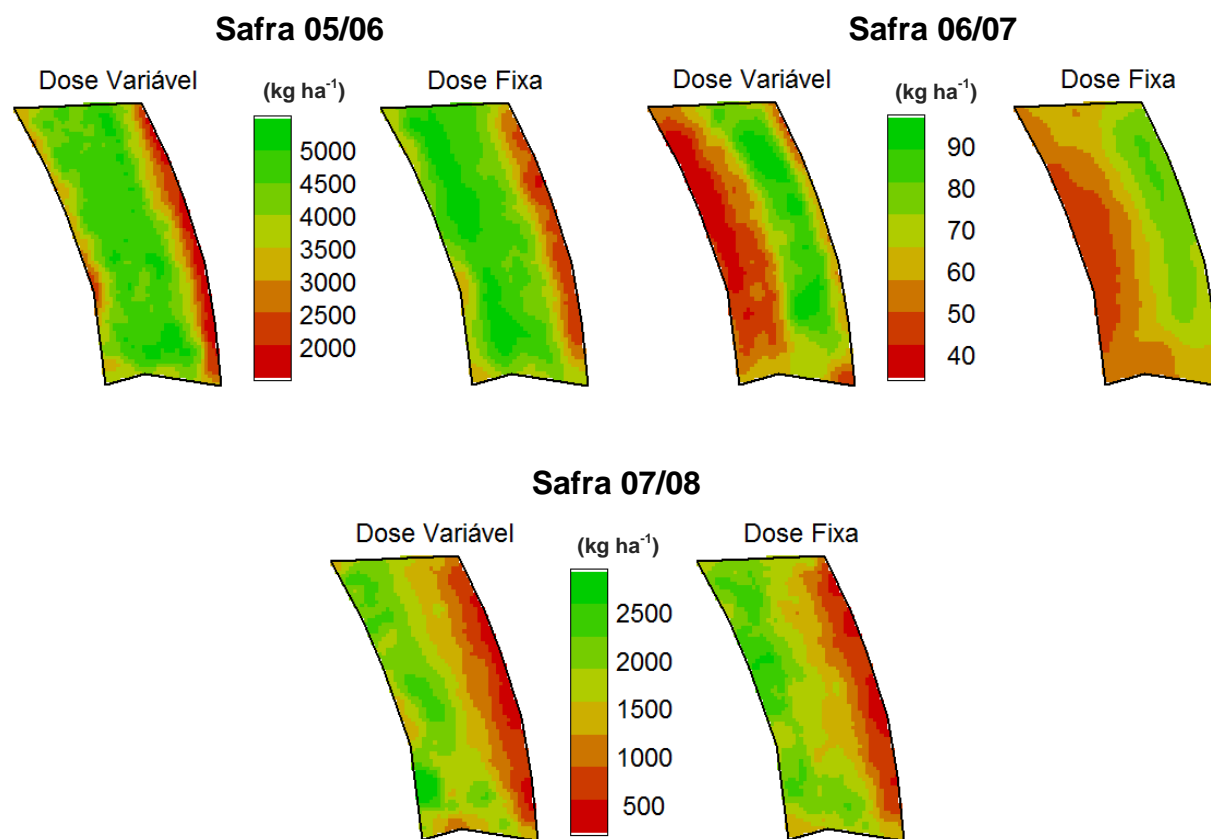


Figura 18 – Mapas interpolados da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na área 2 para ambos os tratamentos e para os três ciclos

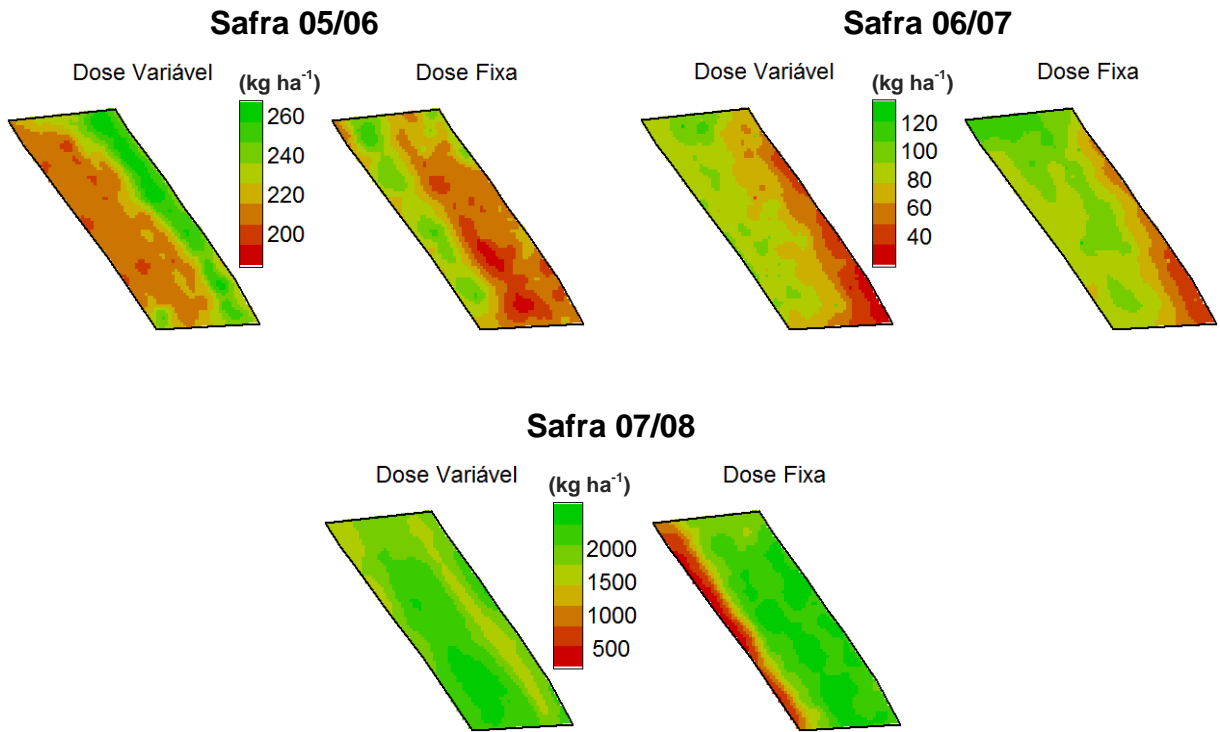


Figura 19 – Mapas interpolados da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na área 3 para ambos os tratamentos e para os três ciclos

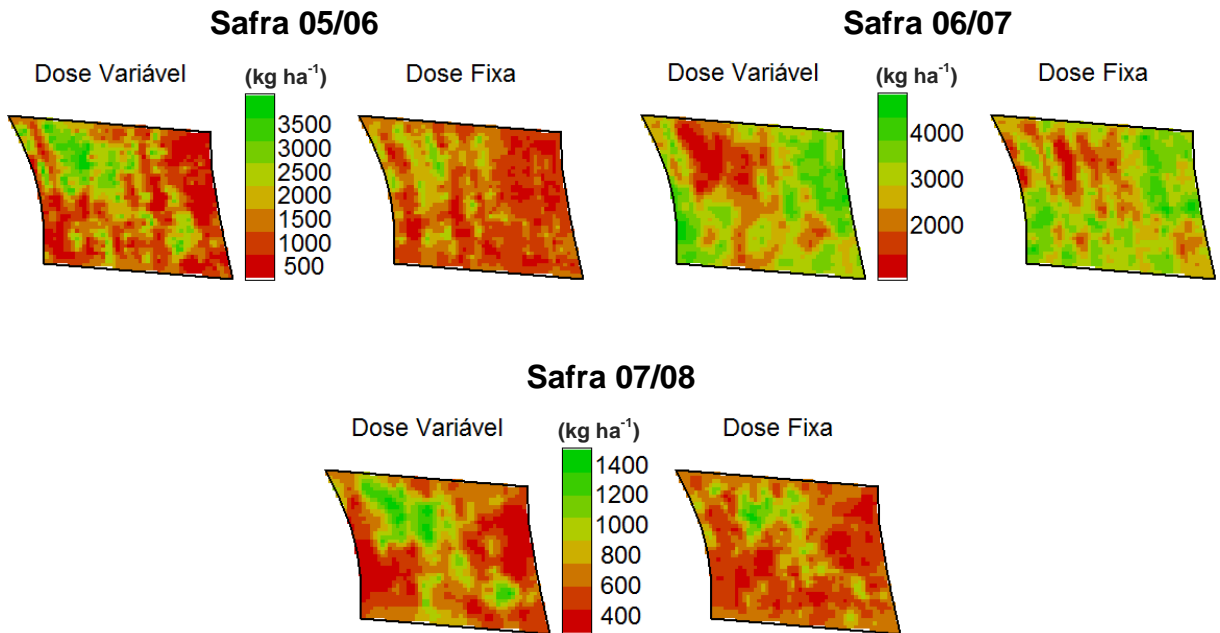


Figura 20 – Mapas interpolados da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na área 4 para ambos os tratamentos e para os três ciclos

Utilizando as produtividades interpoladas de cada área e para cada tratamento montou-se um resumo das médias obtidas e a diferença de produtividade levando em consideração o tratamento “Dose Variável” (Tabela 14). Pode-se observar neste resumo o teste de Mann-Whitney, com os respectivos valores de  $p$ . Este teste foi utilizado, pois as produtividades não apresentaram distribuição normal, de acordo com o teste de Shapiro-Wilk ao nível de significância de 5%.

Tabela 14 – Médias das produtividades entre os tratamentos e resultados do teste de Mann-Whitney para as áreas em estudo

Área	Safr	Médias (kg ha <sup>-1</sup> )		DV <sup>(1)</sup> - DF <sup>(2)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	U <sup>(3)</sup>	p-valor
		DV	DF			
1	04/05	953	1.017	-64	4805716	< 2,2e-16 *
	05/06	2.519	2.346	173	9341079	< 2,2e-16 *
	06/07	278	310	-32	3470313	< 2,2e-16 *
	07/08	2.483	2.435	48	6626338	< 2,2e-16 *
2	05/06	3.965	4.068	-103	2853841	5,9e-06 *
	06/07	64	62	2	3201965	0,01818
	07/08	1.547	1.579	-32	2956462	0,01250
3	05/06	224	218	6	4212942	< 2,2e-16 *
	06/07	73	82	-9	2328791	< 2,2e-16 *
	07/08	1.934	1.862	72	3096292	< 2,2e-16 *
4	05/06	1.593	1.382	211	2090703	2,33e-13 *
	06/07	2.759	2.837	-78	1741784	0,00444 *
	07/08	701	655	46	1998857	3,31e-06 *

<sup>(1)</sup> Tratamento “Dose Variável”; <sup>(2)</sup> Tratamento “Dose Fixa”; <sup>(3)</sup> estatística U de Mann-Whitney

\* médias diferem significativamente ao nível de 1% pelo teste de Mann-Whitney

Observa-se na Tabela 14 que após a interpolação as médias das produtividades não se afastaram das médias da produtividade não interpolada (Tabela 12), exceto para o tratamento “Dose Fixa” na área 1 e “Dose Variável” na área 2, na safra 07/08, onde

houveram as perdas de dados de colheita e durante a interpolação estes dados perdidos foram estimados.

Nas áreas 1 e 3 o tratamento “Dose Variável” proporcionou melhores resultados nos anos em que a safra foi alta, considerando a bienalidade, diferindo do tratamento “Dose Fixa” ao nível de significância de 5% pelo teste de Mann-Whitney.

Na área 2 houve diferença significativa somente na safra 05/06, onde o tratamento “Dose Fixa” respondeu com maior produtividade. Finalmente na área 4 houve diferença significativa em todas as safras, porém com uma situação inversa à das áreas 1 e 3, onde o tratamento “Dose Variável” obteve as maiores produtividades em safras baixas.

A maior diferença entre os tratamentos nas áreas ocorreu na safra 05/06 da área 4, com uma produtividade no tratamento “Dose Variável” superior ao tratamento “Dose Fixa” em  $211 \text{ kg ha}^{-1}$ .

De maneira geral e englobando todas as áreas como se fossem áreas de uma única fazenda de 25,64 ha, observa-se que durante todo o período do experimento foi obtido um saldo positivo na quantidade colhida de café beneficiado no tratamento “Dose Variável”. Foram produzidos  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  a mais do que no tratamento “Dose Fixa”, ou seja, 4 sacas de 60 kg a mais de café beneficiado por hectare utilizando as técnicas da adubação localizada em doses variáveis.

#### **4.4 Teores de nitrogênio, fósforo e potássio na folha**

As Tabelas 15, 16 e 17, descrevem os parâmetros estatísticos dos teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio para cada tratamento. Todos os teores foliares analisados possuem um coeficiente de variação baixo, segundo Warrick e Nielsen (1980).

Verificando o teor médio de nitrogênio nas folhas, segundo a classificação proposta Malavolta (1986), somente a área 3 apresentou altos teores de nitrogênio em ambos os tratamentos. No restante das áreas os teores estavam adequados.

O teor médio de fósforo foliar estava baixo nas áreas 1 e 4 e adequado nas áreas 2 e 3.



Houve, em algumas áreas, diferenças entre os níveis dos teores médios de potássio entre os tratamentos. Nas áreas 2 e 4 o tratamento “Dose Fixa” apresentava níveis adequados e o tratamento “Dose Variável” níveis baixos de fósforo nas folhas. A área 3 apresentou níveis adequados e a área 2, níveis baixos de fósforo nas folhas em ambos os tratamentos.

Tabela 15 – Parâmetros estatísticos dos teores de nitrogênio foliar

Área	Trat. (1)	n <sup>(2)</sup>	Média	Mín.	Máx.	DP	CV <sup>(6)</sup> (%)	Ass. (7)	Curt. (8)	W <sup>(9)</sup>
				(3)	(4)	(5)				
			(N, g kg <sup>-1</sup> )							
1	DV <sup>(10)</sup>	29	27,4	24,8	30,0	1,32	4,80	0,26	-0,17	0,971*
	DF <sup>(11)</sup>	29	27,4	22,7	30,2	1,90	6,94	-0,45	-0,04	0,960*
2	DV	13	28,9	26,6	30,4	1,13	3,92	-0,88	0,09	0,916*
	DF	13	28,5	26,3	30,8	1,24	4,35	0,15	-0,30	0,946*
3	DV	25	35,1	32,7	39,5	1,80	5,14	1,19	1,51	0,860
	DF	25	34,7	32,0	38,6	1,61	4,65	0,34	0,17	0,968*
4	DV	8	26,9	26,3	27,6	0,47	1,74	0	-0,58	0,942*
	DF	8	28,2	27,3	29,8	0,92	3,27	0,70	-0,96	0,885*

<sup>(1)</sup> Tratamentos aplicados; <sup>(2)</sup> Número de pontos amostrados; <sup>(3)</sup> Valores mínimos encontrados; <sup>(4)</sup> Valores máximos encontrados; <sup>(5)</sup> Desvio padrão; <sup>(6)</sup> Coeficiente de variação; <sup>(7)</sup> Coeficiente de assimetria; <sup>(8)</sup> Coeficiente de curtose; <sup>(9)</sup> Estatística W do teste de Shapiro-Wilk; <sup>(10)</sup> Tratamento “Dose Variável”; <sup>(11)</sup> Tratamento “Dose Fixa”.

\* população possui distribuição normal ao nível de significância de 5%.

Tabela 16 – Parâmetros estatísticos dos teores de fósforo foliar

Área	Trat. (1)	n <sup>(2)</sup>	Média	Mín. (3)	Máx. (4)	DP (5)	CV <sup>(6)</sup> (%)	Ass. (7)	Curt. (8)	W <sup>(9)</sup>
1	DV <sup>(10)</sup>	29	1,07	0,78	1,36	0,13	11,76	-0,13	0,39	0,984*
	DF <sup>(11)</sup>	29	1,11	0,85	1,36	0,11	9,98	0,19	0,49	0,982*
2	DV	13	1,27	1,15	1,39	0,07	5,26	0,23	0,17	0,965*
	DF	13	1,31	1,14	1,46	0,09	7,11	-0,02	-0,32	0,974*
3	DV	25	1,48	1,30	1,63	0,09	5,81	0,22	-0,49	0,957*
	DF	25	1,50	1,30	1,72	0,10	6,77	0,43	0,22	0,970*
4	DV	8	1,04	0,99	1,09	0,40	3,83	-0,01	-1,90	0,897*
	DF	8	1,06	0,98	1,19	0,07	6,34	1,14	1,41	0,924*

<sup>(1)</sup> Tratamentos aplicados; <sup>(2)</sup> Número de pontos amostrados; <sup>(3)</sup> Valores mínimos encontrados; <sup>(4)</sup> Valores máximos encontrados; <sup>(5)</sup> Desvio padrão; <sup>(6)</sup> Coeficiente de variação; <sup>(7)</sup> Coeficiente de assimetria; <sup>(8)</sup> Coeficiente de curtose; <sup>(9)</sup> Estatística W do teste de Shapiro-Wilk; <sup>(10)</sup> Tratamento “Dose Variável”; <sup>(11)</sup> Tratamento “Dose Fixa”.

\* população possui distribuição normal ao nível de significância de 5%.

Tabela 17 – Parâmetros estatísticos dos teores de potássio foliar

Área	Trat. (1)	n <sup>(2)</sup>	Média	Mín.	Máx.	DP	CV <sup>(6)</sup> (%)	Ass. (7)	Curt. (8)	W <sup>(9)</sup>
				(3)	(4)	(5)				
(K, g kg <sup>-1</sup> )										
1	DV <sup>(10)</sup>	29	17,0	10,8	19,8	1,84	10,84	-1,70	4,43	0,860
	DF <sup>(11)</sup>	29	17,2	15,2	19,5	1,21	7,05	0,22	-0,68	0,967*
2	DV	13	20,3	18,3	22,8	1,41	6,95	-0,02	-0,82	0,945*
	DF	13	20,6	18,5	24,8	1,95	9,43	1,22	0,72	0,859*
3	DV	25	23,1	18,2	26,7	1,86	8,06	-0,54	0,74	0,978*
	DF	25	23,6	19,6	25,0	1,32	5,56	-1,74	3,44	0,830
4	DV	8	19,1	16,9	20,6	1,22	6,39	-0,81	-0,02	0,934*
	DF	8	21,7	18,5	27,1	2,83	13,03	0,94	0,61	0,926*

<sup>(1)</sup> Tratamentos aplicados; <sup>(2)</sup> Número de pontos amostrados; <sup>(3)</sup> Valores mínimos encontrados; <sup>(4)</sup> Valores máximos encontrados; <sup>(5)</sup> Desvio padrão; <sup>(6)</sup> Coeficiente de variação; <sup>(7)</sup> Coeficiente de assimetria; <sup>(8)</sup> Coeficiente de curtose; <sup>(9)</sup> Estatística W do teste de Shapiro-Wilk; <sup>(10)</sup> Tratamento “Dose Variável”; <sup>(11)</sup> Tratamento “Dose Fixa”.

\* população possui distribuição normal ao nível de significância de 5%.

Os dados que não se ajustaram à distribuição normal foram transformados pelo valor de lambda ( $\lambda$ ) encontrado na função de transformação Box-Cox; desta forma foi possível proceder com a análise geoestatística. Os parâmetros dos modelos ajustados encontram-se na Tabela 18 para os teores de nitrogênio, na Tabela 19 para os teores de fósforo e na Tabela 20 para os teores de potássio foliares.

Tabela 18 – Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos teores foliares de nitrogênio

Área	Tratamento	Modelo	$C_0^{(1)}$	$C_1^{(2)}$	a (m) <sup>(3)</sup>	GD% <sup>(4)</sup>
1	DV <sup>(5)</sup>	Esférico	0,19	1,45	93,5	12***
	DF <sup>(6)</sup>	Esférico	0,32	2,34	109,0	12***
2	DV	Esférico	7,21e+28	1,08e+29	106,4	40**
	DF	Esférico	2,31e-04	1,85e-03	106,5	11***
3	DV	Esférico	3,0e-25	2,9e-25	123,2	51**
	DF	Esférico	8,0e-10	1,15e-09	103,9	41**
4	DV	Esférico	0,05	0,21	140,0	19***
	DF	Esférico	3,1e-30	5,1e-30	122,5	38**

<sup>(1)</sup> Efeito pepita; <sup>(2)</sup> Patamar parcial; <sup>(3)</sup> Alcance; <sup>(4)</sup> Grau de dependência espacial; <sup>(5)</sup> Tratamento “Dose Variável”; <sup>(6)</sup> Tratamento “Dose Fixa”

Nota: Segundo Cambardella et al. (1994): \* Dependência espacial fraca; \*\* Dependência espacial média; \*\*\* Dependência espacial forte.

Tabela 19 – Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos teores foliares de fósforo

Área	Tratamento	Modelo	$C_0^{(1)}$	$C_1^{(2)}$	a (m) <sup>(3)</sup>	GD% <sup>(4)</sup>
1	DV <sup>(5)</sup>	Esférico	1,15e-03	9,23e-03	93,5	11***
	DF <sup>(6)</sup>	Esférico	4,5e-03	8,5e-03	114,2	35**
2	DV	Esférico	3,1e-04	2,7e-03	96,3	10***
	DF	Esférico	0,4e-02	3,8e-03	91,2	51**
3	DV	Esférico	5,0e-04	1,15e-03	103,7	30**
	DF	Esférico	7,0e-04	1,5e-03	93,5	32**
4	DV	Esférico	7,0e-04	8,0e-04	100,6	47**
	DF	Esférico	7,0e-04	8,3e-04	96,3	46**

<sup>(1)</sup> Efeito pepita; <sup>(2)</sup> Patamar parcial; <sup>(3)</sup> Alcance; <sup>(4)</sup> Grau de dependência espacial; <sup>(5)</sup> Tratamento “Dose Variável”; <sup>(6)</sup> Tratamento “Dose Fixa”

Nota: Segundo Cambardella et al. (1994): \* Dependência espacial fraca; \*\* Dependência espacial média; \*\*\* Dependência espacial forte.

Tabela 20 – Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos teores foliares de potássio

Área	Tratamento	Modelo	$C_0^{(1)}$	$C_1^{(2)}$	$a (m)^{(3)}$	$GD\%^{(4)}$
1	DV <sup>(5)</sup>	Esférico	0,14	1,16	90,7	11***
	DF <sup>(6)</sup>	Esférico	0,16	1,28	88,3	11***
2	DV	Esférico	0,54	0,91	85,1	37**
	DF	Esférico	1,3e-19	1,0e-18	106,4	12***
3	DV	Esférico	4,99e+05	3,49e+05	90,7	59**
	DF	Esférico	7,56e+26	2,45e+27	155,6	24***
4	DV	Esférico	5,6e+17	4,3e+17	131,3	57**
	DF	Esférico	1,82e-11	1,6e-10	100,6	10***

<sup>(1)</sup> Efeito pepita; <sup>(2)</sup> Patamar parcial; <sup>(3)</sup> Alcance; <sup>(4)</sup> Grau de dependência espacial; <sup>(5)</sup> Tratamento “Dose Variável”; <sup>(6)</sup> Tratamento “Dose Fixa”

Nota: Segundo Cambardella et al. (1994): \* Dependência espacial fraca; \*\* Dependência espacial média; \*\*\* Dependência espacial forte.

Todos os ajustes foram feitos com o modelo esférico e nenhum apresentou dependência espacial fraca. Com os parâmetros dos modelos foi possível interpolar os teores foliares e obter os mapas de nitrogênio, fósforo e potássio, para ambos os tratamentos. Assumindo a classificação proposta por Malavolta (1986), atribuíram-se aos teores foliares interpolados valores de -1, 0 e 1 para os classificados como baixo, adequado e alto, respectivamente. Assim, nas Figuras 21 a 24 são apresentados os teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio, após três anos de experimento, classificados em níveis baixos, adequados e altos.

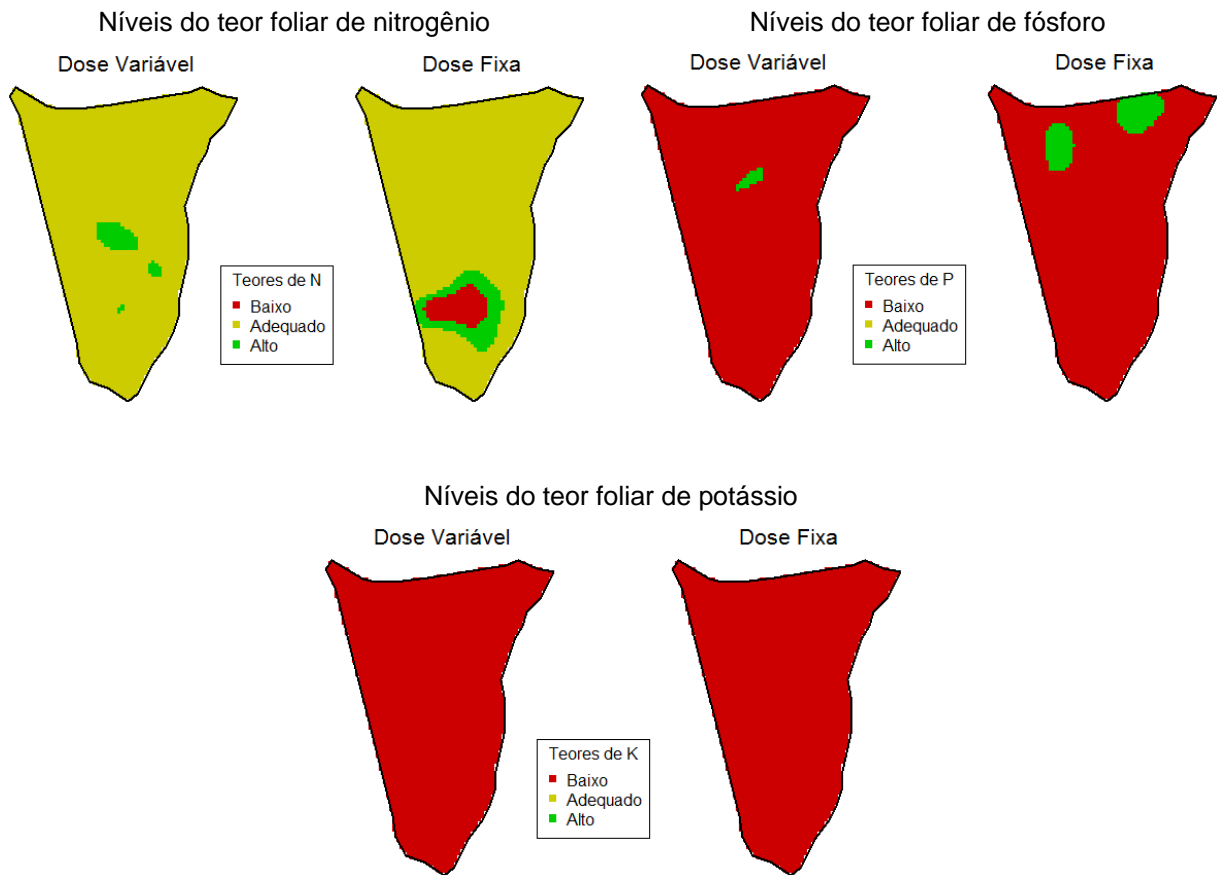


Figura 21 – Mapas interpolados dos teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio, na área 1, classificados conforme sugerido por Malavolta (1986)

Destaca-se que na área 1 as amostras foliares foram coletadas em dezembro de 2007, refletindo nas produções da safra 07/08. O teor de nitrogênio nas folhas apresentou uma pequena região (0,40 ha) com níveis baixos margeada por níveis altos (0,58 ha). Esta região com níveis baixos foi influenciada por dois pontos de amostragem que tiveram seus teores baixos. Como os pontos estavam próximos, a interpretação foi de que não eram discrepantes e por isso não foram excluídos. Analisando visualmente a região em que esses pontos se encontram, ela está localizada próxima a um carreador, o que sugere que tenha havido alguma falha na operação de adubação, como por exemplo, a não aplicação do nitrogênio nesta fileira de plantas, já que nesta região existem fileiras de plantas que se iniciam e/ou terminam no interior da área e não nas extremidades (“linha mortas”).

Pode-se considerar que os teores de fósforo e potássio estavam em níveis baixos na área, apesar do teor de fósforo ter pequenas áreas com níveis altos, 0,07 ha para o tratamento “Dose Variável” e 0,58 ha para o tratamento “Dose Fixa”.

Verificando os teores de fósforo no solo na área 1 (Figura 6), seus níveis alteraram de próximos do limite entre baixo e médio na safra 04/05 para níveis próximos ao limite entre médio e alto na safra 07/08, com o tratamento “Dose Fixa” apresentando em todas as safras teores maiores do que o tratamento “Dose Variável”.

A análise foliar de potássio serviu, após sua interpretação, para que houvesse uma correção na dose inicialmente recomendada para esta safra. Como relatado anteriormente, houve um acréscimo de 50% na quantidade total recomendada de potássio na safra 07/08.

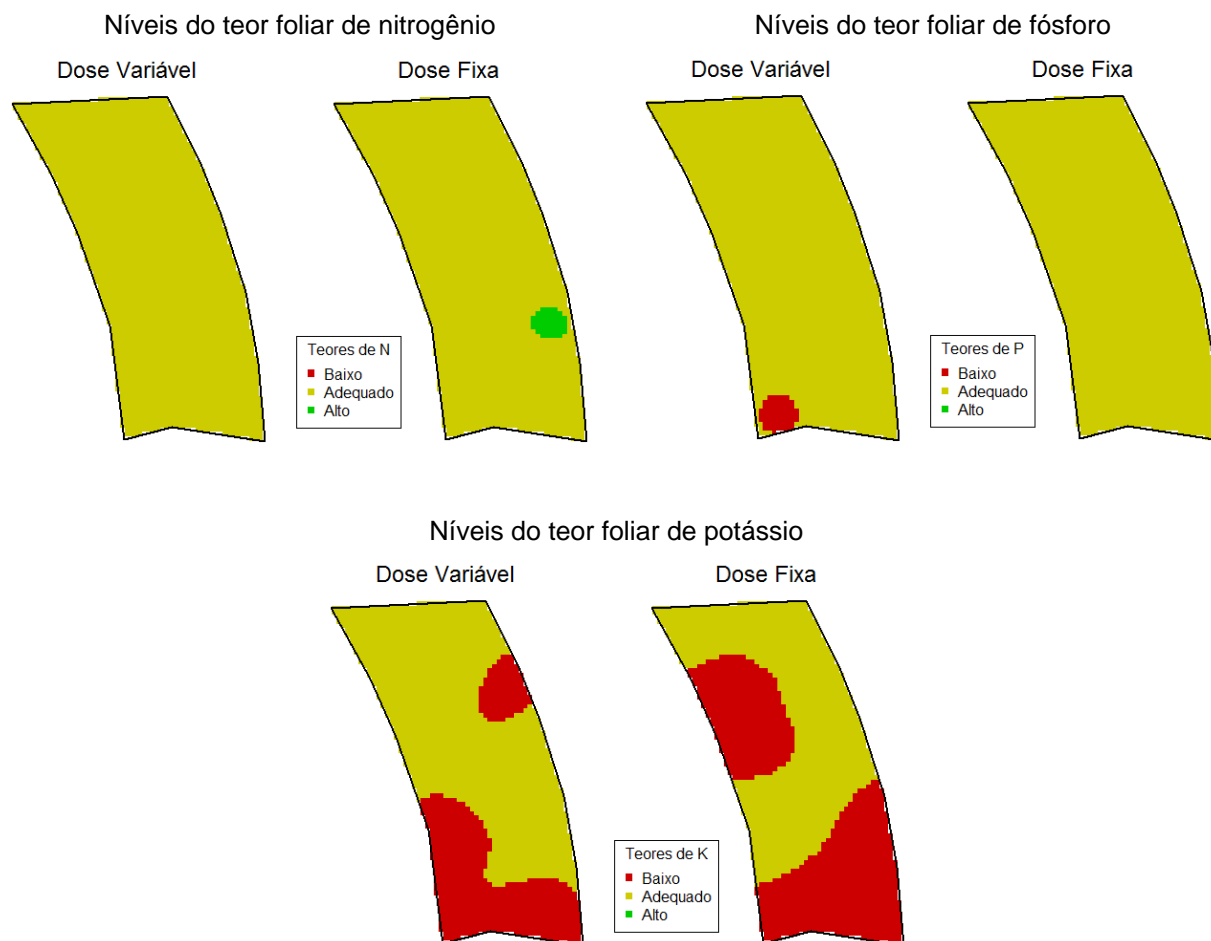


Figura 22 – Mapas interpolados dos teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio na área 2, classificados conforme sugerido por Malavolta (1986)

Destaca-se que as análises foliares nas áreas 2, 3 e 4, aconteceram após a safra 07/08 para que se pudesse comparar três anos consecutivos de experimento, como foi feito na área 1.

Na área 2 é possível considerar que os níveis foram adequados para os teores foliares de nitrogênio e fósforo em ambos os tratamentos, desconsiderando as pequenas áreas com variações no tratamento “Dose Fixa” para o teor de nitrogênio (0,12 ha com nível alto) e no tratamento “Dose Variável” para o teor de potássio (0,15 ha com nível baixo). O teor de potássio apresentou níveis adequados e baixos, sendo que o nível baixo representou, em relação à área total, 30,2% no tratamento “Dose Variável” e 46,4% no tratamento “Dose Fixa”.

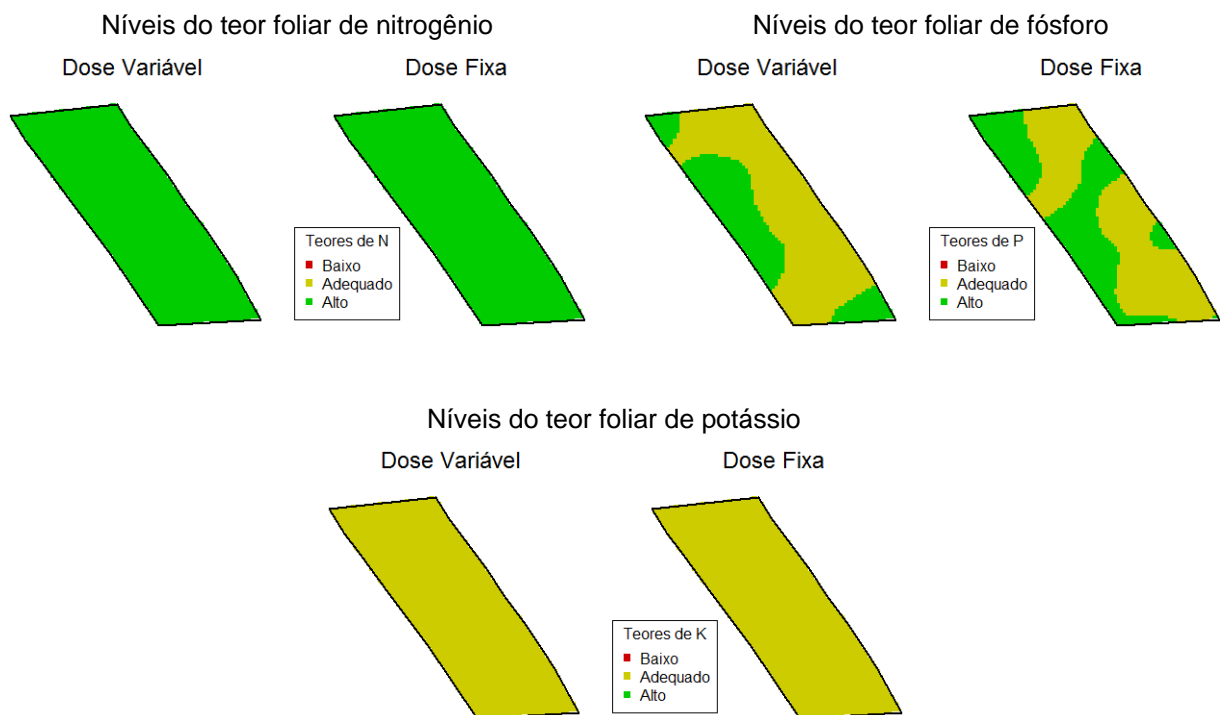


Figura 23 – Mapas interpolados dos teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio na área 3, classificados conforme sugerido por Malavolta (1986)

Na área 3 em ambos os tratamentos observam-se níveis altos dos teores foliares de nitrogênio e níveis adequados de potássio. O fósforo apresentou, no tratamento



“Dose Variável”, 33,2% da área com teores altos e 66,8% com teores adequados contra 42,6% de teores altos e 57,4% de teores adequados no tratamento “Dose Fixa”.

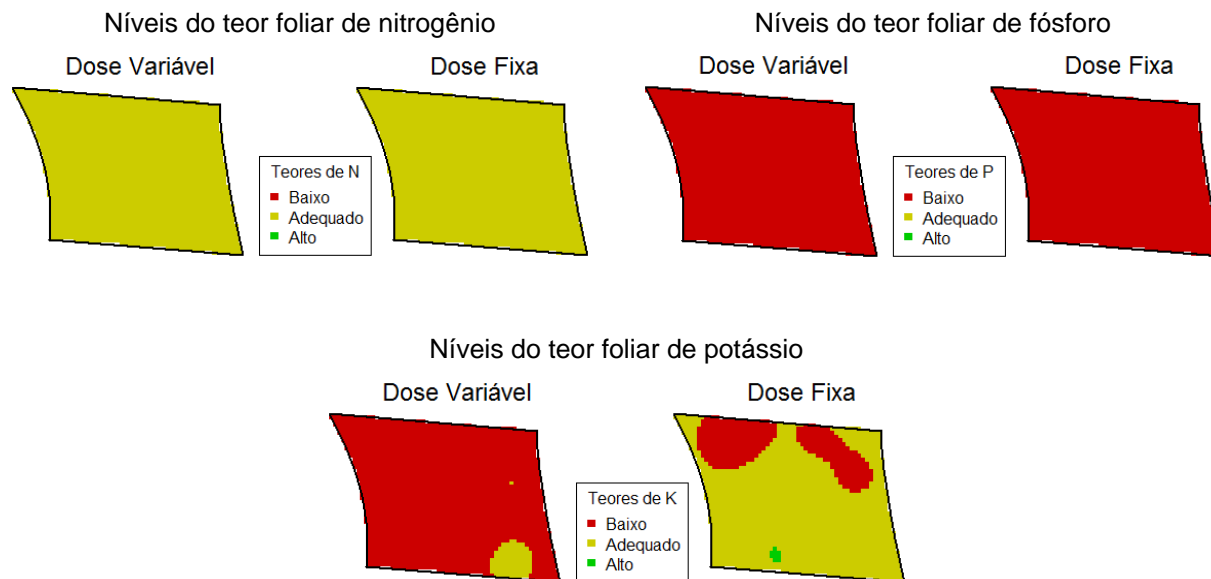


Figura 24 – Mapas interpolados dos teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio na área 4, classificados conforme sugerido por Malavolta (1986)

Os teores foliares na área 4 apresentaram-se em níveis adequados para o nitrogênio e baixo para o fósforo em ambos os tratamentos. O potássio apresentou uma grande diferença entre os tratamentos, com 95,2% da área do tratamento “Dose Variável” apresentando níveis baixos e apenas 4,8% apresentando teores adequados. No tratamento “Dose Fixa”, 78,9% da área apresentou teores adequados, 20,7% teores baixos e apenas 0,4% teores altos.

Comparando todas as áreas, a maior discrepância entre os tratamentos foi na área 4 para os teores foliares de potássio (Tabela 21).

Tabela 21 – Médias dos teores foliares entre os tratamentos e resultado do teste de comparação de médias de Mann-Whitney a 1% de significância

Área	Nutriente	Médias (g kg <sup>-1</sup> )		U <sup>(3)</sup>	p-valor
		DV <sup>(1)</sup>	DF <sup>(2)</sup>		
1	N	27,41	27,46	5468212	2,106e-08
	P	1,07	1,11	3987729	< 2,2e-16 *
	K	17,32	17,15	6712158	< 2,2e-16 *
2	N	28,92	28,53	4282091	< 2,2e-16 *
	P	1,27	1,31	1280269	< 2,2e-16 *
	K	20,28	20,34	3306695	9,2e-06 *
3	N	34,98	34,55	4340012	< 2,2e-16 *
	P	1,48	1,50	2979834	< 2,2e-16 *
	K	23,06	23,69	1616410	< 2,2e-16 *
4	N	26,94	28,12	3385	< 2,2e-16 *
	P	1,04	1,06	1366665	< 2,2e-16 *
	K	19,11	21,17	166270,5	< 2,2e-16 *

<sup>(1)</sup> Tratamento “Dose Variável”; <sup>(2)</sup> Tratamento “Dose Fixa”; <sup>(3)</sup> estatística U de Mann-Whitney

\* médias diferem significativamente ao nível de 1% pelo teste de Mann-Whitney

Levando em consideração as médias de cada teor foliar nos tratamentos, o tratamento “Dose Variável” obteve teores maiores de potássio na área 1, e teores maiores de fósforo nas áreas 2 e 3. Todas as médias dos teores apresentaram diferenças entre os tratamentos ao nível de 1% de significância pelo teste de Mann-Whitney.

As adubações localizadas em doses variáveis tiveram um consumo menor de nitrogênio (134,7 kg ha<sup>-1</sup>) e potássio (82,0 kg ha<sup>-1</sup>) e um aumento no consumo de fósforo (65,0 kg ha<sup>-1</sup>), comparado com o tratamento “Dose Fixa” em todas as safras.



## 5 CONCLUSÕES

As adubações de nitrogênio, fósforo e potássio aplicadas em doses variáveis aumentaram a produtividade da lavoura de café em  $240 \text{ kg ha}^{-1}$ , quando somadas todas as safras.

As adubações localizadas em doses variáveis reduziram o consumo de nitrogênio em  $134,7 \text{ kg ha}^{-1}$  e de potássio em  $82,0 \text{ kg ha}^{-1}$ . Para o nutriente fósforo houve um aumento de  $65,0 \text{ kg ha}^{-1}$ .

A avaliação do estado nutricional das plantas de cafeeiro mostrou-se apropriada para possíveis correções das doses dos nutrientes durante a adubação.



## REFERÊNCIAS

BALASTREIRE, L. A. **Agricultura de precisão**. Piracicaba: o autor, 1998. 81 p.

BATAGLIA, O. C. Métodos diagnósticos da nutrição potássica com ênfase no DRIS. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2, 2004, São Pedro. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2005. p. 321-341.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Café Safra 2009**. Brasília, 2009. 17 p. (Primeira Estimativa, janeiro/2009).

COSTA, A. N. D. Método de interpretação e diagnose foliar em café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. cap.17, p. 617-648.

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

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, jan./abr. 1998.

FROGBROOK, Z. L.; OLIVER, M. A.; SALAH, M.; ELLIS, R. H. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. **Soil Use and Management**, Wallingford, v. 18, n. 1, p. 1-9, 2002.

GALLO, P. B.; RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; PEREIRA, L. C. E. Resposta de cafezais adensados à adubação NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 341-351, 1999.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, maio/abr. 2005.

HARTLEY, H. O.; RAO, J. N. K. Maximum likelihood estimation for the mixed analysis of variance model. **Biometrika**, London, v. 54, n. 1-2, p. 93-108, 1967.

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

LEAL, J. C. G. **Mapeamento da produtividade na colheita mecanizada do café**. 2002. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1986. cap. 2. p. 165-274.

MCBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, New York, v. 1, n. 2, p. 125-152, sept. 1999.

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, n. 4, p. 617-639, 1986.

MELLO, J. M. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 110 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

MIRANDA, N. O.; OLIVEIRA, T. S. D.; LEVIEN, S. L. A.; SOUZA, E. R. D. Variabilidade espacial da qualidade de frutos de melão em áreas fertirrigadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 242-249, abr./jun. 2005.

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

MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, A. V. A.; FRASSON, F. R.; SENATORE, G. M.; FAULIN, G. D. C. Effect of variable rate fertilizer on coffee yield. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 8., 2006, Minneapolis. **Anais...** St. Paul: Centre for Precision Agriculture, 2006. 1 CD-ROM.

MOLIN, J. P.; RIBEIRO FILHO, A. C.; TORRES, F. P.; SHIRAISSI, L. E.; SARTORI, S. Precision agriculture for coffee in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 6., 2002, Minneapolis. **Anais...** Minneapolis: ASA, CSSA, SSSA, 2002. 1 CD-ROM.

MULLA, D. J. Methods for removing spatial variability from field research trials. **Advances in Soil Sciences**, New York, v. 13, p. 201-213, 1990.

NOGUEIRA, F. D.; SILVA, E. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Adubação potássica do cafeeiro**: sulfato de potássio. Washington: SOPIB, 2001. 81 p. (Boletim Técnico).

NOGUEIRA, V. S. Preparo do café. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1986. cap 12. p. 423-432.

OLIVEIRA, A. S. C. **Mapeamento da variabilidade espacial da produção na cafeicultura de montanha**. 2003. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2003



PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 545-554, 1971.

QUEIROZ, D. M. D.; DE DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A. B.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M. D.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. T. (Ed.). **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, 2000. cap. 1. p. 1-42.

QUEIROZ, D. M. D.; SILVA, F. M. D.; SALVADOR, N. Sistemas Mecanizados de Colheita de Café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. cap 12. p. 387-473.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Estimulantes. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, Â. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. cap. 15 .p. 93-104.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, Â. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285 p.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1986. cap. 2. p. 13-85.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. geoR: A package for geostatistical analysis. **R News**, Hamilton, v. 1, n. 2, p. 14-18, June 2001.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e de crotalaria juncea L. em solos degradados do município de Piracicaba-SP**. 1996. 91 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1996.

SANCHEZ, R. B.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. D. Variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 489-495, out./dez. 2005.

SARTORI, S.; FAVA, J. F. M.; DOMINGUES, E. L.; RIBEIRO FILHO, A. C.; SHIRAI, L. E. Mapping the spatial variability of coffee yield with mechanical harvester. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** St. Joseph: ASAE, 2002. p. 196-205.

SCHUELLER, J. K. A review and integrating analysis of spatially-variable control of crop production. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 33, n. 1, p. 1-34, Oct. 1992.

SILVA, F. M. D.; SOUZA, Z. M. D.; ARRÉ, T. J.; JUAN, R. S.; OLIVEIRA, E. D. Avaliação da colheita mecanizada do café com uso do Ethephon. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 1-6, abr./jun. 2006.

SILVA, F. M. D.; SOUZA, Z. M. D.; FIGUEIREDO, C. A. P. D.; JÚNIOR, J. M.; MACHADO, R. V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 401-407, mar./abr. 2007.

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

SOUZA, C. K. **Variabilidade espacial de atributos de solo e produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional**. 2006. 65 p. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2006.

STAFFORD, J. V. Implementing precision agriculture in the 21<sup>st</sup> century. **Journal of Agricultural Engineering Research**, New York, v. 76, n. 3, p. 267-275, July 2000.

TEAM, R. D. C. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, 2009. <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 02 maio 2009.

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis**. Princeton: Addison-Wesley, 1977. 688 p.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. **Modern applied statistics with S**. 4th ed. New York: Springer, 2002. 495 p.

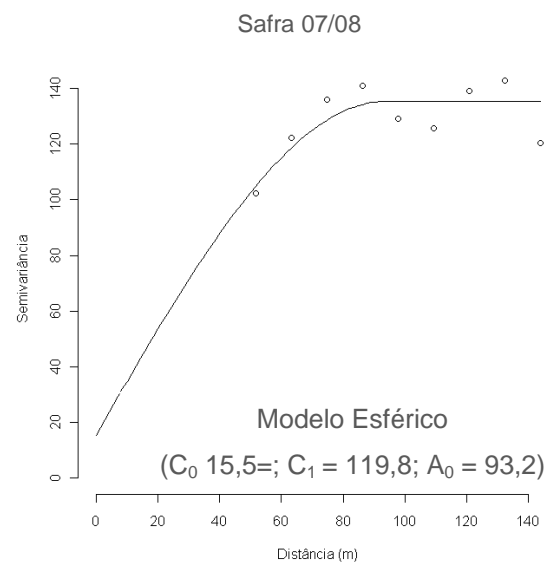
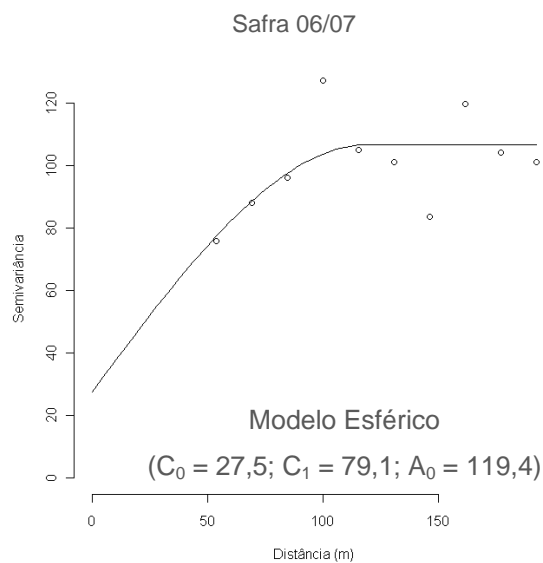
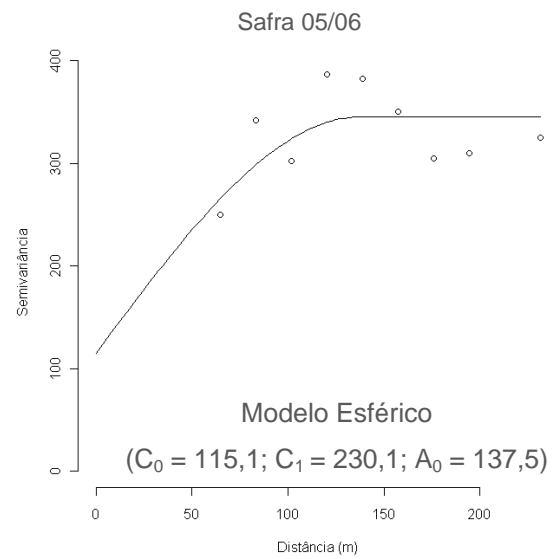
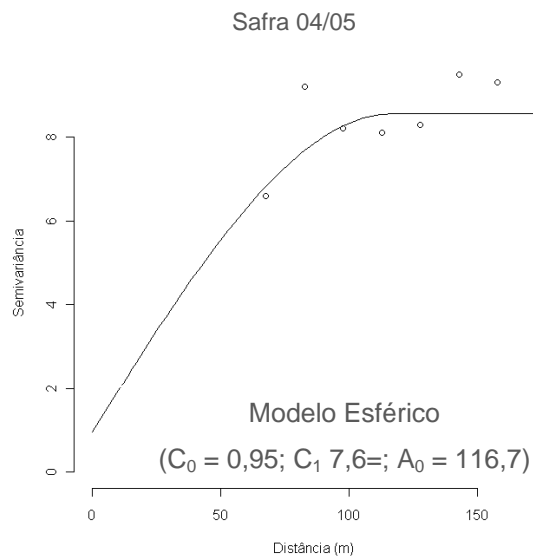
WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

WIEDA, R.; BORGELT, S. T. **Geoestatistical analysis of plant nutrients from sample nested grids**. St. Joseph: ASAE, 1993. 14 p. Paper MCR93-131

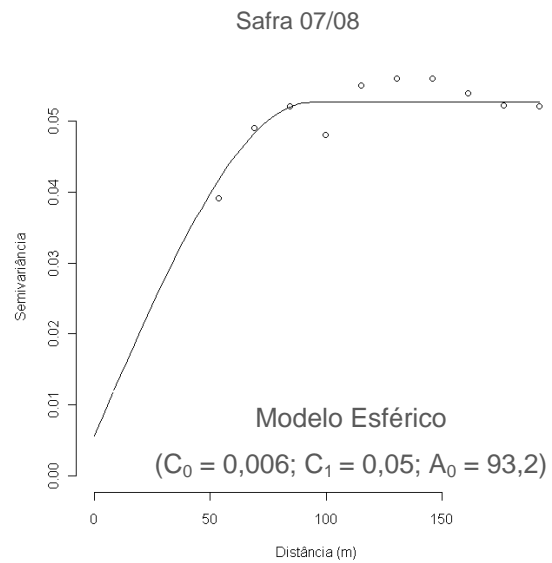
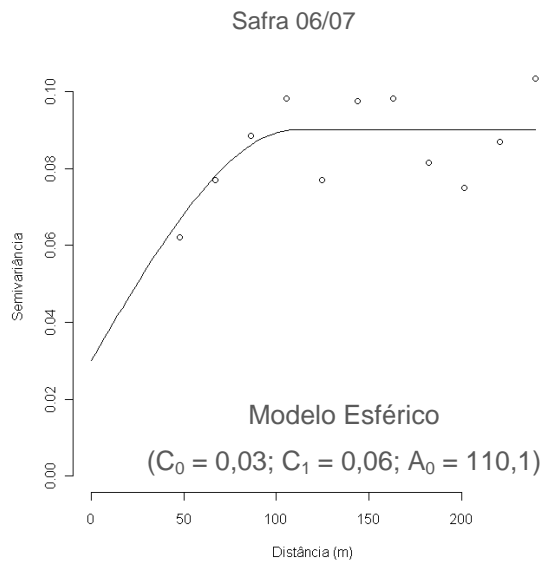
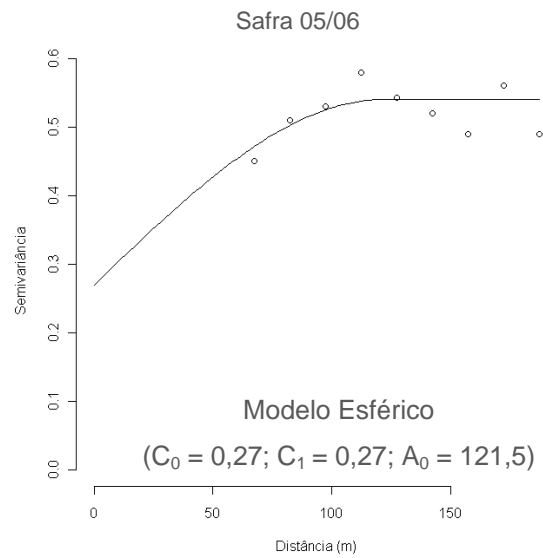
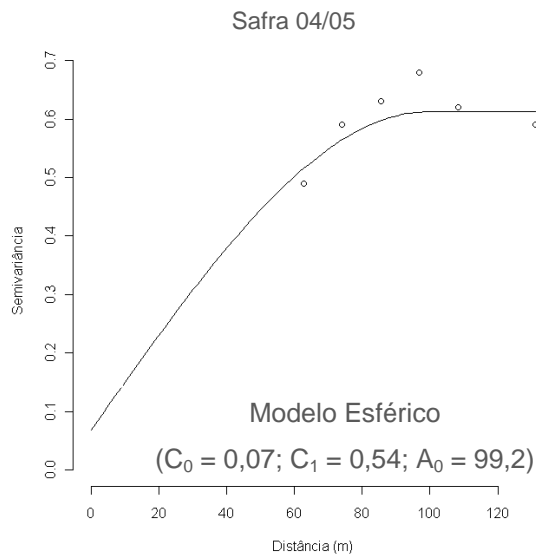
WIEZEL, J. B. C. **Qualidade da bebida de café**. Piracicaba: ESALQ, Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, 1981. 24 p.

XAVIER, L. H. **Modelos univariado e multivariado para análise de medidas repetidas e verificação da acurácia do modelo univariado por meio de simulação**. 2000. 91 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

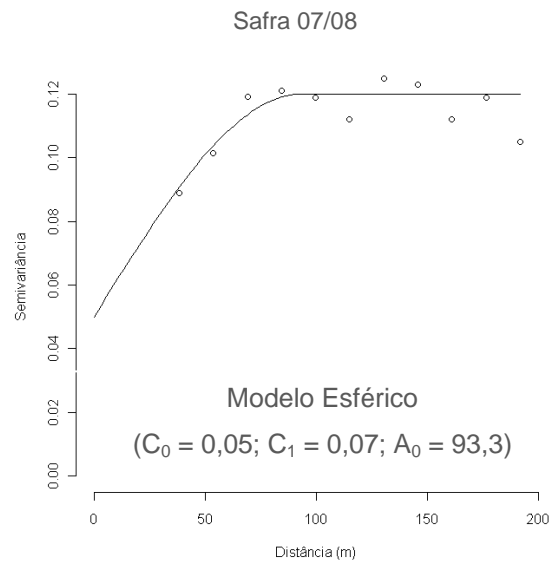
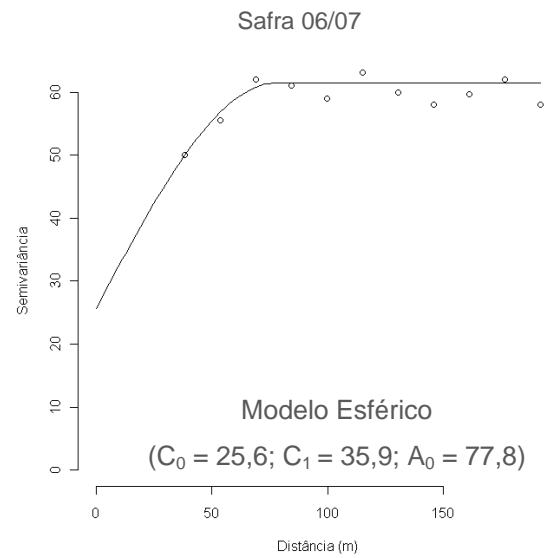
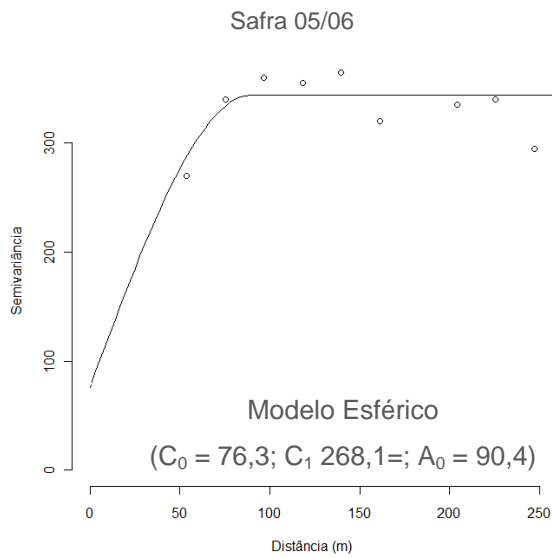
## ANEXOS



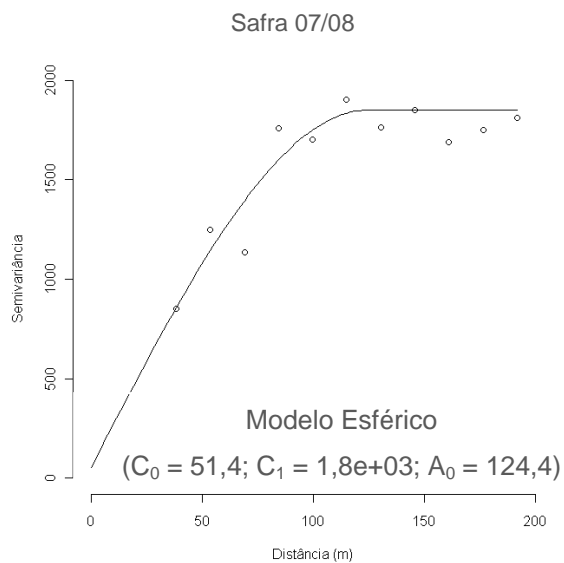
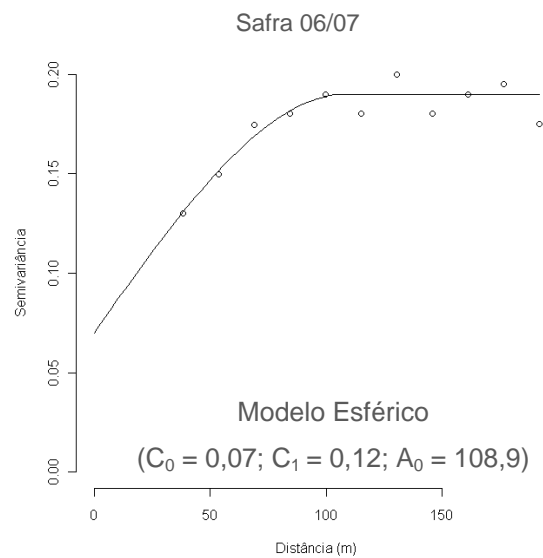
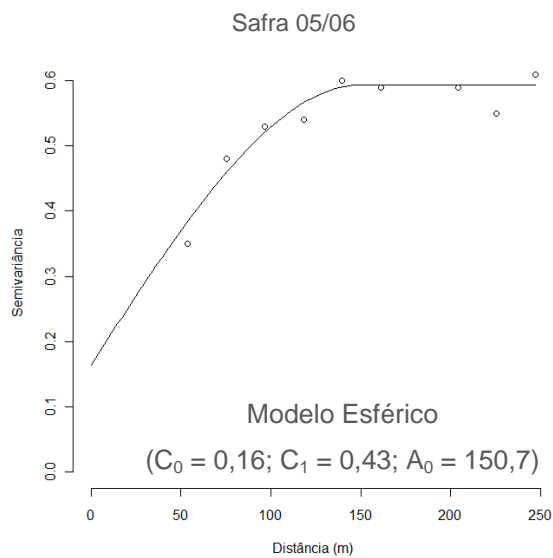
Anexo 1 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de fósforo no solo da área 1, tratamento “Dose Variável”



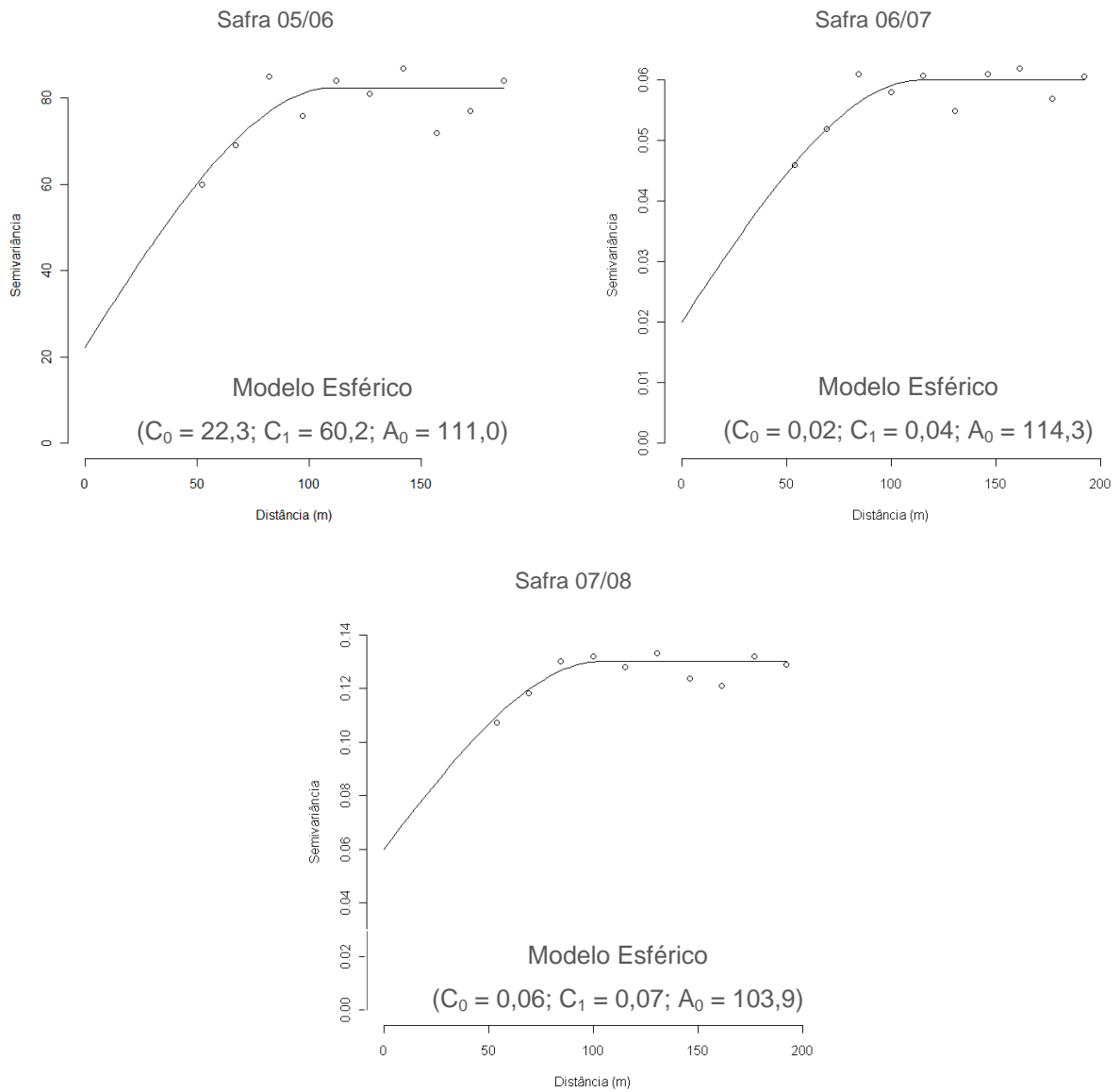
Anexo 2 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de potássio no solo da área 1, tratamento “Dose Variável”



Anexo 3 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de fósforo no solo da área 2, tratamento “Dose Variável”

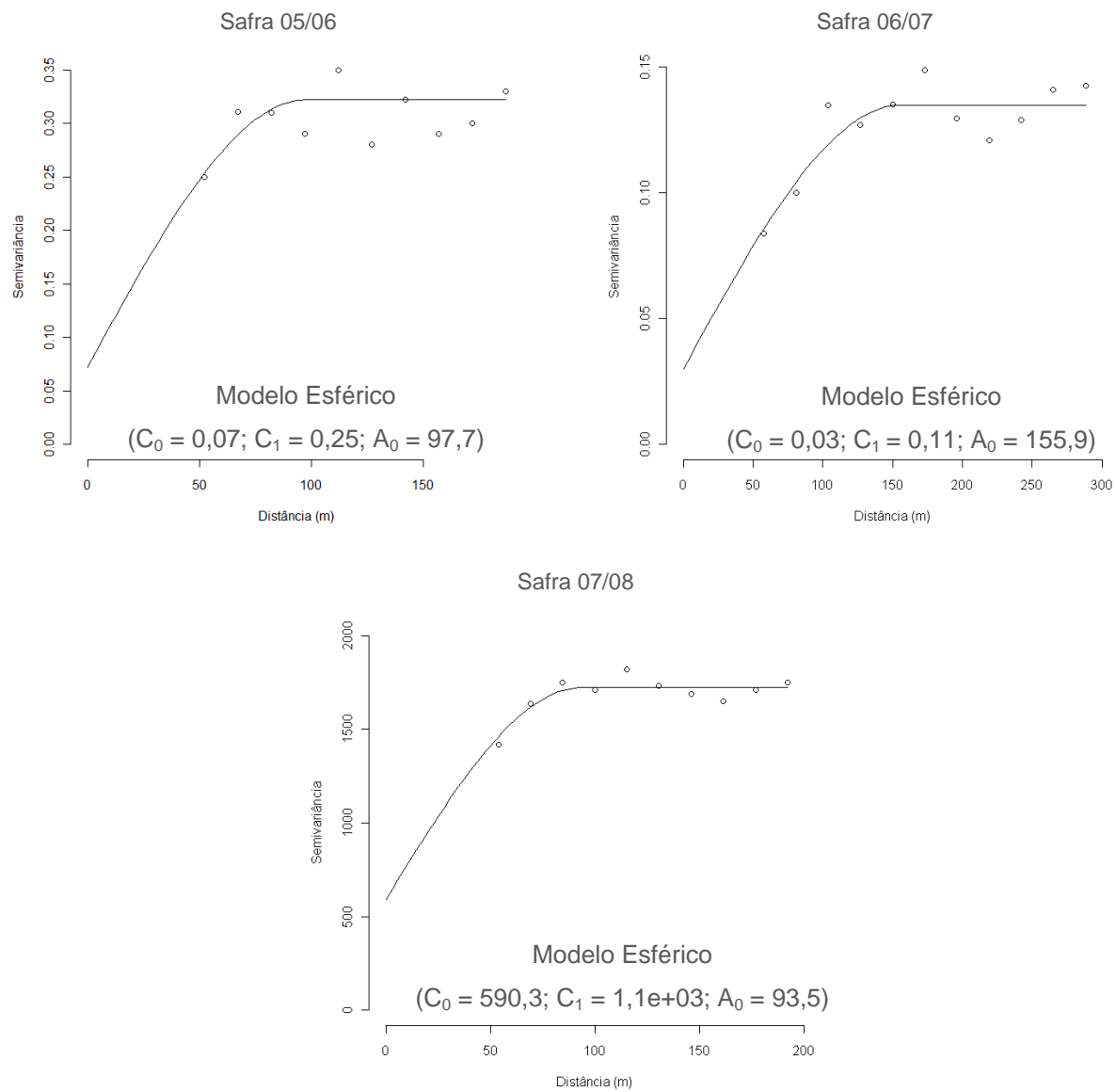


Anexo 4 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de potássio no solo da área 2, tratamento “Dose Variável”

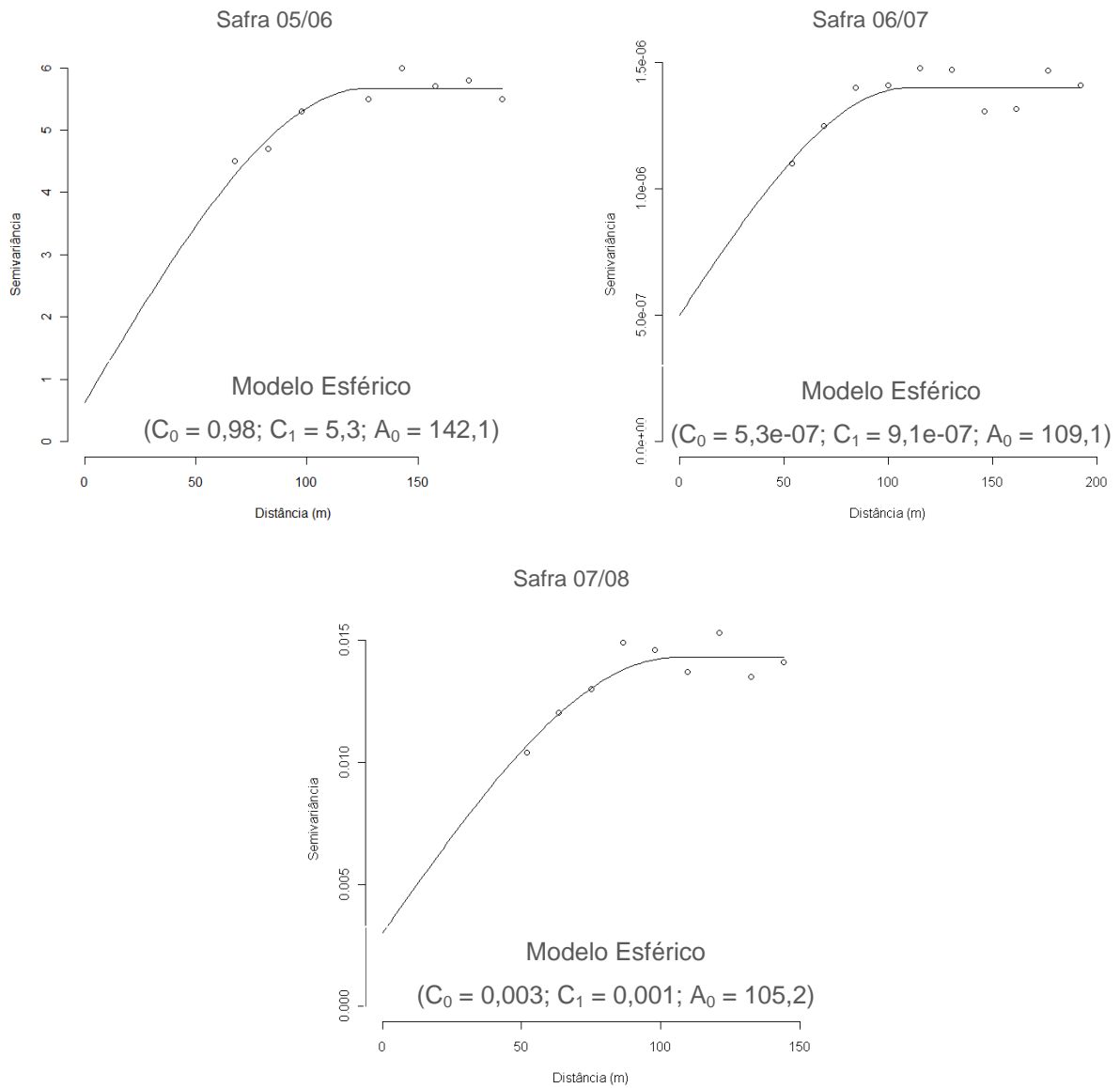


Anexo 5 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de fósforo no solo da área 3, tratamento “Dose Variável”

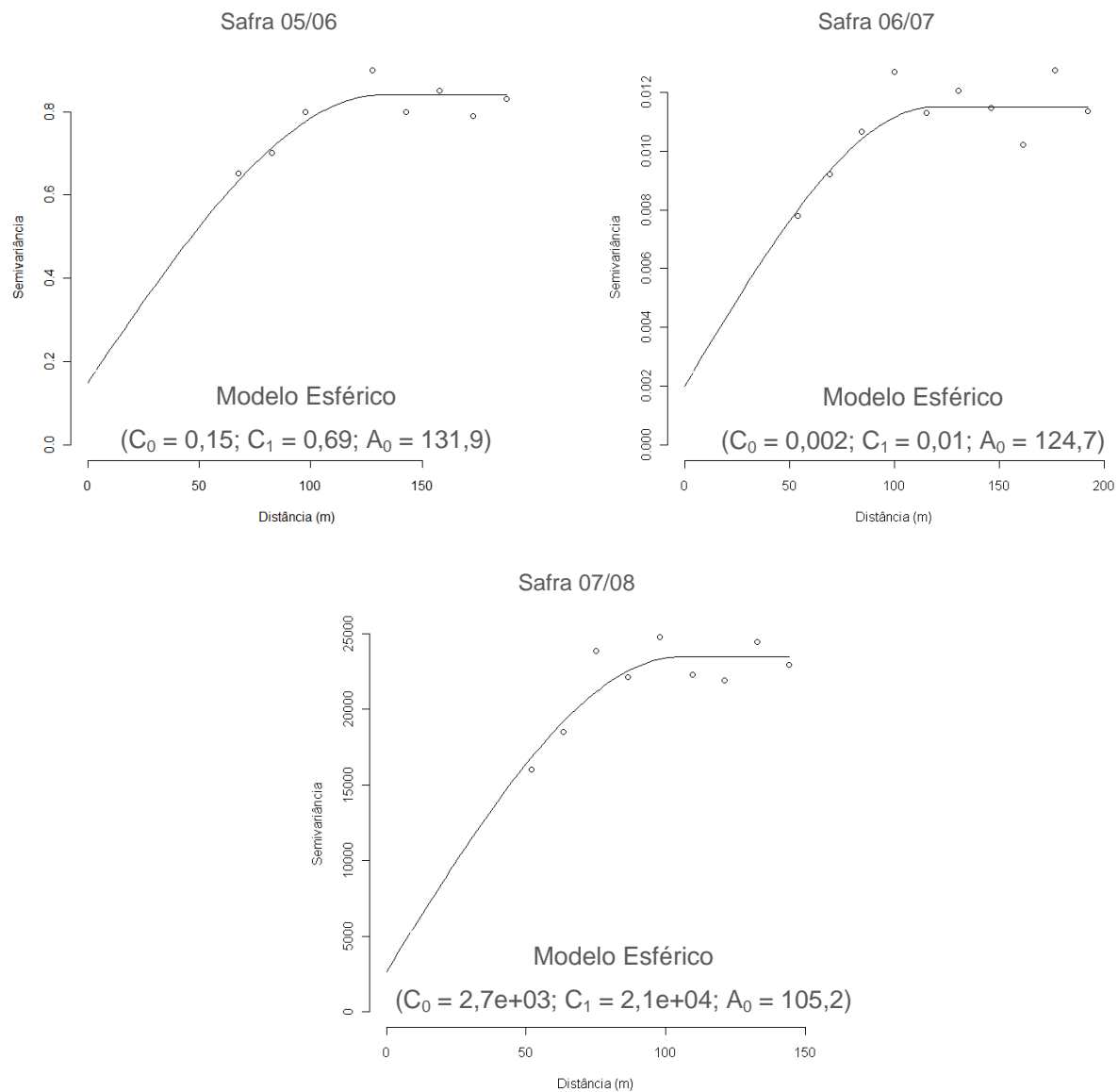




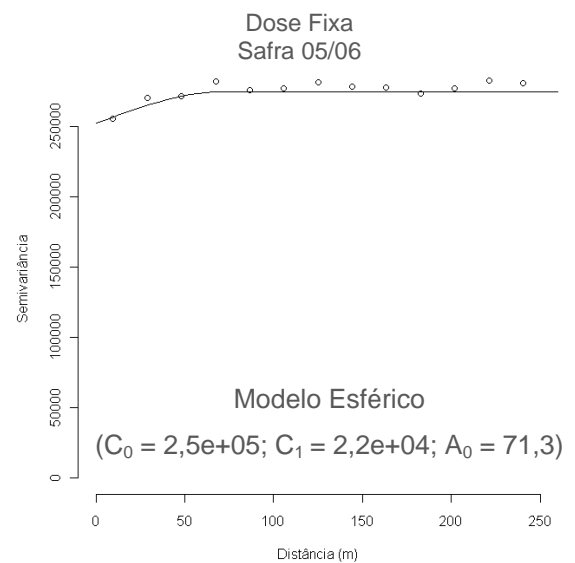
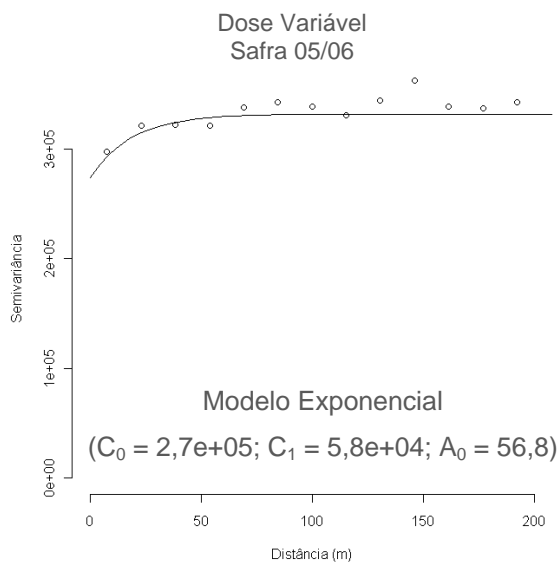
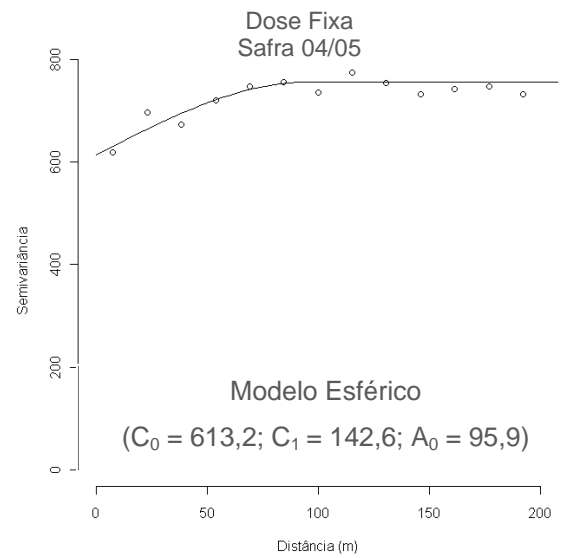
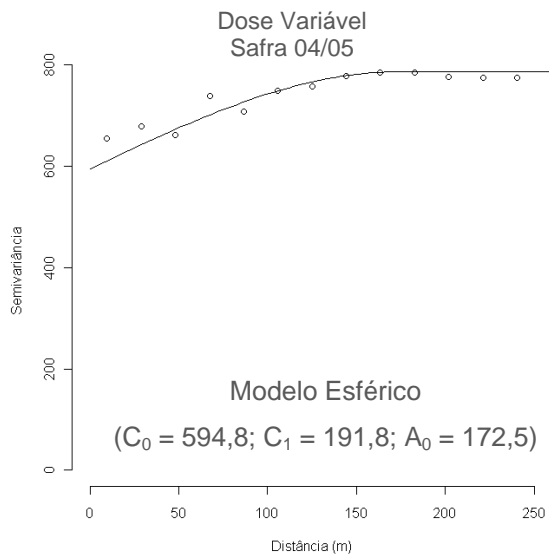
Anexo 6 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de potássio no solo da área 3, tratamento “Dose Variável”



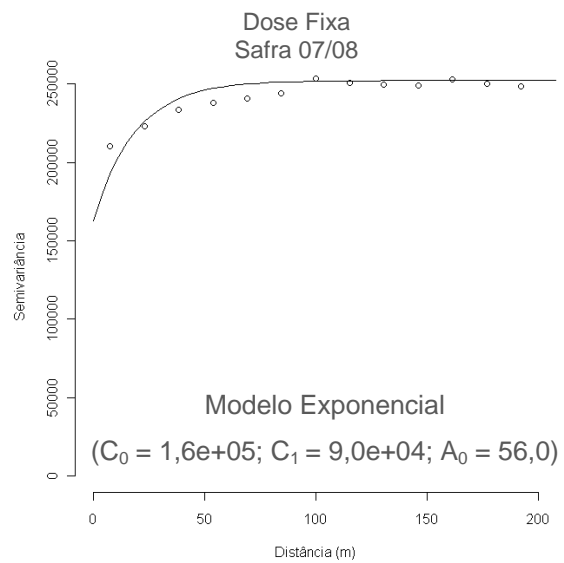
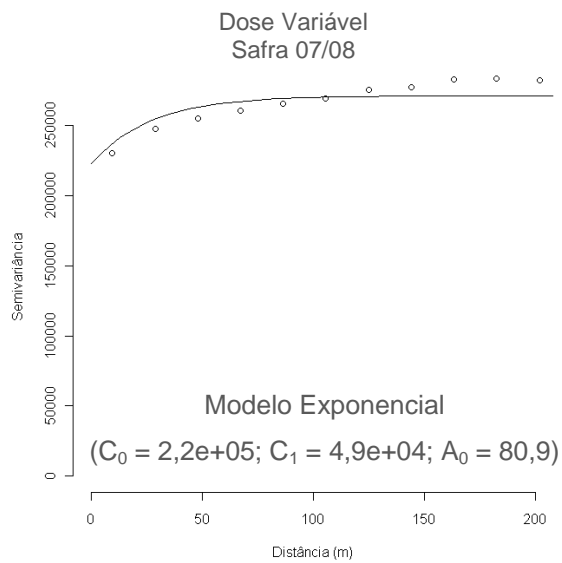
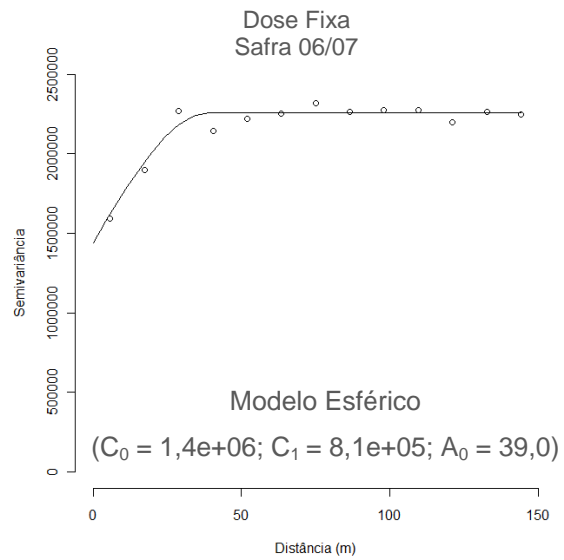
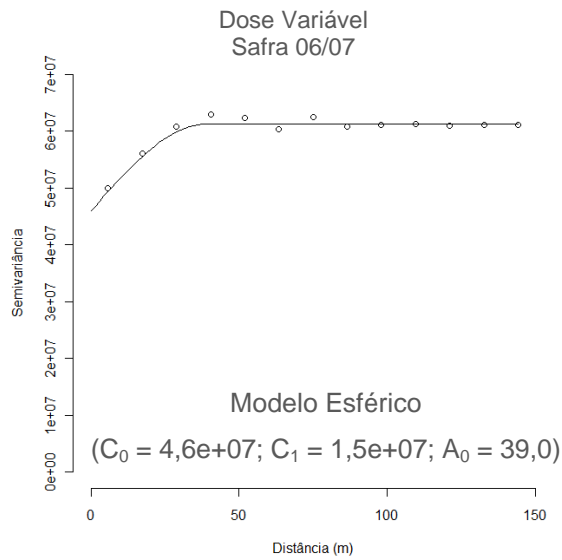
Anexo 7 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de fósforo no solo da área 4, tratamento “Dose Variável”



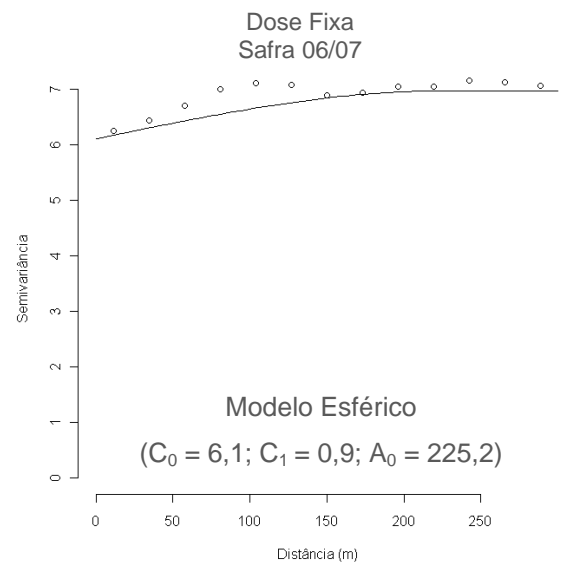
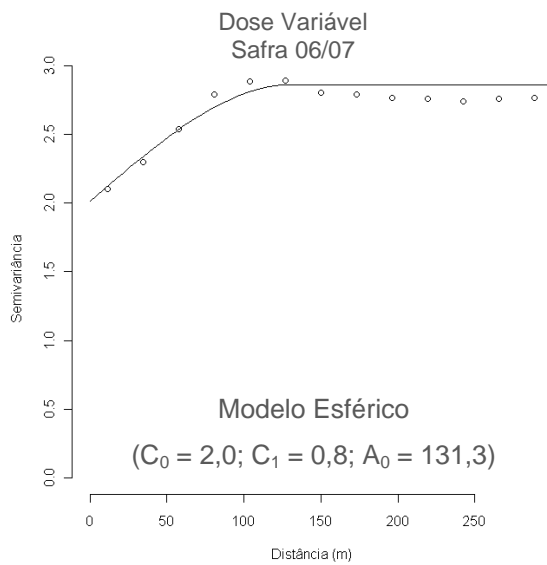
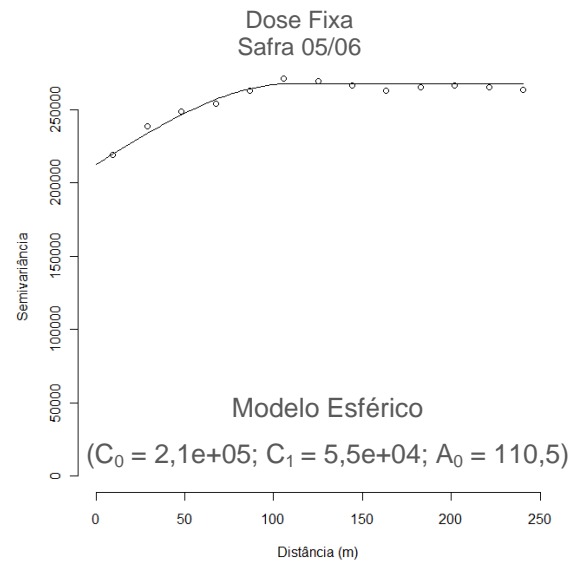
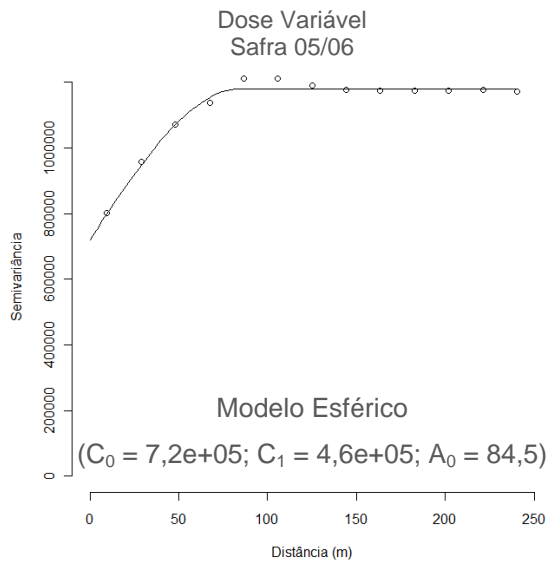
Anexo 8 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de potássio no solo da área 4, tratamento “Dose Variável”



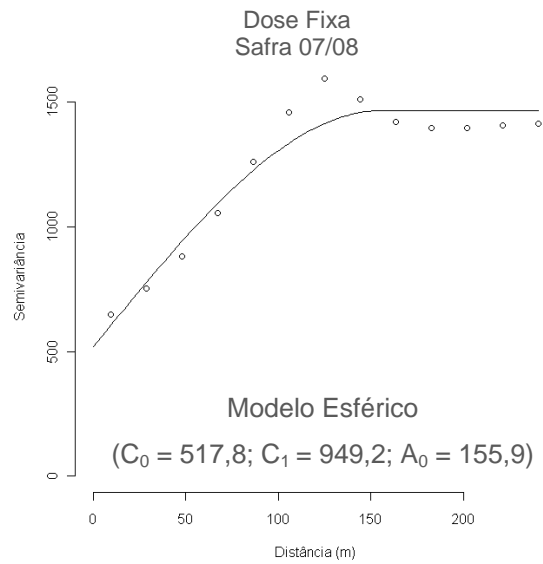
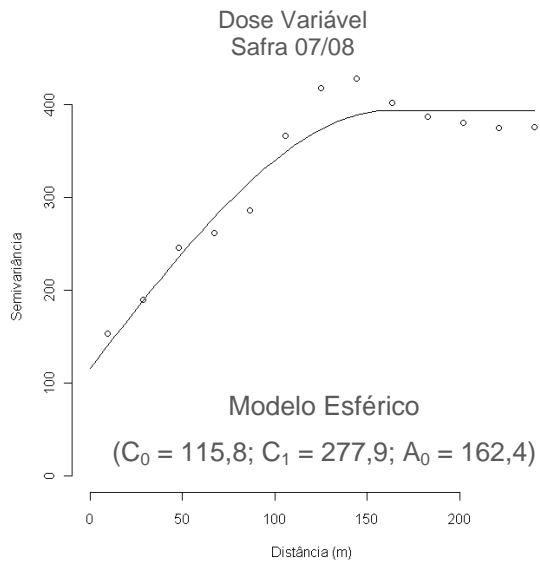
Anexo 9 – Modelos ajustados aos semivariogramas da produtividade na área 1, safras 04/05 e 05/06



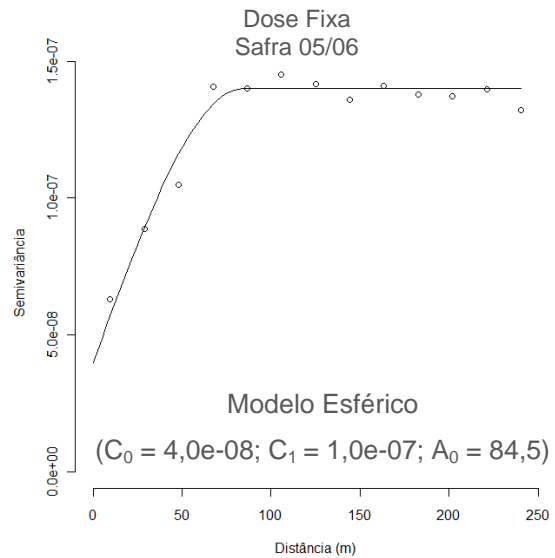
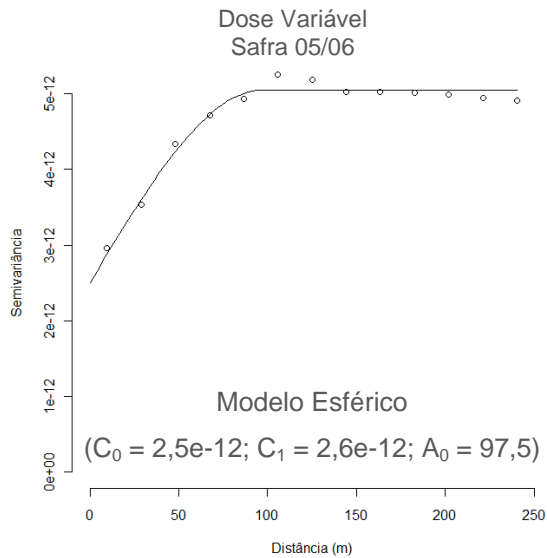
Anexo 10 – Modelos ajustados aos semivariogramas da produtividade na área 1, safras 06/07 e 07/08



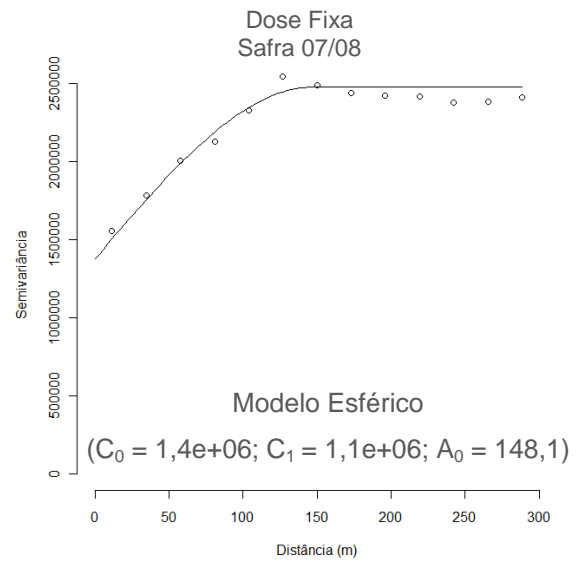
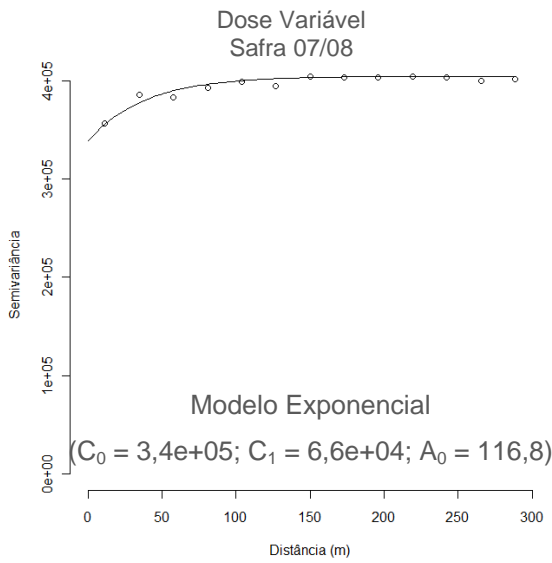
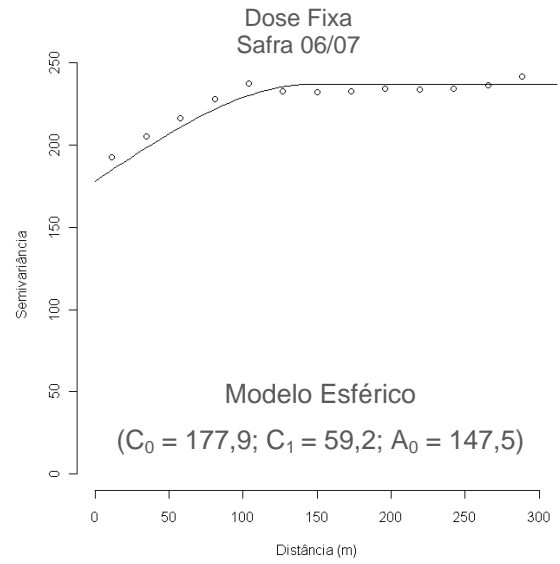
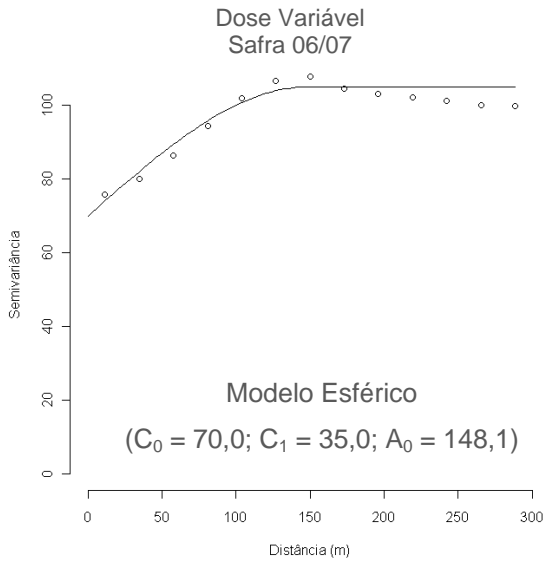
Anexo 11 – Modelos ajustados aos semivariogramas da produtividade na área 2, safras 05/06 e 06/07



Anexo 12 – Modelos ajustados aos semivariogramas da produtividade na área 2, safra 07/08

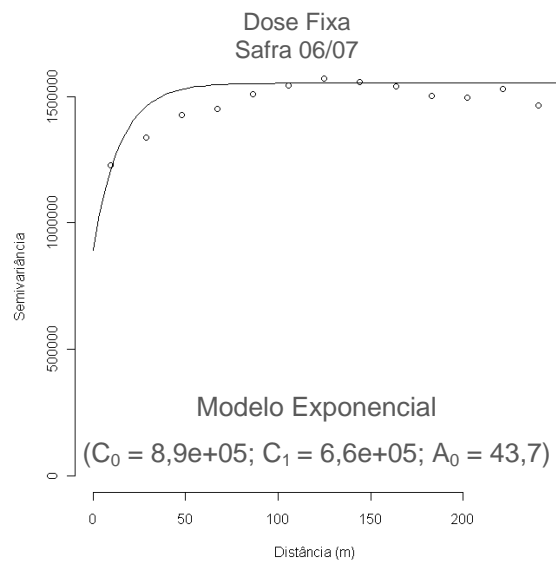
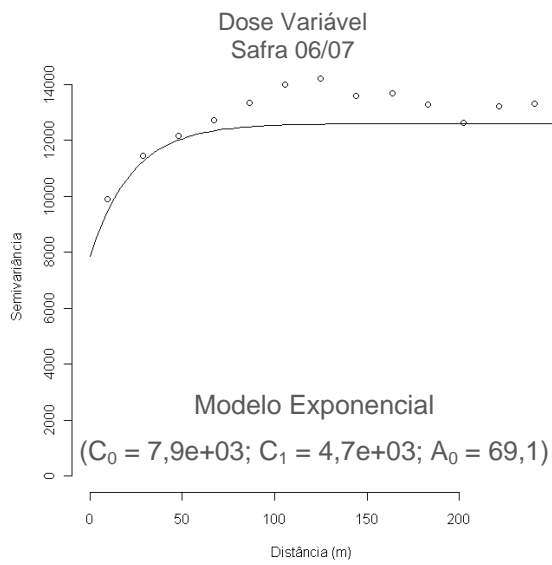
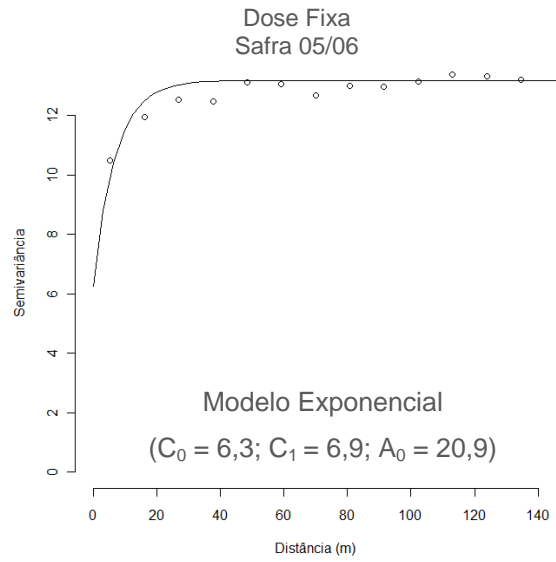
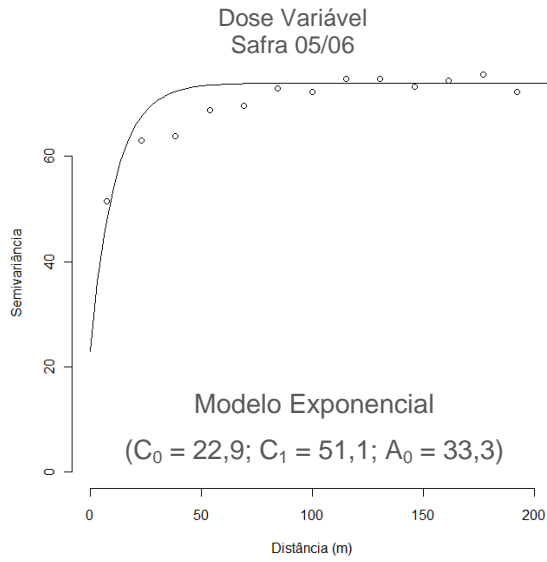


Anexo 13 – Modelos ajustados aos semivariogramas da produtividade na área 3, safra 05/06

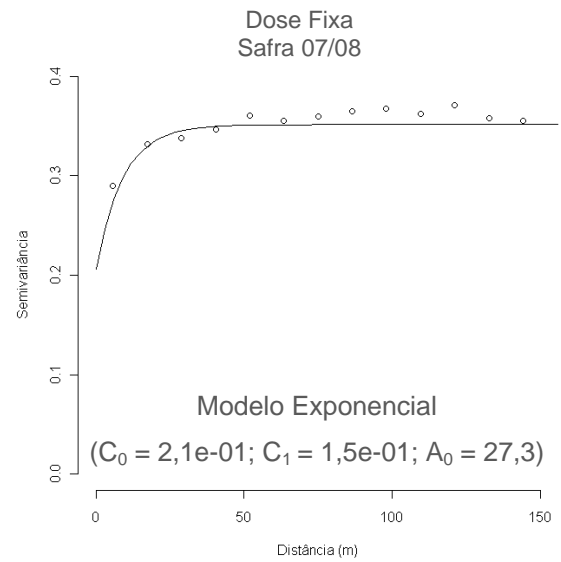
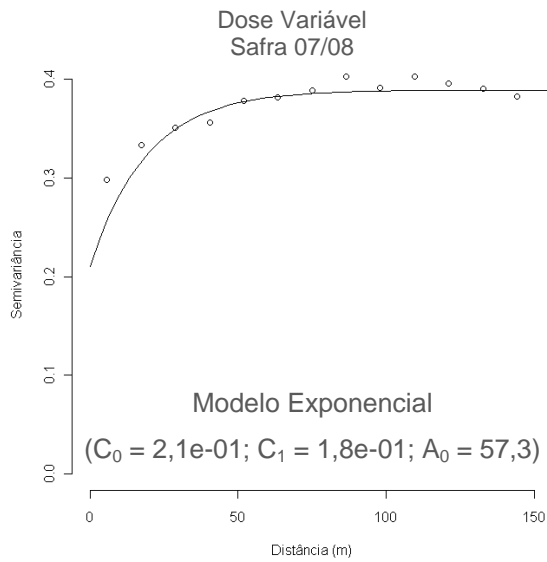


Anexo 14 – Modelos ajustados aos semivariogramas da produtividade na área 3, safras 06/07 e 07/08

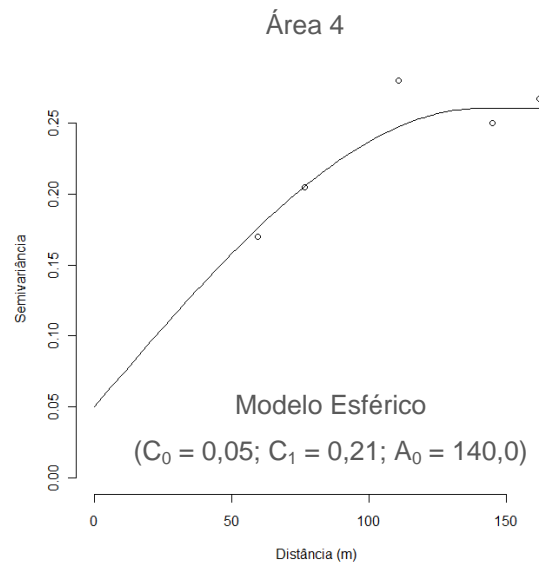
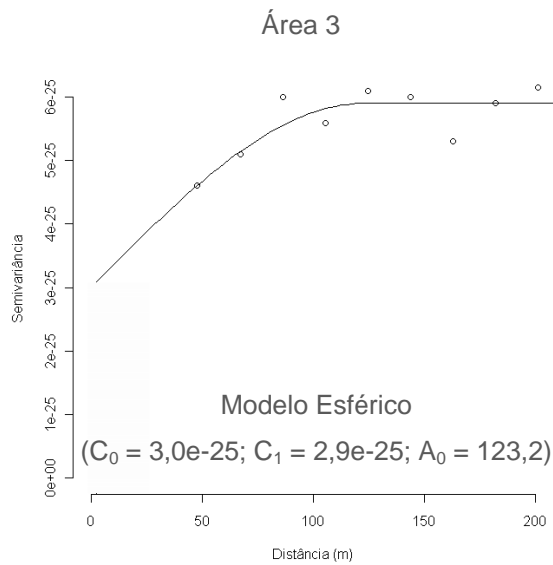
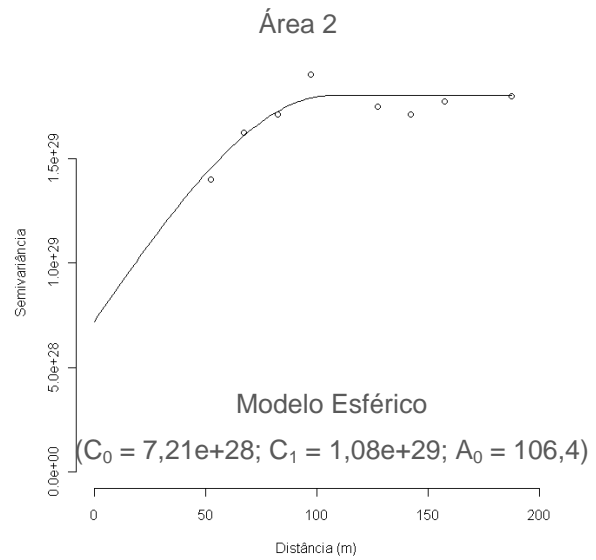
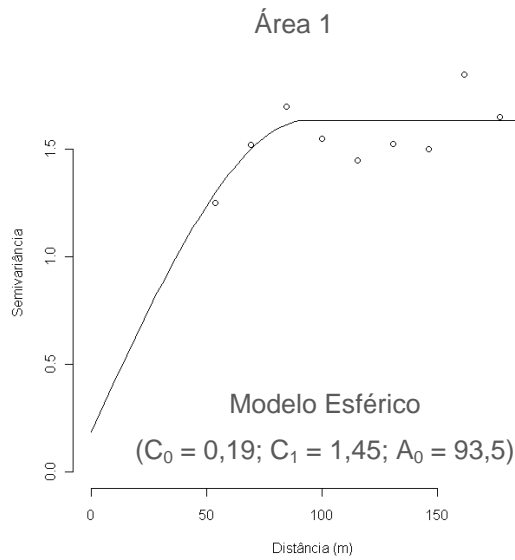




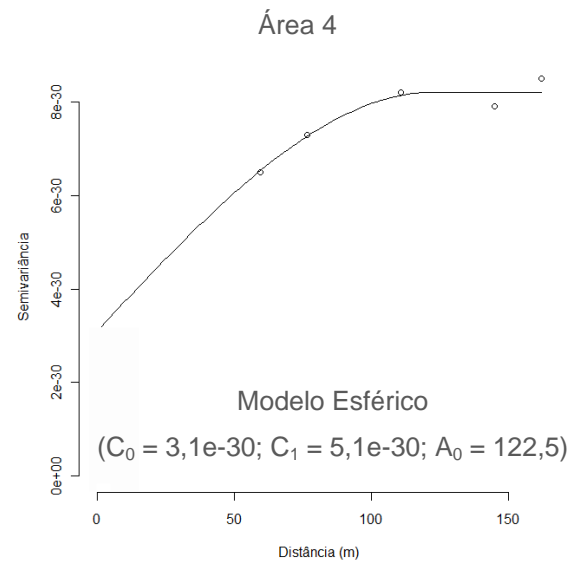
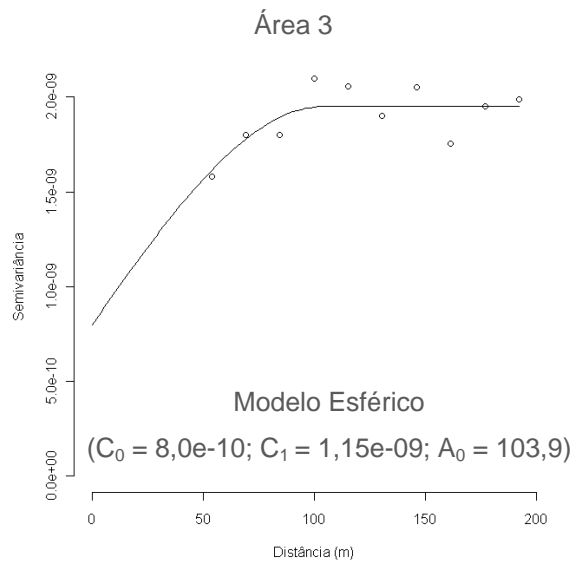
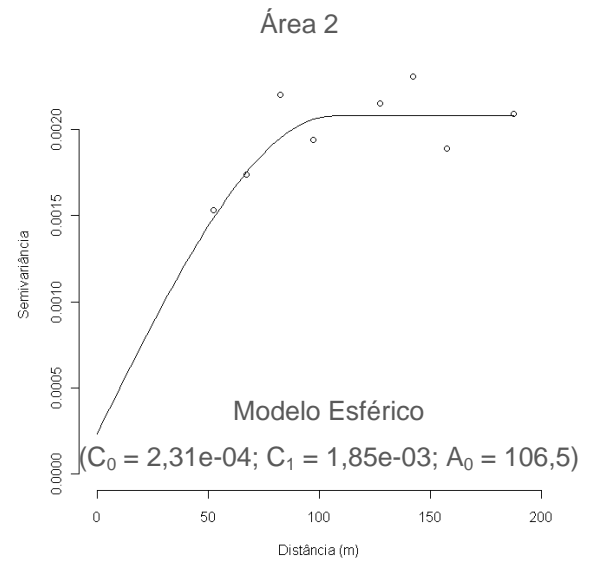
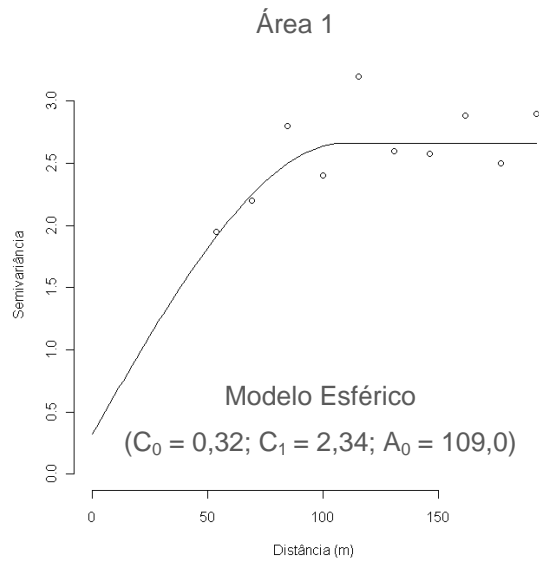
Anexo 15 – Modelos ajustados aos semivariogramas da produtividade na área 4, safras 05/06 e 06/07



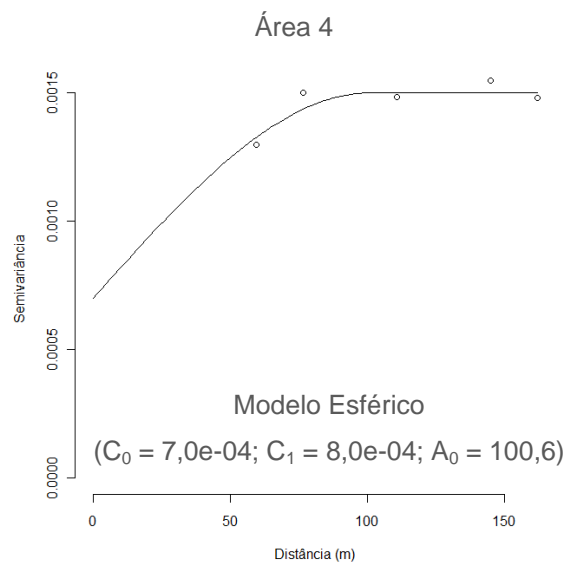
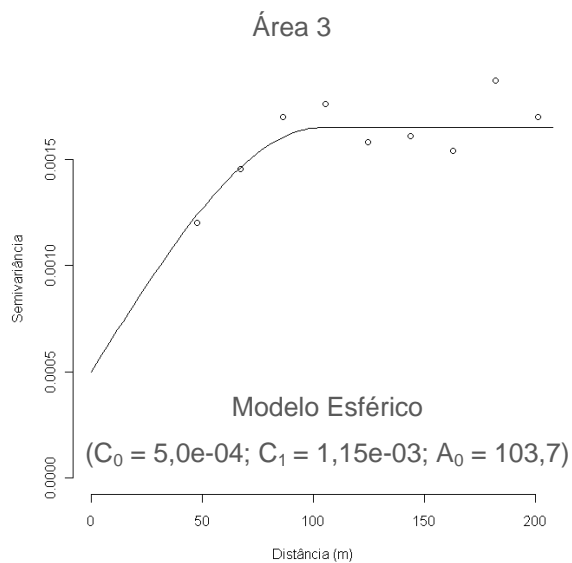
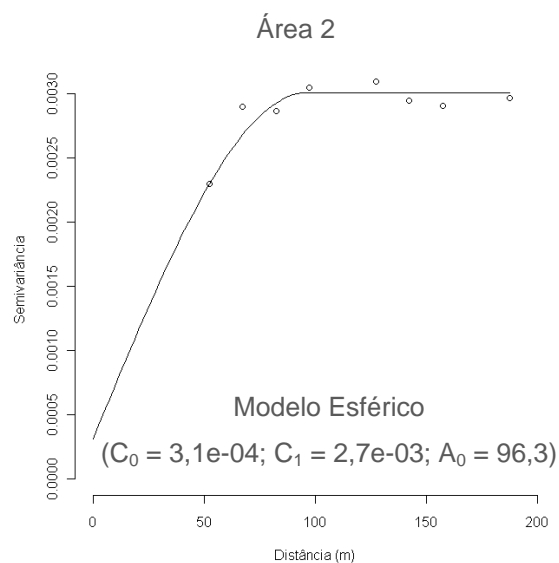
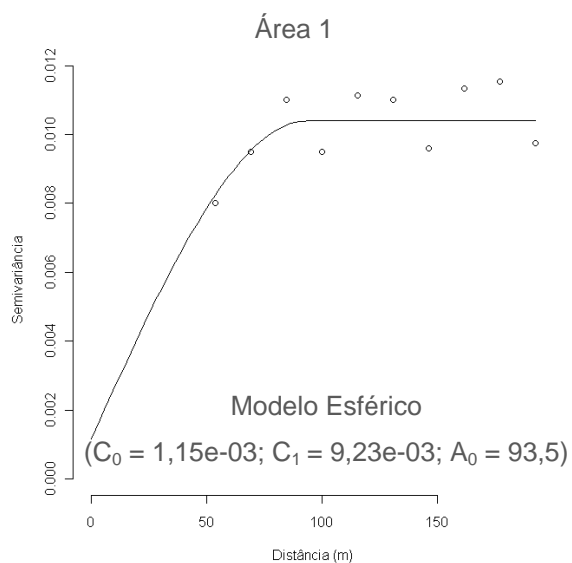
Anexo 16 – Modelos ajustados aos semivariogramas da produtividade na área 4, safrá 07/08



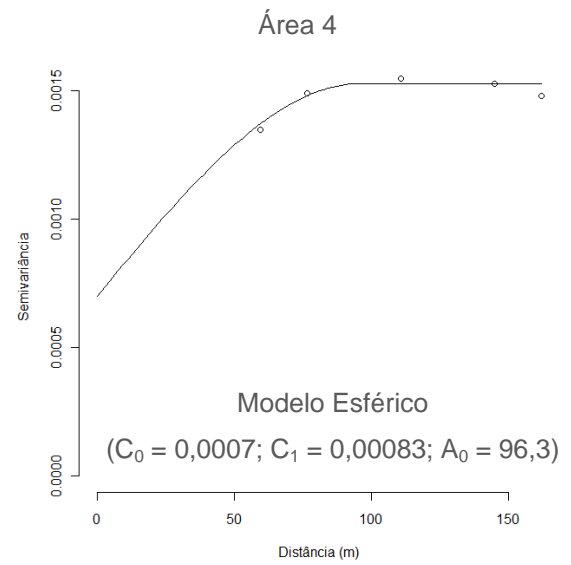
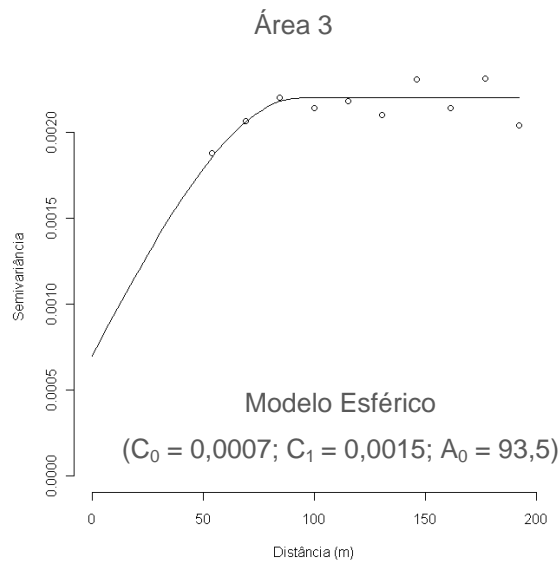
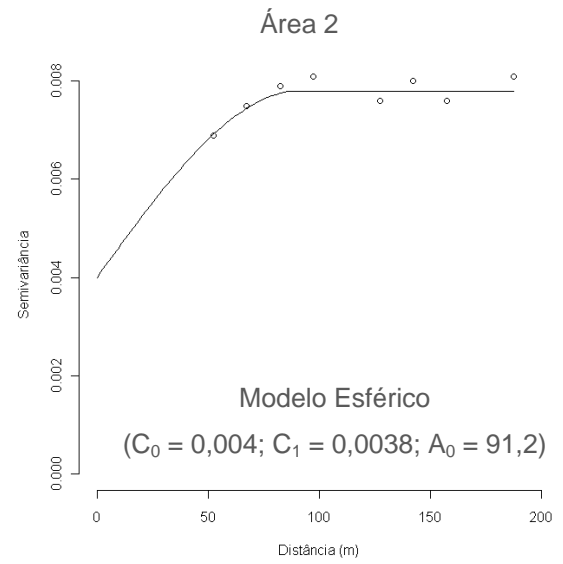
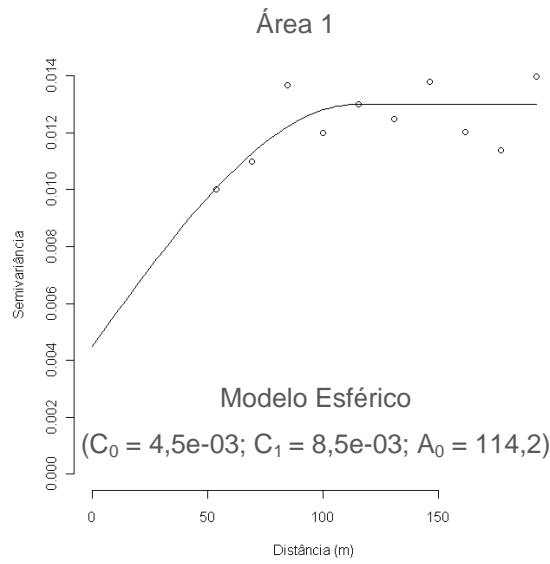
Anexo 17 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de nitrogênio foliar no tratamento “Dose Variável”



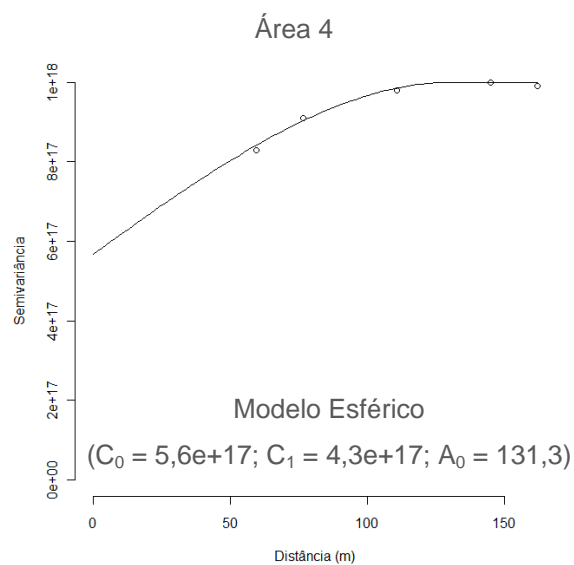
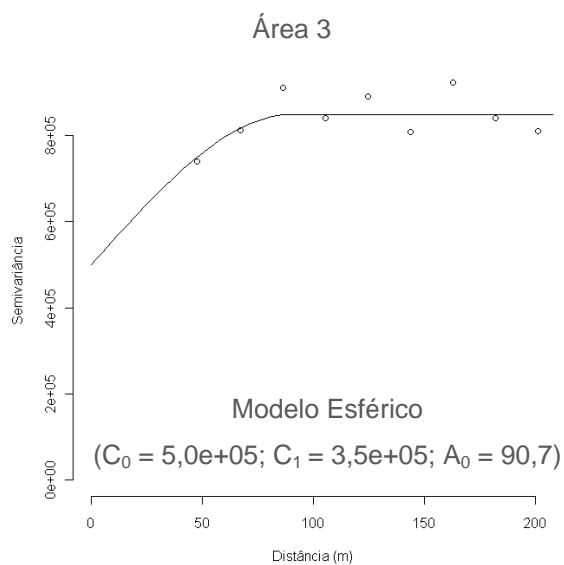
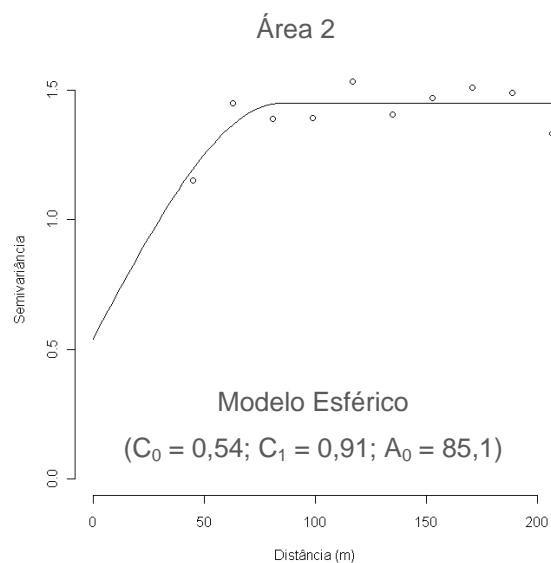
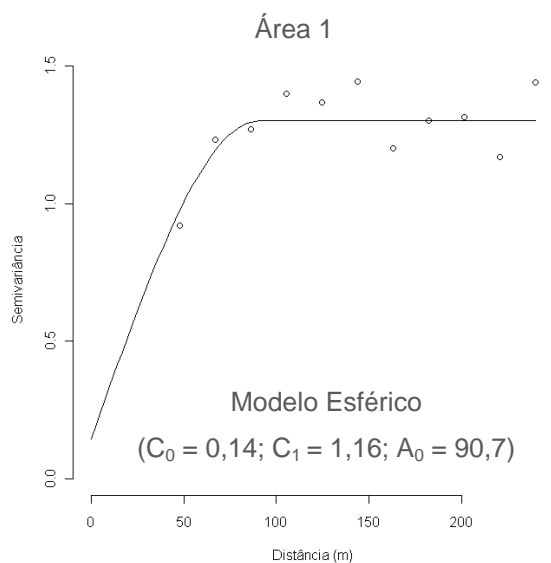
Anexo 18 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de nitrogênio foliar no tratamento “Dose Fixa”



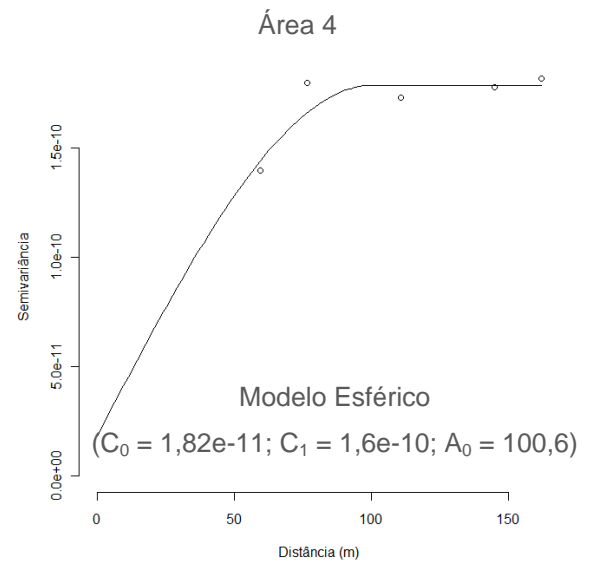
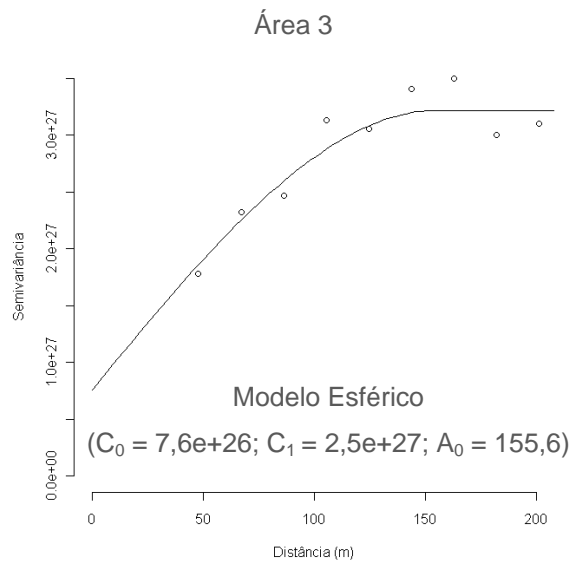
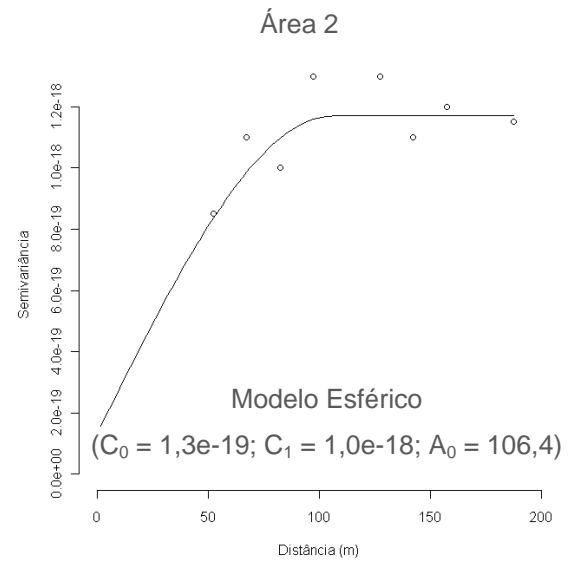
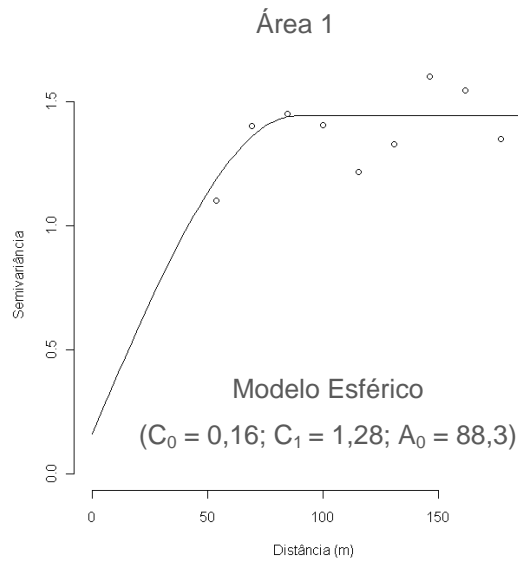
Anexo 19 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de fósforo foliar no tratamento “Dose Variável”



Anexo 20 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de fósforo foliar no tratamento “Dose Fixa”



Anexo 21 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de potássio foliar no tratamento “Dose Variável”



Anexo 22 – Modelos ajustados aos semivariogramas do teor de potássio foliar no tratamento “Dose Fixa”