

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**VARIABILIDADE DE AMÔNIO E NITRATO  
EM SOLOS SOB SISTEMAS DE MANEJO NO  
CERRADO**

**EMANUEL JOSÉ RODRIGUES DE MAGALHÃES**

**EMANUEL JOSÉ RODRIGUES DE MAGALHÃES**

**VARIABILIDADE DE AMÔNIO E NITRATO  
EM SOLOS SOB SISTEMAS DE MANEJO NO  
CERRADO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

**Brasília, DF  
Junho de 2014**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MAGALHÃES, Emanuel José Rodrigues de

“VARIABILIDADE DE AMÔNIO E NITRATO EM SOLOS SOB SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO”. Orientação: Cícero Célio de Figueiredo, Brasília 2014. 42 páginas  
Monografia de Graduação (G) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2014.

1. Amostragem      2. Plantio Direto      3. Cultivo convencional      4. Nitrogênio

I. Figueiredo, C.C.de. II. Drº.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MAGALHÃES, E.J.R. Variabilidade de amônio e nitrato em solos sob sistemas de manejo no Cerrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2014, 42 páginas. Monografia.

## CESSÃO DE DIREITOS

**Nome do Autor:** EMANUEL JOSÉ RODRIGUES DE MAGALHÃES

**Título da Monografia de Conclusão de Curso:** Variabilidade de amônio e nitrato em solos sob sistemas de manejo no Cerrado.

**Grau:** 3º      **Ano:** 2014

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

EMANUEL JOSÉ RODRIGUES DE MAGALHÃES

# VARIABILIDADE DE AMÔNIO E NITRATO EM SOLOS SOB SISTEMAS DE MANEJO NO CERRADO

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

BANCA EXAMINADORA:

---

Cícero Célio de Figueiredo  
Doutor, Universidade de Brasília – UnB  
Orientador / e-mail: cicerocf@unb.br

---

Eloisa Aparecida Belleza Ferreira  
Doutora, Embrapa Cerrados  
Examinadora / e-mail: eloisa.belleza@embrapa.br

---

Alexsandra Duarte de Oliveira  
Doutora, Embrapa Cerrados  
Examinadora / e-mail: alexsandra.duarte@embrapa.br

*Dedico este trabalho a toda minha família,  
amigos e namorada, sempre presentes nos  
momentos de alegria e dificuldades.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Primeiramente agradecer a deus pela força de ter realizado este estudo, com saúde e perseverança.*

*Á toda minha família, por estarem sempre juntos em todos os momentos da vida e serem parte essencial da minha formação como pessoa e acadêmica. Pai, seus desejos de boa sorte ao sair de casa com certeza me acompanham na minha luta diária em busca das realizações e dos sonhos. Mãe, seu amor incondicional me fez chegar até aqui e me fez capaz de buscar novas realizações. Aos meus irmãos e irmã, que fazem parte de mim e estarão sempre no meu coração.*

*Aos colegas de faculdade, pelo companheirismo e amizade construída ao longo dos anos na universidade, que certamente levarei pelo resto da vida as experiências e os momentos compartilhados entre nós.*

*Ao professor Dr. Cícero Célio de Figueiredo, pela oportunidade de realizar este estudo sob sua orientação, à confiança depositada em mim e por se mostrar uma pessoa admirável, com grande sabedoria e experiência para ensinar. Levarei suas palavras e a convivência compartilhada como parte fundamental do meu crescimento pessoal e profissional.*

*A equipe do Laboratório de Estudos da Matéria Orgânica do Solo, pelo apoio e ajuda nos experimentos realizados. Em especial a doutoranda Juliana Hiromi pelo conhecimento e experiência transmitidos; Aos colegas Túlio e Ismail, pela grande ajuda na realização do experimento.*

*Aos técnicos e pesquisadores da Embrapa Cerrados pelas orientações e pelo apoio na condução do experimento e no fornecimento das amostras de solo.*

*Muito obrigado!*

“O senhor é minha luz e salvação; O senhor é a força da minha vida”

(Salmo 27)

MAGALHÃES, EMANUEL JOSÉ RODRIGUES DE. **Variabilidade de amônio e nitrato em solos sob sistemas de manejo no Cerrado**. 2014. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB.

## RESUMO

Os estudos relacionados a variabilidade de nitrato e amônio no solo são de grande importância para o manejo da adubação nitrogenada, visando reduzir as perdas dessas formas de N mineral na produção agrícola. A amostragem adequada do solo é uma etapa fundamental para quantificar os teores de nitrato e amônio no solo, considerando a variabilidade desses atributos e a sua influência no número de amostras coletadas. O objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade de amônio e nitrato, determinando o número adequado de amostras a serem coletadas em solos submetidos a sistemas de plantio direto e convencional no Cerrado, sob duas formas de coleta: aleatória e sistemática. Foi utilizado um experimento localizado na área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina – DF, em Latossolo Vermelho, cultivado com as culturas da soja e do milho. O procedimento para a determinação de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) envolveu a destilação por arraste de vapores das soluções contendo essas formas de nitrogênio mineral. O amônio foi a forma de nitrogênio predominante no solo, porém foi constatada maior variabilidade desse íon após a adubação nitrogenada. No SPD há maior necessidade de subamostras apenas nas coletas antes da adubação. Após a adubação nitrogenada, o sistema de preparo convencional exige um maior número de subamostras para avaliação dos teores de nitrogênio mineral. Os íons amônio e nitrato, em razão do elevado coeficiente de variação, necessitam de um número maior de subamostras do que as recomendações tradicionais, para que tenham uma representatividade adequada na área.

Palavras-chave: Amostragem; Plantio direto; Cultivo convencional; Nitrogênio.



## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Representação da área experimental (Fonte: Figueiredo, 2009).....	20
Figura 2. Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar no mês de dezembro de 2013 da área experimental (Fonte: Embrapa Cerrados).....	21
Figura 3. Aplicação de adubação nitrogenada.....	22
Figura 4. Coleta de amostras do solo.....	23
Figura 5. Pontos de amostragem da coleta sistemática do solo.....	23
Figura 6. Destilador utilizado na quantificação de nitrogênio.....	24
Figura 7. Erlenmeyers com os padrões de cores característicos de cada etapa, antes e após a titulação para quantificação de nitrogênio mineral do solo.....	25

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Valores mínimos (Min), máximos (Max), primeiro quartil (1° Q), mediana (Med), terceiro quartil (3° Q), média, desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP), coeficiente de variação (CV) e valores de Shapiro Wilk (W) dos teores de nitrato e amônio de amostras coletadas **um dia antes da adubação**, de forma aleatória e sistemática, em solo sob sistema de plantio direto (PD) e convencional (PC). 28

**Tabela 2.** Valores mínimos (Min), máximos (Max), primeiro quartil (1° Q), mediana (Med), terceiro quartil (3° Q), média, variância (Var), desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP), coeficiente de variação (CV) e valores de Shapiro Wilk (W) dos teores de nitrato e amônio de amostras coletadas um dia após a adubação, de forma aleatória e sistemática, em solo sob sistema de plantio direto (PD) e convencional (PC). 29

**Tabela 3.** Valores mínimos (Min), máximos (Max), primeiro quartil (1° Q), mediana (Med), terceiro quartil (3° Q), média, variância (Var), desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP), coeficiente de variação (CV) e valores de Shapiro Wilk (W) dos teores de nitrato e amônio de amostras coletadas **três dias após a adubação**, de forma aleatória e sistemática, em solo sob sistema de plantio direto (PD) e convencional (PC). 31

**Tabela 4.** Número de subamostras necessárias para estimar os valores de amônio e nitrato da primeira coleta, considerando erros em torno da média de 5%, 10%, 20%, 40%. 33

**Tabela 5.** Número de subamostras necessárias para estimar os valores de amônio e nitrato da segunda coleta, considerando erros em torno da média de 5%, 10%, 20%, 40%. 34

**Tabela 6.** Número de subamostras necessárias para estimar os valores de amônio e nitrato da terceira coleta, considerando erros em torno da média de 5%, 10%, 20%, 40%. 35

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. O Bioma Cerrado e o Domínio dos Latossolos.....	14
2.2. Métodos de amostragem do solo.....	15
2.2.1. Amostragem de solo em diferentes sistemas de manejo.....	16
2.3. Dinâmica de nitrato e amônio no solo e sua relação com a emissão de gases do efeito estufa pela agricultura.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1. Localização e caracterização da área experimental.....	20
3.2. Época de amostragem e condução das culturas.....	21
3.3. Determinação laboratorial de Nitrato e Amônio.....	23
3.4. Análises estatísticas.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1. Variabilidade de nitrato e amônio no solo.....	27
4.2. Número mínimo de subamostras.....	32
5. CONCLUSÕES.....	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro, antes visto como região infértil e pouco produtiva, tornou-se a maior fronteira agrícola do planeta. A topografia predominantemente plana do Cerrado, facilitando a mecanização, associada à precipitação pluvial bem marcada em níveis adequados transformaram o Cerrado em uma área de grande potencial agrícola (Felippe e Souza, 2006). Entretanto, devido à rápida expansão das atividades agropecuárias, principalmente nas três primeiras décadas de ocupação do Cerrado, com o uso intensivo e inadequado de implementos com forte impacto na estrutura do solo, associado à monocultura, contribuíram para tornar o Cerrado um dos biomas mais ameaçados no Brasil, exigindo o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de uso do solo nessa região.

A busca por maior sustentabilidade da produção nessa região envolve o uso de sistemas com mínimo revolvimento do solo e acúmulo de matéria orgânica, além de adequado e eficiente manejo da adubação, com reduzida perda de nutrientes. Para isso, faz-se necessário o conhecimento sobre a distribuição de nutrientes do solo, através de um bom método de amostragem e determinação da variabilidade espacial de desses nutrientes quando aplicados em solos sob diferentes sistemas de manejo.

A variabilidade na distribuição de elementos químicos no solo é um dos principais motivos de perdas na produção agrícola, devido a procedimentos passíveis de erros na tentativa de quantificar tais substâncias e determinar as necessidades de correção e adubação do solo. Apesar de frequentemente o solo ser tratado como homogêneo, cada área pode apresentar variações espaciais consideráveis nas suas propriedades físicas e químicas, sendo responsáveis pela variabilidade na necessidade de nutrientes e conseqüentemente na produtividade (Mercante et al., 2003).

Um dos elementos fundamentais na produção agrícola é o nitrogênio (N), normalmente o nutriente requerido em maior quantidade pelas culturas. No solo, este elemento encontra-se predominantemente na forma orgânica e, para que ocorra o seu aproveitamento pelas plantas, é necessário que seja transformado em formas minerais, principalmente  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  (Cantarella, 2007). Porém, devido às transformações químicas e biológicas sofridas no solo, à dependência de condições climáticas e dos sistemas agrícolas implantados, o nitrogênio pode apresentar elevada variabilidade, podendo causar perdas econômicas devido, principalmente, a procedimentos

inadequados de amostragem do solo, recomendando quantidades impróprias de adubos nitrogenados. Além das perdas econômicas, aplicações em excesso de nitrogênio na agricultura podem acarretar problemas ambientais, já que as transformações químicas que o N sofre no solo podem favorecer a liberação de gases de efeito estufa para o meio ambiente, principalmente na forma de óxido nitroso (Smith et al., 1998). Além disso, as concentrações de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  são determinadas quando se mede o óxido nitroso emitido pelo solo. Portanto, a variabilidade espacial dessas formas minerais de N precisa ser melhor compreendida quando são utilizados sistemas de manejo com e sem incorporação dos restos culturais ao solo.

Tendo em vista a importância da determinação de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  para fins de fertilidade do solo e de emissão de óxido nitroso, torna-se imprescindível a compreensão da variabilidade espacial desses íons em solo sob diferentes sistemas de manejo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade de amônio e nitrato em solos submetidos aos sistemas de plantio direto e convencional no Cerrado.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. O Bioma Cerrado e o Domínio dos Latossolos**

O bioma Cerrado abrange aproximadamente dois milhões de quilômetros quadrados ou 21 % da área total do país, sendo caracterizado como uma região formada por diferentes classes de solos em decorrência da grande variabilidade de formações geológicas (Klink e Machado, 2005). O clima é caracterizado por duas estações climáticas bem definidas e incidência de veranicos na estação chuvosa (Costa e Olszewski, 2008).

Esta região apresenta, em sua maioria, solos muito intemperizados, com predomínio de Latossolos que representam cerca de 46 % dos solos. Em geral os solos do Cerrado são ácidos e apresentam baixa disponibilidade de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), boro (B) e cobre (Cu), bem como possuem alta saturação por alumínio (m %) e alta capacidade de adsorção específica de fósforo (Lopes e Guilherme, 2007). A baixa fertilidade dos solos pode ser explicada por fatores naturais e ou antrópicos. Dentre as causas naturais destacam-se a gênese do solo, o predomínio de materiais de origem meta-sedimentares, pobres em elementos nutrientes e o intenso intemperismo, como principais fatores causadores de baixa fertilidade, particularmente em grandes partes das regiões tropicais e subtropicais do Brasil, onde a remoção de nutrientes do solo é mais acelerada, em razão das condições climáticas específicas (Marques et al., 2004). Porém, de maneira geral, os latossolos do Cerrado apresentam boa capacidade de drenagem, sem grandes impedimentos a mecanização agrícola, considerados adequados para a agricultura, após aplicação de corretivos e fertilizantes (Souza e Lobato, 2003; Resende et al., 2007; Bernardi et al., 2009).

## 2.2. Métodos de amostragem do solo

Amostragem de solo é definida como uma série de operações que permite extrair de um sistema de porções que, combinadas e reduzidas a tamanho apropriado, dão uma parcela com características representativas do sistema (Chitolina et al., 1999). Para a Fertilidade do Solo, a amostra representativa é aquela que melhor reflete as condições de fertilidade de uma área específica.

O solo pode apresentar na paisagem natural variabilidade espacial e temporal de seus atributos, resultantes de diversos fatores, dentre eles, aqueles responsáveis por sua formação (Montezano et al., 2006). O aumento da heterogeneidade dos atributos dos solos, também é proporcional e contínuo com relação às práticas agrícolas adotadas ao longo do tempo, desde os processos de desmatamento, preparo do solo, rotações de culturas e modo de aplicação dos fertilizantes (faixas ou em linhas) (Cavalcante et al., 2007). Sendo assim, esses fatores devem ser considerados no sistema de amostragem para avaliação da fertilidade dos solos.

Uma área a ser amostrada deve ser dividida em estratos, glebas ou talhões, considerando a topografia, cobertura vegetal natural ou o uso agrícola, textura, cor, condições de drenagem do solo, histórico de manejo e de produtividade agrícola. Além destes, outros atributos podem ser utilizados com o propósito de definir glebas mais homogêneas (Cantarutti et al., 2007)

Por mais uniforme que seja uma gleba, haverá, sempre, a variabilidade intrínseca ao solo. As características químicas, em especial, têm intensa variabilidade a curtas distâncias no solo. É certo que não se deve coletar menos que dez amostras simples por gleba. Este número deve aumentar à medida que as condições naturais ou o manejo imprimam maior variabilidade nas características do solo. Essa variabilidade aumenta com a intensificação do uso agrícola decorrente da aplicação de corretivos incorporados ou não em definida camada do solo, da aplicação localizada de fertilizantes e/ou decomposição também localizada de resíduos orgânicos. Tais efeitos se fazem, ainda, mais intensos no sistema de plantio direto, graças à não homogeneização do solo por meio de aração e gradagem (Cantarutti et al., 2007).

Uma característica do plantio convencional e suas variações é a distribuição uniforme dos elementos inorgânicos e orgânicos na camada trabalhada. Essa distribuição normalmente induz teores de nutrientes inferiores aos encontrados em solos

submetidos ao plantio direto, notadamente para nitrogênio, fósforo, potássio e carbono, devido à mineralização, maior fixação e perdas por erosão. (SOUZA, 1992).

Considerando que a adubação acentua as microvariações, devem ser tomados cuidados especiais na coleta das amostras simples em glebas com cultura, sobretudo naquelas com sistema de cultivo intensivo ou com plantio direto. Uma alternativa é distribuir proporcionalmente os pontos de coleta das amostras simples entre as áreas não influenciadas ou influenciadas pelo fertilizante (Cantarutti et al., 2007).

A amostragem de campo é uma etapa importante na análise da variabilidade espacial de solos, visto que pode indicar áreas que necessitam de um manejo diferenciado, visando à coleta de dados mais representativos e detalhados da área (Marques Júnior et al., 2008). Portanto, é preciso aliar um número mínimo de pontos amostrados (amostras compostas) com uma máxima representação do local amostrado, para obtenção de mínima variância, maximizando o esquema de amostragem e reduzindo os custos (Montanari et al., 2008).

Amostras de solo destinadas às análises de nitrato e amônio, com interesse de pesquisa, exigem ainda maiores cuidados. Devem ser colocadas em sacolas de plástico limpas e identificadas, acondicionadas em caixa térmica com gelo e encaminhadas o mais rápido possível ao laboratório responsável pela análise. Outra opção, para evitar perdas ou transformação do nitrogênio das amostras, consiste em levar ao campo frascos com solução de KCl, nos quais são colocados um volume conhecido de solo (Silva et al., 2010).

### **2.2.1. Amostragem de solo em diferentes sistemas de manejo**

Quando se trata de amostras de solo para avaliação de sua fertilidade, é preciso considerar o sistema de cultivo do solo. No plantio convencional, o revolvimento constante do solo provoca uma homogeneização na camada de solo mobilizada. Uma característica do plantio convencional, e suas variações, é a distribuição uniforme dos elementos inorgânicos e orgânicos na camada trabalhada. Essa distribuição normalmente induz a estimativas de concentração de nutrientes inferiores aos encontrados em solos submetidos ao plantio direto, notadamente para nitrogênio, fósforo, potássio e carbono (Souza, 1992). Já no sistema plantio direto, a variabilidade das características químicas do solo é maior do que no preparo convencional, tanto no



sentido horizontal como em profundidade no perfil do solo. Em áreas com sistema de plantio direto há uma tendência de concentração dos nutrientes e da matéria orgânica nos primeiros centímetros de solo (Young Jr., 1982; Muzilli, 1983; Centurion et al., 1985). Tal fator pode ser explicado pela não incorporação de fertilizantes e corretivos no solo nesse tipo de sistema, além da decomposição dos resíduos culturas nas camadas mais superficiais do solo.

Como as características de fertilidade são alteradas, em sua magnitude e distribuição no solo, com o manejo e os cultivos no sistema plantio direto, a utilização dos procedimentos de amostragem de solo recomendados para o sistema convencional de cultivo poderá resultar na coleta de amostras não-representativas do estado de fertilidade do solo no sistema plantio direto. Isso se deve ao fato da aplicação de fertilizante no plantio direto ser localizada e mais heterogênea em relação ao cultivo convencional. Por isso, é necessário o estabelecimento de procedimentos de coleta de amostras de solos para fins de recomendação de adubação e de calagem no sistema plantio direto que levem em consideração esses tipos de variação (Anghinoni, 2007).

As principais causas da maior variabilidade dos índices de fertilidade no sistema plantio direto devem-se, principalmente, às aplicações localizadas, no sulco de semeadura ou em superfície, dos adubos e corretivos e ao não-revolvimento do solo. A adubação localizada mantém uma ação residual prolongada, especialmente para os nutrientes poucos móveis no solo, como o fósforo (Anghinoni, 2007).

### **2.3. Dinâmica de nitrato e amônio no solo e sua relação com a emissão de gases do efeito estufa pela agricultura**

Grande parte do nitrogênio encontrado no solo está na forma orgânica, presente na matéria orgânica em diferentes formas moleculares ou como parte de organismos vivos. Entretanto, estes compostos nitrogenados são, em geral, rapidamente transformados em substâncias mais simples por organismos que vivem no solo. As frações inorgânicas do nitrogênio são compostas principalmente por amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), mas pequenas concentrações de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) podem ocorrer em algumas situações (Silva et al., 2010).

A disponibilização de N orgânico do solo para as plantas passa pelo processo de mineralização, definido como a transformação do N da forma orgânica para a

inorgânica ( $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NO}_3^-$ ). O processo é realizado por microrganismos heterotróficos do solo, que utilizam os compostos orgânicos como fonte de energia (Cantarella, 2007).

As condições ótimas para a mineralização do N orgânico do solo são aquelas que favorecem a atividade dos microrganismos: pH de 6 a 7, condições aeróbicas, umidade em torno de 50 a 70% da capacidade de retenção de água pelo solo, temperatura entre 40 e 60° C (Moreira e Siqueira, 2002). Tais condições são também favoráveis ao crescimento das plantas. No entanto, graças à variedade de organismos envolvidos, as reações de mineralização ocorrem em ampla gama de condições de acidez, temperatura e umidade (Cantarella, 2007).

Uma sequência do processo de mineralização envolve a nitrificação, uma oxidação do N amoniacal a nitrato, realizada no solo por bactérias quimioautotróficas que obtêm energia no processo e podem sintetizar todos os seus constituintes celulares a partir do  $\text{CO}_2$ . Organismos heterotróficos também podem converter formas reduzidas de N em  $\text{NO}_2^-$  ou  $\text{NO}_3^-$ , porém, é pouco provável que desempenhem papel relevante para a nitrificação em ambientes naturais (Schmidt, 1982).

Geralmente, o N amoniacal no solo é rapidamente absorvido por microrganismos e incorporado à biomassa microbiana se houver C disponível. No entanto, é mais comum que haja, em solos, limitação de C e de energia; nessas condições, o  $\text{NH}_4^+$  é consumido pelos nitrificadores e rapidamente oxidado a  $\text{NO}_2^-$  e, posteriormente, a  $\text{NO}_3^-$ , de modo que o N-nítrico predomina nos solos em condições aeróbicas. O N-nítrico também é passível de redução assimilatória e, desse modo, pode ser imobilizado por microrganismos e retornar à forma orgânica, no ciclo de mineralização-imobilização.

Já a desnitrificação é definida como um processo respiratório, que acontece na ausência de  $\text{O}_2$ , no qual óxidos de N servem como receptores finais de elétrons (Cantarella et al., 2007). Os dois principais produtos da desnitrificação são o  $\text{N}_2\text{O}$  e o  $\text{N}_2$ . Como o  $\text{N}_2\text{O}$  é um gás importante para o efeito estufa e um intermediário nas reações que resultam na destruição do ozônio na estratosfera, há o interesse em conhecer a quantidade emitida do solo durante a desnitrificação e as condições que a favorecem (Grofman, 2000). Altas concentrações de  $\text{NO}_3^-$  inibem quase que totalmente a redução do  $\text{N}_2\text{O}$  para  $\text{N}_2$  e este efeito é intensificado pela acidez. Assim, o aumento da relação  $\text{N}_2\text{O}/\text{N}_2$  é favorecido pelo aumento na disponibilidade de  $\text{NO}_3^-$  e pela

acidificação do solo (Firestone, 1982; Bremner, 1997). Por outro lado, a disponibilidade de C reduz a relação  $N_2O/N_2$  (Firestone, 1982).

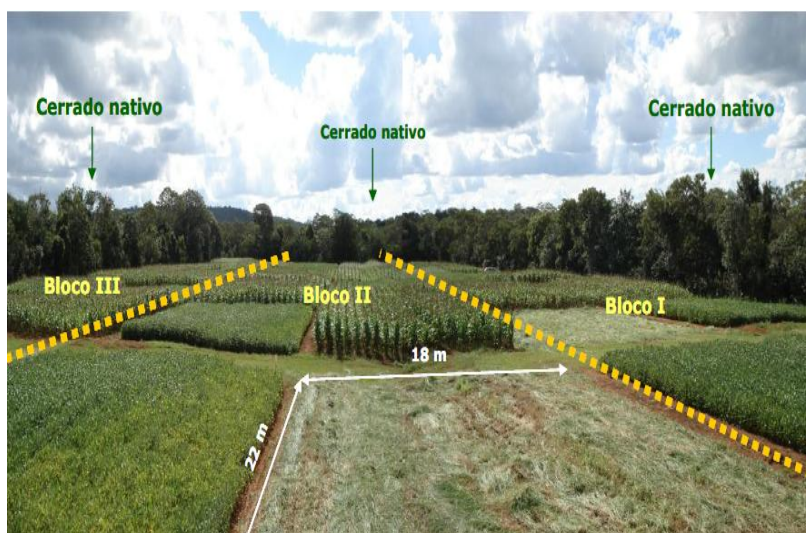
As emissões de  $N_2O$  estão normalmente associadas à fertilização nitrogenada, sendo a emissão derivada dos processos de nitrificação e desnitrificação. Dados obtidos de sistemas de produção agrícola demonstram que o  $N_2O$  é emitido em resposta a adubação nitrogenada (Smith et al., 1998; Sarkodie-Addo et al., 2003; Mosier et al., 2004). Altas taxas de emissão de  $N_2O$  ocorrem quando o solo apresenta grande parte da porosidade preenchida por água (PPA), acima de 60%, o que dificulta a difusão de  $O_2$  no solo e favorece a formação de ambientes anaeróbicos (Dobbie e Smith, 2001; Smith et al., 2003; Bateman e Baggs, 2005).

Devido à complexidade das transformações de nitrogênio no solo, os teores de amônio e nitrato, por serem considerados substratos para as bactérias denitrificadoras, são determinados no momento das quantificações das emissões de óxido nitroso do solo. No entanto, pouco se sabe sobre a variabilidade de nitrato e amônio em solos do Cerrado, antes e após a adubação nitrogenada em solos sob diferentes sistemas de manejo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

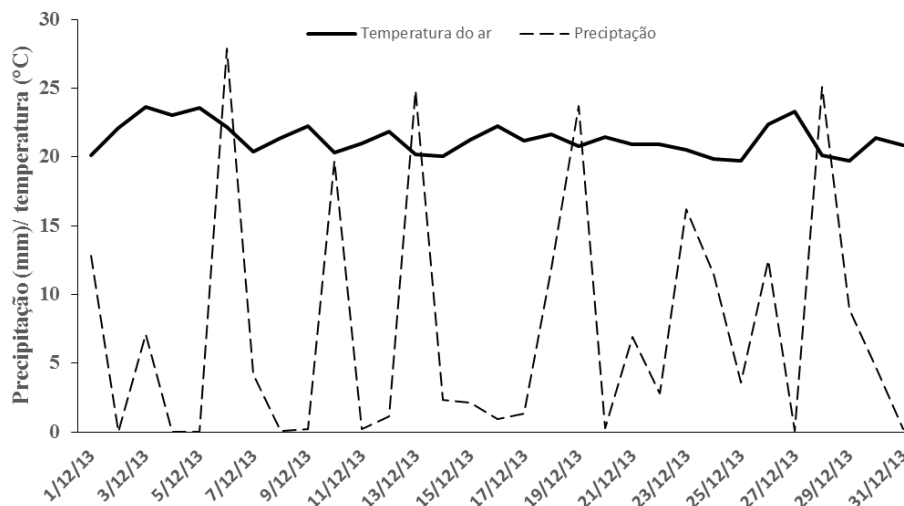
#### 3.1. Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido nos campos experimentais da Embrapa Cerrados, localizado em Planaltina-DF ( $15^{\circ}35'30''\text{S}$  e  $47^{\circ}42'00''\text{W}$  e altitude de 1.014 m). Todos os tratamentos foram instalados em um Latossolo Vermelho de textura argilosa (Figura 1).



**Figura 1.** Representação da área experimental (Fonte: Figueiredo, 2009)

O clima da região corresponde ao tipo Aw (tropical chuvoso), segundo classificação de Köppen, com presença de invernos secos e verões chuvosos. Uma característica marcante do clima local e do Cerrado, de maneira geral, é um período sem chuvas, dentro da estação chuvosa, conhecido como veranico (Adámoli et al., 1986). Os dados de precipitação pluviométrica diária e temperatura média do ar na área experimental no mês de dezembro de 2013 são apresentados na figura 2.



**Figura 2.** Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar no mês de dezembro de 2013 da área experimental (Fonte: Embrapa Cerrados)

### 3.2. Época de amostragem e condução das culturas

Trata-se de um experimento de longa duração, em seu 18º ano, que avalia a dinâmica de sistemas de manejo do solo em rotação soja-milho.

A soja cultivar BRAS 110016 foi plantada em 20 de outubro de 2013. O espaçamento utilizado foi de 45 cm entre linhas e dezesseis plantas por metro. As sementes, com poder germinativo de 88%, foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se as estirpes SEMIA 5080 e SEMIA 5079, na concentração de 0,5 kg de inoculante para cada 40 kg de sementes. Estas sementes foram tratadas com fungicida Vitavax Thiram® na dosagem de 120 mL com 80 mL do inseticida Standak® para cada 40 kg de sementes. A adubação de plantio foi de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-20-20. Como tratamento fitossanitário foi realizada aplicação de herbicida Roundup® na dosagem de 3 L ha<sup>-1</sup> e 2,4D na dosagem de 2 L ha<sup>-1</sup> no dia 9 de outubro de 2013. Foi aplicado o herbicida Dual Gold® na dosagem de 2 L ha<sup>-1</sup> em 20 de outubro de 2013.

O milho cultivar híbrido 30F53H foi plantado em 22 de outubro de 2013. O espaçamento utilizado foi de 70 cm entre linhas. A adubação de plantio foi de 350 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 4-30-16 e posteriormente duas aplicações de cobertura com 70 kg de

ureia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) (Figura 3), sendo a primeira realizada em 11 de novembro de 2013 e a segunda adubação de cobertura em 8 de dezembro de 2013.

A coleta do solo foi realizada em três momentos distintos. A primeira coleta foi realizada um dia antes da adubação com fertilizante nitrogenado, no dia 7 de dezembro de 2013. A segunda coleta foi obtida dois dias após a primeira, e um dia após a aplicação do fertilizante, em 9 de dezembro de 2013. A última coleta foi realizada em 11 de dezembro de 2013, dois dias após a aplicação de fertilizante. As amostras foram coletadas na profundidade 0-10 cm, sob duas formas de amostragem: aleatória e sistemática.

Na amostragem aleatória (Figura 4), foram coletadas amostras em pontos diversos da parcela, caracterizado por um caminhar irregular e aleatório. Já no método sistemático a amostragem foi realizada ao longo das linhas de plantio e nas entrelinhas de cultivo, com uma distância de 12,5 cm entre cada ponto de coleta (Figura 5). Tanto a amostragem aleatória quanto a sistemática foram realizadas numa área com plantio direto e em outra área com plantio convencional, com um número de 15 amostras por parcela, sendo estes os dois sistemas de manejo utilizados no experimento.

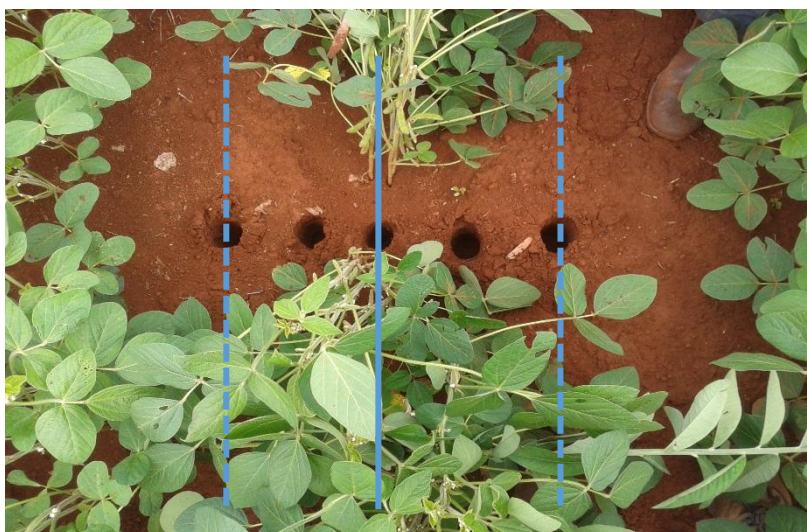


**Figura 3.** Aplicação de adubação nitrogenada





**Figura 4.** Coleta de amostras do solo



**Figura 5.** Pontos de amostragem da coleta sistemática do solo

### **3.3. Determinação laboratorial de Nitrato e Amônio**

As análises foram realizadas no Laboratório de Estudos da Matéria Orgânica do Solo da Universidade de Brasília. O procedimento para a determinação de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) envolveu a extração do nitrogênio das amostras. Foram adicionados 150 ml da solução  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  a frascos de vidro com tampa contendo 15g de solo úmido. Agitou-se manualmente os frascos e a mistura solo-solução foi

deixada descansando por uma noite. Em seguida, foram transferidos cerca de 10 ml de extrato para destilação de nitrogênio. Para cada amostra foram enumerados dois erlenmeyers de 50 ml (um para nitrato e outro para amônio). Em cada erlenmeyer adicionaram-se 5 ml de solução indicadora de ácido bórico a 2%. A destilação foi realizada em microdestilador Kjeldahl (Figura 6).

A partir da extraído, iniciou-se a destilação por arraste de vapores das soluções contendo essas formas de nitrogênio mineral, MgO e liga de Devarda com elevada pureza. Em meio alcalino forte, criado pela adição do MgO, o  $\text{NH}_4^+$  é convertido à amônia ( $\text{NH}_3$ ) que é arrastada por vapores, condensada e depositada em solução de ácido bórico. O uso da liga de Devarda foi utilizada com a finalidade reduzir o nitrato a amônio, que é convertido a  $\text{NH}_3$ . A quantificação do N nas formas de amônio e nitrato se dá indiretamente por titulação com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125N, via restituição do ácido bórico utilizado na formação de borato de amônio, composto que confere a cor verde-azulada à solução condensada.



**Figura 6.** Destilador utilizado na quantificação de nitrogênio

Para a destilação do amônio, foram colocados cerca de 0,25g de óxido de magnésio em cada tubo de ensaio, adicionados 10 ml do extrato da amostra. Acoplou-se o tubo ao destilador e abriu o registro para controle de vapor. Após o erlenmeyer



completar o volume de 30 ml a partir do condensado, este foi coletado para posterior titulação com solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125N.

Para determinação de nitrato, utilizou-se o mesmo tubo de ensaio da quantificação do amônio, com o acréscimo da liga de Devarda. Assim como para o amônio, o erlenmeyer com ácido bórico ao atingir o volume de 30 ml com o condensado, foi coletado para posterior titulação com solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125N.

Antes e após cada procedimento de análise, foram preparadas duas provas em branco, colocando 10 ml de KCl em tubos de ensaio e realizando o mesmo procedimento descrito acima, tanto para amônio quanto para nitrato.

Todo o conteúdo condensado e coletado na destilação foi encaminhado para a titulação, onde a quantidade gasta de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125N, para a viragem no padrão de cor (Figura 7), foi utilizada para os cálculos de determinação de amônio e nitrato das amostras do solo.



**Figura 7.** Erlenmeyers com os padrões de cores característicos de cada etapa, antes e após a titulação para quantificação de nitrogênio mineral do solo

### 3.4. Análises estatísticas

Os resultados analíticos de nitrato e amônio do solo, para as subamostras coletadas em cada área, considerando o sistema de manejo e a forma de coleta, foram

submetidos a análise estatística descritiva e ao teste de normalidade de Shapiro Wilk, utilizando-se o software XLSTAT 2013.

Para verificar a variabilidade dos atributos de fertilidade estudados foi determinado o número mínimo de subamostras para formar uma amostra composta representativa de cada área, utilizando os resultados analíticos das subamostras para o cálculo dos coeficientes de variação e os parâmetros estatísticos indicados na equação (1), utilizada por Carvalho et al. (2002), Alvarez e Guarçoni (2003), Oliveira et al. (2007), Rozane et al. (2011) e Cardoso et al. (2014), com algumas modificações quanto à sua denominação e definição dos termos da equação. O número de subamostras (N) requeridas para a estimativa da média dos atributos foi calculada a partir do coeficiente de variação (CV %), do erro percentual admitido em torno da média (f) e do valor (t) relativo à probabilidade de 95%.

$$N = (CV * t / f)^2 \quad (1)$$

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Variabilidade de nitrato e amônio no solo**

Os resultados da avaliação estatística descritiva (valores mínimos, máximos, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil, médias, coeficiente de variação, desvio padrão, erro padrão da média e valores de Shapiro Wilk) para amônio e nitrato, em plantio direto e plantio convencional, em diferentes épocas de coleta encontram-se nas tabelas 1, 2 e 3.

De maneira geral, na coleta realizada um dia antes da adubação nitrogenada (Tabela 1), os teores de amônio foram superiores aos de nitrato, independente da forma de coleta e do sistema de manejo do solo. O acúmulo de  $\text{NH}_4^+$  em determinadas microrregiões no solo pode ser decorrente da redução na taxa de nitrificação (Cantarella, 2007). Os maiores teores médios de amônio foram verificados na coleta sistemática, tanto para SPD quanto para SPC. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato da coleta sistemática necessariamente contemplar a linha de plantio onde o adubo nitrogenado foi aplicado, elevando os teores médios de amônio no solo.

**Tabela 1.** Valores mínimos (Min), máximos (Max), primeiro quartil (1° Q), mediana (Med), terceiro quartil (3° Q), média, desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP), coeficiente de variação (CV) e valores de Shapiro Wilk (W) dos teores de nitrato e amônio de amostras coletadas **um dia antes da adubação**, de forma aleatória e sistemática, em solo sob sistema de plantio direto (PD) e convencional (PC).

Estatística	Sistema de manejo							
	PD				PC			
	Sistemático		Aleatório		Sistemático		Aleatório	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Mín.	0,149	0,162	0,151	0,154	0,158	3,318	0,159	0,160
Máx.	21,065	37,639	19,965	15,732	17,888	36,422	20,189	24,392
1° Q	0,162	8,183	0,158	0,162	3,764	8,081	1,125	8,013
Med.	4,066	11,967	3,084	7,737	4,061	16,043	4,122	8,267
3° Q	8,941	20,081	8,319	8,168	8,085	19,083	8,173	16,252
Média	6,017	14,263	5,250	5,547	5,458	15,576	6,143	10,752
CV	102	56	115	87	71	62	91	62
DP	6,139	7,982	6,034	4,812	3,864	9,715	5,567	6,701
EP	1,121	1,457	1,102	0,879	0,706	1,774	1,016	1,223
W	0,86 <sup>ns</sup>	0,93*	0,81 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,93*

\*significativo a 5% ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Shapiro Wilk.

Em relação à variabilidade dos dados, os valores do coeficiente de variância (CV) foram elevados (>56%). O nitrato apresentou maior CV do que o amônio em todas as formas de coleta e em ambos os sistemas de manejo. Os valores elevados de CV para o nitrato, antes da adubação, podem estar relacionados com as condições ambientais e oscilações pluviométricas típicas do período de coleta, na região, que interferem diretamente nas reações de nitrificação e desnitrificação.

A elevada variabilidade dos dados na coleta antes da adubação pode ser atribuída às adubações anteriores (semeadura e primeira cobertura), acumulando nitrogênio principalmente nas linhas de plantio. As menores amplitudes foram verificadas, de modo geral, para o amônio no SPC, demonstrando o efeito da mistura do adubo no solo após as arações. Já o nitrato apresentou maior amplitude, ou seja, maior dispersão em torno da média, sendo essa variabilidade maior no solo sob plantio direto.

Os valores médios observados da coleta realizada um dia após a adubação (Tabela 2), foram mais discrepantes do que os valores da coleta realizada antes da adubação, principalmente para o amônio no plantio convencional sob a forma de coleta sistemática. Tal fato é resultado da coleta de amostras em pontos com alta concentração do adubo nitrogenado e outros com pouca quantidade, elevando a variabilidade no solo. Além disso, a maior dispersão dos dados de amônio, em relação a primeira coleta, pode ser atribuída ao próprio ciclo biológico do nitrogênio, em que o íon  $\text{NH}_4^+$  se forma primeiro do que o íon  $\text{NO}_3^-$ , podendo estar em maior quantidade nas amostras de solo logo após a adubação com fontes amoniacais, amídicas ou orgânicas (Moreira & Siqueira, 2006).

**Tabela 2.** Valores mínimos (Min), máximos (Max), primeiro quartil (1° Q), mediana (Med), terceiro quartil (3° Q), média, variância (Var), desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP), coeficiente de variação (CV) e valores de Shapiro Wilk (W) dos teores de nitrato e amônio de amostras coletadas **um dia após a adubação**, de forma aleatória e sistemática, em solo sob sistema de plantio direto (PD) e convencional (PC).

Estatística	Sistema de manejo							
	PD				PC			
	Sistemático		Aleatório		Sistemático		Aleatório	
	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$
Mín.	0,02	0,16	0,15	0,15	0,01	3,87	0,15	3,81
Máx.	23,67	95,97	23,79	51,55	23,65	216,14	56,97	165,63
1° Q	0,16	7,78	3,87	7,79	0,02	11,67	3,94	11,84
Med.	4,08	19,71	7,63	12,13	3,99	15,52	7,73	19,38
3° Q	11,79	30,79	8,11	19,13	7,785	30,02	7,88	32,55
Média	6,99	22,79	6,86	14,38	5,60	37,84	8,94	28,83
CV	101	100	87	76	114	144	118	108
DP	7,088	22,78	5,974	10,95	6,38	54,45	10,52	31,23
EP	1,294	4,158	1,091	1,999	1,165	9,942	1,920	5,701
W	0,85 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Shapiro Wilk.

Assim como na coleta realizada um dia antes da adubação, os valores médios foram mais elevados para o amônio em ambos os sistemas de manejo quando

comparados ao nitrato. A área apresentou valores mais elevados um dia após a adubação, de maneira geral tanto para amônio quanto para nitrato, que pode ser explicado pela própria aplicação da ureia, além da coleta de solo em pontos com maiores concentrações do adubo em detrimento de outros, resultando numa dispersão maior dos valores em torno da média. Para o amônio a variabilidade foi mais expressiva, pois na coleta do solo antes da adubação (Tabela 1) o nitrato se encontrava com CVs mais elevados em relação ao amônio.

A grande amplitude dos teores de amônio e nitrato para os dois sistemas de manejo, evidencia os problemas que podem ser ocasionados quando se utiliza a média dos valores para tomada de decisão sobre a realização do manejo do solo e adubação nitrogenada, demonstrando que tais valores não representam de maneira adequada as condições de disponibilidade de nitrogênio em determinado solo. Alta variação nos teores de amônio e nitrato também foi observado por Poletto et al. (2008), no qual se observaram flutuações diárias de N mineral no solo em virtude das condições ambientais. Ainda de acordo com esses autores, os teores de amônio e nitrato variaram de um dia para o outro, principalmente devido às chuvas. Portanto, a ocorrência de chuvas no período de coleta pode representar mais um fator de variabilidade de N mineral no solo.

Na coleta realizada três dias após a adubação nitrogenada (Tabela 3), os valores em torno da média apresentam grande variabilidade, especialmente para o íon  $\text{NH}_4^+$  quando comparado aos períodos anteriores (Tabelas 1 e 2). Na terceira coleta, os teores médios de amônio foram mais elevados do que aqueles apresentados nas coletas anteriores, com destaque para o amônio no cultivo convencional. Enquanto os teores de nitrato pouco se alteraram em relação à primeira coleta, verificou-se aumento dos teores de amônio nas coletas após a adubação nitrogenada.

**Tabela 3.** Valores mínimos (Min), máximos (Max), primeiro quartil (1° Q), mediana (Med), terceiro quartil (3° Q), média, variância (Var), desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP), coeficiente de variação (CV) e valores de Shapiro Wilk (W) dos teores de nitrato e amônio de amostras coletadas **três dias após a adubação**, de forma aleatória e sistemática, em solo sob sistema de plantio direto (PD) e convencional (PC).

Estatística	Sistema de manejo							
	PD				PC			
	Sistemático		Aleatório		Sistemático		Aleatório	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Mín.	0,15	0,16	0,15	0,16	2,06	0,16	0,15	0,16
Máx.	31,21	118,81	29,96	162,69	20,37	218,04	57,31	122,81
1° Q	0,92	11,93	7,76	18,70	3,99	7,93	3,96	7,72
Med.	11,32	18,99	11,61	22,84	4,09	8,27	4,23	13,62
3° Q	17,87	27,19	18,11	33,69	7,98	32,59	12,06	23,97
Média	11,03	25,46	12,86	27,54	6,71	31,09	9,23	20,03
CV	84	99	62	101	76	170	120	119
DP	9,33	25,24	7,92	27,79	5,13	52,88	11,06	23,91
EP	1,70	4,61	1,45	5,07	0,94	9,65	2,02	4,36
W	0,91 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Shapiro Wilk.

Novamente, as concentrações médias de amônio foram superiores as do nitrato em ambos os sistemas de coleta (aleatório e sistemático). Isso pode ser atribuído ao fato do amônio ser o primeiro produto da mineralização do nitrogênio, influenciando os resultados mais elevados para esse componente (Cantarella, 2007).

Além da elevação nas concentrações de amônio, a adubação nitrogenada também promoveu aumento da variabilidade deste íon, três dias após a adubação. Além disso, devido ao período chuvoso típico da região na época da coleta, pode-se atribuir os baixos teores de nitrato à redução na oxigenação do solo e ao pouco tempo para ocorrer a nitrificação, fatores estes que limitam a formação do íon NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Moreira & Siqueira, 2006).

Quanto à normalidade dos dados, constatou-se pelo teste Shapiro-Wilk que as variáveis NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em todos os sistemas de manejo e modos de coleta, exceto o

amônio no plantio direto com a coleta sistemática e o amônio no cultivo convencional na coleta aleatória, não se ajustaram à distribuição normal de frequências. Os valores do critério de classificação para o coeficiente de variação (CV) proposto por Warrick e Nielsen (1980) para avaliar a dispersão dos dados revelaram-se como altos ( $CV > 24\%$ ) para amônio e nitrato, tanto em plantio direto quanto no convencional e também para os dois modos de coleta, sistemático e aleatório.

Os resultados encontrados para amônio e nitrato no solo, em ambos os sistemas de manejo e modos de coleta, demonstram que estes elementos apresentam distribuição irregular no solo. Além disso, a adubação nitrogenada com fonte amídica (ureia) promove elevação das concentrações médias e da variabilidade de amônio no solo. Essa alta variabilidade encontrada para nitrato e amônio se assemelha àquela verificada para fósforo e potássio em cana de açúcar (Cardoso et al., 2014). A incerteza também pode ser atribuída em relação à linha de plantio, especialmente na coleta sistemática, onde o adubo aplicado na linha de plantio pode elevar os teores do nutriente quando comparado às coletas nas entrelinhas o que aumenta a variabilidade dos dados.

#### **4.2. Número mínimo de subamostras**

O número de subamostras necessário para estimar o valor de cada variável estudada, considerando erros de 5 %, 10 %, 20 %, 40 % em torno da média, na coleta antes da adubação, encontra-se na tabela 4.



**Tabela 4.** Número de subamostras necessárias para estimar os valores de amônio e nitrato da primeira coleta, considerando erros em torno da média de 5%, 10%, 20%, 40%.

Erro	Sistema de manejo							
	PD				PC			
	Sistemático		Aleatório		Sistemático		Aleatório	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
5%	1202,11	361,61	1525,25	869,15	578,77	449,17	948,19	448,54
10%	300,53	90,40	381,31	217,29	144,69	112,29	237,05	112,14
20%	75,13	22,60	95,33	54,32	36,17	28,07	59,26	28,03
40%	18,78	5,65	23,83	13,58	9,04	7,02	14,82	7,01

À medida que se aumenta o erro percentual permitido, menor é o número de subamostras necessárias para estimar os atributos de fertilidade do solo. Para um mesmo erro percentual em torno da média admitido, quanto mais elevada a variância, maior o número de subamostras requeridas.

Verificou-se na primeira coleta que o nitrato, em razão de apresentar maior coeficiente de variação, apresentou maior necessidade no número de subamostras em relação ao amônio. No que se refere ao modo de coleta, a aleatória apresentou-se mais sensível ao número de coletas. Para o sistema de manejo, de maneira geral, o plantio direto apresentou maior demanda no número subamostras.

Considerando-se que a amostragem realizada no experimento foi de 15 subamostras por parcela, observa-se que para minimizar os erros na coleta e, conseqüentemente, assumir valores que proporcionem uma boa representatividade da área amostrada, são necessários valores superiores de subamostras por parcela, principalmente ao assumir erros menores do que 40%.

**Tabela 5.** Número de subamostras necessárias para estimar os valores de amônio e nitrato da segunda coleta, considerando erros em torno da média de 5%, 10%, 20%, 40%.

Erro	Sistema de manejo							
	PD				PC			
	Sistemático		Aleatório		Sistemático		Aleatório	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
5%	1187,07	1152,82	875,10	669,50	1497,95	2391,24	1599,65	1355,00
10%	296,77	288,20	218,77	167,37	374,49	597,81	399,91	338,75
20%	74,19	72,05	54,69	41,84	93,62	149,45	99,98	84,69
40%	18,55	18,01	13,67	10,46	23,41	37,36	24,99	21,17

Assim como nos dados referentes a primeira coleta (tabela 4) o número de subamostras para a segunda coleta (tabela 5), mostrou-se também elevado porém com os valores de amônio e nitrato muito próximos. Como já apresentado, na primeira coleta, o nitrato apresentou uma necessidade maior no número de subamostras quando comparado ao amônio. No entanto, após a aplicação da ureia o número de subamostras para NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aumentou consideravelmente, o que demonstra a possível influência da adubação nitrogenada para elevar, primeiramente, os teores do íon amônio no solo, já que é um elemento formado anteriormente ao íon nitrato nas reações do fertilizante no solo. As variações observadas entre as formas de nitrogênio mineral podem ser influenciadas pelo ambiente, como a variação na temperatura e o aumento das chuvas (Poletto et al., 2008).

Na avaliação entre sistemas de manejo, um dia após a adubação, o SPC necessita de maior número de subamostras do que o SPD, independente da forma de coleta e do íon estudado.

Na coleta realizada três dias após aplicação do adubo nitrogenado, os valores necessários de subamostras para o amônio foram superiores aos encontrados para o nitrato. A elevação desse número para o íon NH<sub>4</sub><sup>+</sup> pode estar relacionado à ação do adubo nitrogenado no solo, liberando rapidamente amônio para o solo.

**Tabela 6.** Número de subamostras necessárias para estimar os valores de amônio e nitrato da terceira coleta, considerando erros em torno da média de 5%, 10%, 20%, 40%.

Erro	Sistema de manejo							
	PD				PC			
	Sistemático		Aleatório		Sistemático		Aleatório	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
5%	825,96	1134,18	438,31	1175,11	676,25	3340,48	1658,16	1645,13
10%	206,49	283,55	109,58	293,78	169,06	835,12	414,54	411,28
20%	51,62	70,89	27,39	73,44	42,27	208,78	103,64	102,82
40%	12,91	17,72	6,85	18,36	10,57	52,20	25,91	25,71

Os números de subamostras apresentados nas tabelas acima mostram que há uma grande variabilidade para estimar os valores de amônio e nitrato, tanto para sistema plantio direto quanto para o sistema de preparo convencional, considerando um determinado erro estatístico. Isso demonstra que a medida da variabilidade, obtida por determinado método de amostragem, nem sempre corresponde à realidade presente no solo e que muitas vezes os programas de adubação são montados sobre bases pouco confiáveis (Alvarez V. e Guarçoni, 2003). Essa elevada variabilidade em determinados atributos do solo também foi observado por Silva et al. (2003) e Oliveira et al. (2007) em área sob manejo de plantio direto e convencional de culturas anuais.

Com base na amostragem tradicional, que recomenda a retirada de 20 subamostras para formar uma amostra composta (Souza et al., 2006), pode-se concluir que na busca por indicadores mais precisos de amostragem do solo, o número de subamostras para representar as quantidades de N mineral deve ser muito superior às já utilizadas. Para um erro de 40% pode-se conseguir certa representatividade, porém com uma baixa precisão, o que não é desejável. Assumindo os erros estatísticos de 20%, 10% ou 5% é possível perceber a importância de um número elevado de subamostras. Entretanto, tais valores podem ser inviáveis no dia a dia do campo, por demandar tempo e recursos adequados para uma melhor análise.

## 5. CONCLUSÕES

- 1) O amônio foi a forma de nitrogênio predominante no solo e a que apresentou maior variabilidade após aplicação da ureia.
- 2) De maneira geral, sob plantio direto há maior necessidade de subamostras apenas nas coletas antes da adubação. Após a adubação nitrogenada, o sistema de preparo convencional exige um maior número de subamostras para avaliação dos teores de nitrogênio mineral.
- 2) Os íons amônio e nitrato, em razão do elevado coeficiente de variação, necessitam de um número maior de subamostras do que as recomendações tradicionais, para que tenham uma representatividade adequada na área.
- 3) Dependendo do erro assumido, pode haver inviabilidade na avaliação de amônio e nitrato no solo, pois o número elevado de subamostras pode ser impraticável.
- 4) Não houve uma constatação precisa sobre o melhor modo de coleta de solo (sistemático e aleatório) que pudesse minimizar as imprecisões da amostragem de solo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÁMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; MADEIRA NETO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: Embrapa-CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. p. 33-74.

ALVAREZ V, V. H.; GUARÇONI, M. A. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.297-310, 2003.

ANGHINONI, I. Fertilidade do Solo e seu Manejo em Sistema Plantio Direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.880-886.

BATEMAN, E.J.; BAGGS, E.M. Contributions of nitrification and denitrification to N<sub>2</sub>O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and Fertility of Soils**, v.41, p.379-388, 2005.

BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P. de; LEANDRO, W. M.; MESQUITA, T. G. da S.; FREITAS, P. L. de; CARVALHO, M. da C. S. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.39, n.2, p.158-167, 2009.

BREMNER, J.M. Sources of nitrous oxide in soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v. 49, p. 7-16, 1997.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

CANTARUTTI, R.B., et al. Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendações de Fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.785-794.

CARDOSO, J.A.; LACERDA, M.P.C.; REIN, T.A.; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; FIGUEIREDO, C.C. Variability of soil fertility properties in areas planted to sugarcane in the state of Goiás, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v.38, p506-515, 2014.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.8, p. 1151-1159, 2002.

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

CENTURION, J F.; DEMATTÊ, J. L. I. & FERNANDES, F. M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo de cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p.267-270, 1985.

CHITOLINA, J. C., et al. Amostragem, Acondicionamento e Preparo de Amostras de Solo para Análise de Fertilidade. In: SILVA, F. C. da (Org.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999, p.12-48.

COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Caracterização da paisagem do cerrado. In: FALEIRO, F. G.; FARIA NETO, A. L. de. eds. **Savanas - Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 363-378, 2008.

DOBBIE, K.E.; SMITH, K.A. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N<sub>2</sub>O emissions from an imperfectly drained Gleysol. **European Journal of Soil Science**, v.52, p.667-673, 2001.

FELIPPE M. F.; SOUZA T. A. R. A biogeografia do cerrado em concomitância com sua história econômica e suas perspectivas para o futuro. **Enciclopédia Biosfera: a biogeografia do cerrado em concomitância com sua história**. Belo Horizonte, MG, Instituto de Geociências - UFMG. 2006. p. 1-33.

FIRESTONE, M.K. Biological denitrification. In: STEVENSON, F.J.; BREMNER, J.M.; HAUCK, R.D. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA, 1982. p.289-326.

GROFMAN, P. M. Nitrogen in the environment. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of Soil Science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. C190-C200.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, Cambridge, v.19, n.3, p.707-713. 2005.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.2-64.

MARQUES, J. J.; SCHULZE, D. G.; CURI, N.; MERTZMAN S. A. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v.121, p.31-43, 2004.

MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial de matéria orgânica, P, K e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.8, n.1, p. 143-152, 2008.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1149-1159, 2003.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; JÚNIOR, J. M.; SOUZA, Z. M.; PAZETO, R. J.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.5, p.1266-1272, 2008.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.839-847, 2006.

MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2.ed. atual. e ampl. Lavras: Ufla, 2006. 729p

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L.; KING J.; PALM C. **Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms**. *Environment, Development and Sustainability*, v.6,p.11-49, 2004.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v. 79, n. 1, p.95-102, 1983.

OLIVEIRA, F. H. T.; ARRUDA, J. A.; SILVA, I. F.; ALVES, J. C. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e de tipos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.5, p.973-983, 2007.



POLETTI, N.; GROHS, D.S.; MUNDSTOCK, C.M. Flutuação diária e estacional de nitrato e amônio em um argissolo vermelho distrófico típico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, p1619-1626, 2008.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5ª ed. Lavras, Editora UFLA, 2007. 322 p.

ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; CENTURION, J. F.; BARBOSA, J. C. Dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, n.1, p.111-118, 2011.

SARKODIE-ADDO, J., LEE, H.C., BAGGS, E.M., 2003. Nitrous oxide emissions after application of inorganic fertilizer and incorporation of green manure residues. **Soil Use and Management**. v. 19, p331-339.

SCHMIDT, E.L, Nitrification in soil. In: STEVENSON, F.J. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASAJ CSSA/SSSA, 1982. Ch.7, p.253-288. (Agronomy, 22).

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJO, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, vol. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SMITH, K.A.; THOMSON, P.E.; CLAYTON, H.; McTAGGART, I.P.; CONEN, F. Effects of temperature, water content and nitrogen fertilisation on emissions of nitrous oxide by soils. **Atmospheric Environment**, 32, n. 19, p. 3301-3309, 1998.

SMITH, K.A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K.E.; MASSHEDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soils Science**, v.54, p.779-791, 2003.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Piracicaba, IPNI, 2003. (Informações Agronômicas 102).

SOUZA, Z. M. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMPOS, M. C. C. Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 249-356, 2006.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**.1992. 162 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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

YOUNG Jr.,H. M. **No-tillage farming**. Brookfield, Winscosin, 1982. 202p.