

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**VARIABILIDADE DE AMÔNIO E NITRATO
EM SOLO CULTIVADO COM SOJA E MILHO
NO CERRADO**

MARCELO CAPBODEVILA

MARCELO CAPBODEVILA

**VARIABILIDADE DE AMÔNIO E NITRATO
EM SOLO CULTIVADO COM SOJA E MILHO
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
Julho de 2014**

FICHA CATALOGRÁFICA

CAPBODEVILA, Marcelo

“VARIABILIDADE DE AMÔNIO E NITRATO EM SOLO CULTIVADO COM SOJA E MLHO NO CERRADO”. Orientação: Cícero Célio de Figueiredo, Brasília 2014. 40 páginas

Monografia de Graduação (G) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2014.

1. Amostragem 2. Nitrogênio 3. Cerrado

I. Figueiredo, C.C.de. II. Drº.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAPBODEVILA, Marcelo Variabilidade de amônio e nitrato em solo cultivado com soja e milho no Cerrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2014, 41 páginas. Monografia.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: MARCELO CAPBODEVILA

Título da Monografia de Conclusão de Curso: Variabilidade de amônio e nitrato em solo cultivado com soja e milho 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.

MARCELO CAPBODEVILA

CPF: 029.576.573-92

CAVP Rua 6, chácara 261, lote 24.

CEP: 72110-800.Vicente Pires, DF. Brasil

(61) 8194-3205/ email: marcelo_c_5@hotmail.com

MARCELO CAPBODEVILA

VARIABILIDADE DE AMÔNIO E NITRATO EM SOLO CULTIVADO COM SOJA E MILHO 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 / email: cicerocf@unb.br

Arminda Moreira de Carvalho
Doutora, Embrapa Cerrados
Examinadora / e-mail: arminda.carvalho@embrapa.br

Juliana Hiromi Sato
Mestre, Universidade de Brasília
Examinadora / e-mail: jh.sato@yahoo.com.br

Dedico este trabalho a toda minha família que me apoiou e contribuiu para a conclusão de mais uma etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Ao meu orientador professor Dr. Cícero Célio de Figueiredo, pelo suporte e orientação na elaboração deste trabalho, pelo apoio e incentivos nesses anos todos de convivência contribuindo para minha formação pessoal e profissional. Todos esses ensinamentos levarei para o resto de minha vida, tendo-lhe como exemplo de pessoa e professor de grande conhecimento a ser seguido.

A minha família, pelo amor, incentivo e apoio incondicional em todas as fases da minha vida, pois sem essa família jamais conseguiria realizar meu sonho de concluir uma graduação em uma universidade tão importante e respeitada como a UnB.

Aos amigos de curso e companheiros do Laboratório de Estudos da Matéria Orgânica do Solo que me ajudaram muito em todos os trabalhos realizados ao longo desses anos todos. Em especial a doutoranda Juliana Hiromi pelo conhecimento e experiência transmitidos ao Emanuel que contribuiu muito para a realização deste trabalho e aos colegas Túlio e Ismail, pela grande ajuda na realização das análises laboratoriais.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu sincero agradecimento.

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!

CAPBODEVILA, MARCELO. **Variabilidade de amônio e nitrato em solo cultivado com soja e milho no Cerrado**. 2014. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB.

RESUMO

O nitrogênio apresenta dinâmica complexa no solo. Como consequência dessa dinâmica, as formas minerais desse nutriente (amônio e nitrato) apresentam elevada variabilidade no solo, dependendo da cultura e das aplicações de fertilizantes nitrogenados. O objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade nos teores de amônio e nitrato, determinando o número adequado de amostras representativas a serem coletadas em solos cultivados com milho e soja 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. O procedimento para a determinação de amônio (NH_4^+) e nitrato (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 aplicação da ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Os coeficientes de variação para os teores de amônio e nitrato foram muito elevados atingindo valores superiores a 100% para a segunda coleta e, por isso necessitam de quantidade muito elevada de subamostras, acima das recomendações tradicionais, para que represente com boa confiabilidade uma área amostrada. Além disso, não foi possível afirmar qual é o melhor método de amostragem (sistemático e aleatório) para as culturas da soja e do milho que pudesse diminuir os erros de amostragem de solo.

Palavras-chave: Amostragem; Nitrogênio; Cerrado

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação da área experimental (Fonte: Figueiredo, 2009).....	20
Figura 2. Aplicação de adubação nitrogenada.....	22
Figura 3. Coleta de amostras do solo.....	23
Figura 4 . Pontos de amostragem da coleta sistemática do solo.....	23
Figura 5. Destilador utilizado na quantificação de nitrogênio.....	24
Figura 6. 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, coeficiente de variação (CV), desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP), 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 cultivo de milho e soja. 27

Tabela 2. Valores mínimos (Min), máximos (Max), primeiro quartil (1° Q), mediana (Med), terceiro quartil (3° Q), média, coeficiente de variação (CV), desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP), 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 cultivo de milho e soja. 29

Tabela 3. Valores mínimos (Min), máximos (Max), primeiro quartil (1° Q), mediana (Med), terceiro quartil (3° Q), média, coeficiente de variação (CV), desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP), 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 cultivo de milho e soja. 30

Tabela 4. Número de subamostras necessárias para estimar os teores de amônio e nitrato da primeira coleta, considerando erros em torno da média de 5%, 10%, 20% e 40%. 32

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% e 40%. 33

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% e 40%. 34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. O Bioma Cerrado e o Domínio dos Latossolos.....	13
2.2. Métodos de amostragem do solo.....	14
2.3. Cultura do milho.....	15
2.4. Cultura da soja.....	16
2.5. Dinâmica de nitrato e amônio no solo e sua relação com a emissão de gases do efeito estufa pela agricultura.....	18
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 em áreas cultivadas com soja e milho.....	27
4.2. Número mínimo de subamostras.....	31
5. CONCLUSÕES.....	35
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro, caracterizado por solos de baixa fertilidade sob condições naturais, abrange cerca de 24% do território e um terço da biodiversidade do Brasil. Possui topografia plana, o que permite a mecanização de suas terras, fazendo do Cerrado um bioma com elevado potencial agrícola, sendo considerado umas das maiores fronteiras agrícolas do mundo (Felipe e Souza, 2006).

Apesar de toda riqueza e potencial que o Cerrado apresenta, este bioma vem sofrendo com a pressão por aberturas de novas áreas para a criação de gado e produção de grãos. Essa crescente abertura de áreas por meio do desmatamento com uso intensivo do solo e muitas vezes de forma inadequada combinada com extensas áreas de monocultura contribuem para a degradação do Cerrado tornando-o um dos biomas mais ameaçados do Brasil.

Por ser o solo um corpo heterogêneo com características diferentes em virtude dos fatores de formação e dos manejos adotados (Sanzonowicz, 2004), está sujeito a ação de vários fatores ambientais e antrópicos que podem favorecer a degradação de um solo se forem negligenciados. Para que isso não ocorra é necessário uma correta análise e interpretação da disponibilidade de nutrientes do solo, por meio de uma amostragem representativa, permitindo conhecer a distribuição vertical e horizontal dos nutrientes do solo para que se possa fornecer a este tudo o que for necessário para a implantação de uma determinada cultura de forma racional, sustentável e economicamente viável, objetivando a máxima produção das culturas.

Tendo em vista a grande variabilidade dos atributos químicos do solo ao longo do espaço físico de uma área, incorre-se em muitos erros no momento de quantificar a disponibilidade de nutrientes no solo. Dessa forma, é necessário o conhecimento para que seja feita uma adequada recomendação de adubação e assim evitar perdas na produção, contaminação das águas superficiais e subterrâneas tornando a agricultura economicamente competitiva e ecologicamente correta (Mercante et al., 2003).

O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para o desenvolvimento das plantas por ser requisitado em maior quantidade quando comparado aos outros elementos devido à sua importância na síntese de aminoácidos e na constituição da clorofila das folhas capacitando-as a realização da fotossíntese. Para ser utilizado pelas plantas o nitrogênio deve estar disponível no solo na forma de íons NO_3^- e NH_4^+ , onde o

nitrogênio é convertido por meio de reações químicas e biológicas cuja velocidade é dependente de fatores bióticos e abióticos do solo e das culturas a serem implantadas como por exemplo soja e milho. No caso da soja é feita apenas a inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio que se mostram bastante eficientes no suprimento de nitrogênio para esta leguminosa.

Por ser um nutriente muito importante, a aplicação de nitrogênio como fertilizante deve ser feita de forma racional e planejada, pois a sua falta no solo acarreta na queda na produção causando prejuízo ao produtor e quando aplicado em excesso causa contaminação do meio ambiente devido a liberação de óxido nitroso (N_2O) para atmosfera que é um gás poluente de efeito estufa e pela lixiviação de nitrato (NO_3^-) que pode contaminar o lençol freático.

Por isso, a amostragem de solo tem papel fundamental para o manejo da fertilização e produção agrícola, devendo representar adequadamente determinada área, viabilizando recomendações de adubação, em especial a nitrogenada, gerando economia na aquisição e aplicação, além de minimizar impactos ambientais.

Sabendo-se da importância de uma adequada amostragem de solo, deve-se compreender a variabilidade dos nutrientes no solo, principalmente, daqueles que são aplicados de forma localizada na linha de semeadura, como é o caso do nitrogênio. Além disso, pouco se sabe sobre a variabilidade das formas disponíveis de nitrogênio (nitrato e amônio) em solos cultivados por diferentes culturas que recebem altas aplicações de fertilizantes nitrogenados (milho, por exemplo) ou que não são fertilizadas com nitrogênio (como é o caso da soja).

Assim o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade de nitrato e amônio em solo cultivado com soja e milho no Cerrado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Bioma Cerrado e o Domínio dos Latossolos

O bioma Cerrado é o segundo maior do país depois da Amazônia e ocupa uma área de 2.036.448 milhões de hectares correspondente a aproximadamente 24% do território nacional, é constituído principalmente por savanas (IBF, 2014) e abrange um terço da biodiversidade nacional. Este bioma é composto por diferentes tipos de vegetação, em decorrência das diversidades do solo, topografia e variações climáticas (Silva et al., 2008). Devido ter uma estação seca e outra chuvosa é possível fazer um planejamento adequado para o plantio e colheita e, aliado a solos profundos com boas características físicas e topografia plana, fizeram do bioma Cerrado a maior fronteira agrícola brasileira nas décadas de 1970 e 1980 (Marouelli, 2003). Foi nesse período que ocorreram grandes mudanças na paisagem do bioma Cerrado devido ao intenso incentivo à criação de gado e da expansão da área agrícola.

O clima predominante no Domínio do Cerrado é o tropical sazonal com inverno seco. A temperatura média anual fica em torno de 22 - 23° C, sendo que as médias mensais apresentam pequena estacionalidade. Em geral, a precipitação média anual fica entre 1200 e 1800 mm. Ao contrário da temperatura, a precipitação média mensal apresenta grande estacionalidade, concentrando – se nos meses de outubro a março, que é a estação chuvosa. Curtos períodos de seca, chamados de veranicos, podem ocorrer em meio a esta estação, criando sérios problemas para a agricultura. No período de maio a setembro os índices pluviométricos mensais reduzem-se bastante, podendo chegar a zero o que resulta uma estação seca de 3 a 5 meses de duração (PORTAL BRASIL, 2014).

Os solos de maior ocorrência e representatividade na região do Cerrado brasileiro são constituídos, em sua maioria, por Latossolos (46%), Nitossolos (15%) e Neossolo Quartzarênico (15%), sendo Latossolos Vermelhos - LV e Latossolos Vermelho-Amarelos - LVA, que representam solos altamente intemperizados, constituídos principalmente por sesquióxidos de ferro e alumínio, como hematita, goethita, gibbsita, entre outros, e a caulinita predomina entre os argilo-minerais (Correia et al., 2004).

Devido as boas propriedades físicas e morfológicas dos Latossolos que permitem a utilização de máquinas, implementos agrícolas e o uso de tecnologias, que favorecem a produção agrícola em grandes áreas com elevadas produtividades, fazem com que essa classe de solo tenha considerável representatividade para a agricultura brasileira.

2.2. Métodos de amostragem do solo

Os solos são corpos bastante heterogêneos, possuindo características bastante diferentes devido aos fatores de formação e do manejo, que devem ser considerados no momento da amostragem (Sanzonowicz, 2004).

A amostragem deve ser a mais representativa possível para que possa expressar com boa acurácia as condições de fertilidade da área de coleta. Mesmo sendo uma técnica simples de se realizar a amostragem deve ser fundamentada em conhecimentos científicos, como o coeficiente de variação que determina a quantidade mínima de amostras para se obter maior precisão e confiança estatística (Sabbe e Marx, 1987).

Antes de realizar a coleta de amostras de solo no campo deve-se ter em mente qual a finalidade das análises, para que se possa tomar os devidos cuidados com a coleta, acondicionamento e procedimentos de laboratório. Para análise de nitrato e amônio todo trabalho realizado no momento da coleta e demais procedimentos devem ser seguidos com o máximo de rigor possível, pois as análises de laboratório não corrigem erros de coleta mal realizadas. Se o objetivo for analisar a dinâmica do nitrogênio no solo e na planta, recomenda-se amostrar o solo até a profundidade efetiva das raízes que varia de acordo com a cultura (Silva et al., 2010).

Para os métodos de análises utilizados na avaliação da fertilidade do solo, o erro de análise é, normalmente, inferior a 5%, nos bons laboratórios (Cantarutti et al., 2007). Para se fazer as análises, utiliza-se uma porção muito pequena de solo (10 cm³), para representar grande volume de solo, por isso a acurácia na avaliação da fertilidade do solo depende muito de uma criteriosa amostragem.

Por ser o solo um corpo naturalmente heterogêneo, sua variabilidade decorre de processos pedogenéticos, expressando-se, horizontal e verticalmente, em razão de fatores, tais como: mineralogia, vegetação, topografia e também pela atividade antrópica. Por esta razão, a amostragem de solo para avaliação da fertilidade estima a

fertilidade média, que pode ser obtida de dois modos. Primeiro, por meio do cálculo das médias aritméticas para os resultados das análises de todas as amostras coletadas. Este procedimento permite, ainda, estimar a variância das características do solo e pode ser um indicativo da sua variabilidade (desvio-padrão e coeficiente de variação). O segundo é por meio de uma “amostra composta” obtida da mistura homogênea de todas as amostras denominadas “amostras simples”. As análises químicas são feitas com a utilização de uma subamostra contendo um volume representativo da amostra composta. Com essas análises estimam-se as condições médias do solo sem poder afirmar nada a respeito da variabilidade das amostras. Para que se tenha uma média das condições do solo é necessário que haja variabilidade entre as subamostras, e isso depende muito do número de subamostras que deve ser coletada, e para que se tenha maior praticidade esse número de subamostras será definido pela característica mais variável (Cantarutti et al., 2007).

2.3. Cultura do milho

O milho é uma planta monocotiledônea, pertencente a família Poaceae, subfamília Panicoidae, gênero *Zea* e espécie *Zea mays L.* (Siloto, 2002). É uma planta herbácea, monóica, como os dois sexos na mesma planta em inflorescências diferentes, completa seu ciclo em quatro a cinco meses caracterizando uma planta anual (Pons & Bresolin, 1981).

É uma espécie diploide e alógama originada do México, que apresenta grande variabilidade e atualmente existem cerca de 250 raças. Na segunda metade do século XX, a partir do desenvolvimento de variedades e híbridos, aumentou significativamente a produtividade e a qualidade do milho. No Brasil, a cultura do milho ocupa extensas áreas, sendo as principais regiões produtoras o norte do Paraná, o Triângulo Mineiro, o oeste de São Paulo e o Vale do Taquari, no Rio Grande do Sul (Paterniani & Campos, 1999). Ainda de acordo com estes autores, a grande diversidade genética encontrada no milho, é considerada um modelo de evolução, uma vez que a evolução corresponde a transformações nas frequências gênicas ao longo das gerações. Dentre os fatores que contribuem para a evolução destacam-se a seleção, a mutação, a oscilação genética, a migração e a hibridação, sendo os mais importantes a hibridação e a seleção. Ainda

segundo os mesmos autores, a hibridação seria o fator mais importante que levaria ao desenvolvimento de variedades.

O milho representa um dos principais cereais em todo mundo, sendo cultivado em pequenas, médias e grandes propriedades (Fancelli e Dourado Neto, 2000). É um alimento que se caracteriza por se destinar tanto para o consumo humano como para os animais. Na realidade, o uso do milho em grão para alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo (Duarte, 2011).

Os maiores produtores mundiais de milho são os Estados Unidos, China e Brasil, que, na safra de 2010/11, produziram: 339,6; 160,0; e 57,122 milhões de toneladas, respectivamente (FAO, 2014). Do total produzido no mundo, 40,67% provêm dos EUA, maior produtor, produzindo aproximadamente 2,1 vezes mais que a China, segundo maior produtor, e 5,94 vezes mais que o Brasil, terceiro maior produtor. Esses três países contribuem com 66,68% da produção mundial. Os EUA também alcançam o mais alto índice de produtividade média ($10,670 \text{ t ha}^{-1}$), sendo esse, 2,54 vezes mais que o Brasil apresentando produtividade média de $4,200 \text{ t ha}^{-1}$ (CONAB, 2012).

A produção de milho no Brasil tem se caracterizado pela divisão da produção em duas épocas de plantio. Os plantios de verão, ou primeira safra, são realizados na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto na região Sul até os meses de outubro/novembro no Sudeste e Centro Oeste. No Nordeste este período ocorre no início do ano por meados de abril e março (EMBRAPA, 2014).

Nos últimos anos, a cultura do milho no Brasil vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos da produtividade e da produção. Entre essas tecnologias, destaca-se a conscientização dos produtores acerca da necessidade de melhoria na qualidade dos solos, visando uma produção sustentada. Essa melhoria na qualidade dos solos está geralmente relacionada ao manejo adequado, o qual inclui, entre outras práticas, a rotação de culturas, o plantio direto, o manejo da fertilidade através da calagem e a adubação (Coelho, 2007).

2.4. Cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes culturas na economia mundial. Seus grãos são muito usados pela agroindústria (produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal), indústria química e de alimentos, além de ser base da alimentação da população oriental (Costa Neto & Rossi, 2000). As plantas de

soja que hoje em dia são cultivados são muito diferente dos seus ancestrais, que eram plantas rasteiras que se desenvolviam na costa leste da Ásia, principalmente ao longo do Rio Yangtse, na China. Sua evolução começou com o aparecimento de plantas oriundas de cruzamentos naturais entre duas espécies de soja selvagem que foram domesticadas e melhoradas por cientistas da antiga China. Sua importância na dieta alimentar da antiga civilização chinesa era tal, que a soja, juntamente com o trigo, arroz, centeio e milheiro, era considerada um grão sagrado, com direito a cerimoniais ritualísticos na época do plantio e da colheita. É uma planta herbácea, incluída na classe dicotiledônea, ordem Rosales, família Leguminosae, subfamília das Papilionoideae, gênero *Glycine* L (EMBRAPA SOJA, 2004).

O grande incremento na produção mundial de soja pode ser atribuído a diversos fatores, dentre os quais merecem destaque: o elevado teor de óleo (ao redor de 20%) e proteínas (em torno de 40%) de excelentes qualidades encontradas no grão; a soja é uma commodity padronizada e uniforme, podendo, portanto, ser produzida e negociada por produtores de diversos países, apresentando alta liquidez e demanda; e sobretudo nas últimas décadas, houve expressivo aumento da oferta de tecnologias de produção, que permitiram ampliar significativamente a área cultivada e a produtividade da oleaginosa (Lazzarotto e Hiraçuri, 2010).

De acordo com a CONAB (2014), a estimativa de produção de soja para a safra 2013/2014 é de 86.569.200 toneladas em uma área de 30.033.000 hectare 8,3% maior do que a safra 2012/2013. Essa produção é viabilizada com sucesso pela fixação biológica do nitrogênio realizada por bactérias pertencentes ao gênero *Bradyrhizobium* que pode suprir todo o N necessário à cultura. Cultivares de soja e estirpes de *Bradyrhizobium* foram selecionados para garantir a máxima atividade biológica nas diversas condições brasileiras e estão disponíveis para o agricultor. Vários experimentos foram conduzidos para estudar os efeitos da adubação nitrogenada no rendimento da soja e a aplicação de doses iniciais no plantio (20 a 40 kg de N/ha), no florescimento (50 kg a 100 kg de N/ha), no início do enchimento dos grãos (50 kg de N/ha) ou até 400 kg N/ha parcelados em dez vezes durante o crescimento das plantas resultou em decréscimos na nodulação sem trazer benefícios ao rendimento, tanto em sistema plantio convencional, como em sistema plantio direto (Hungria et al., 2001).

2.5. Dinâmica do nitrogênio no solo e sua relação com a emissão de gases do efeito estufa pela agricultura

A transformação de áreas com vegetação nativa em áreas agrícolas ocasiona mudanças na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS), elevando as emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) da biosfera para a atmosfera o que resulta na elevação da temperatura média e mudanças nas condições climáticas globais.

A emissão de N_2O ocorre durante o processo incompleto de desnitrificação do NO_3^- e, ao mesmo tempo, durante o processo de mineralização das formas orgânicas do N do solo (Bouwman, 1998). O N_2O produzido em sistemas agrícolas depende da quantidade de N disponível no sistema solo, temperatura, pH, umidade e da matéria orgânica pronta para ser decomposta e das condições que limitam a difusão de O_2 .

A mineralização e a imobilização são processos de transformação de N do solo de natureza bioquímica, sendo ambos conduzidos pela atividade enzimática da microbiota heterotrófica (Camargo et al., 1999). A mineralização é definida como a transformação do N de origem orgânica em formas inorgânicas, como o NH_4^+ (amonificação). O processo é conduzido por organismos heterotróficos do solo que utilizam substâncias orgânicas nitrogenadas como fonte de C, N e energia. Já a imobilização, definida como a transformação do N-inorgânico (NH_4^+ , NH_3 , NO_3^- , NO_2^-) para formas orgânicas microbianas.

A microbiota assimila os compostos inorgânicos nitrogenados, incorporando-os nos aminoácidos que irão participar da síntese de proteínas de suas células durante a formação de biomassa no solo (Camargo et al., 1999). Com a redução gradativa do carbono dos resíduos, inicia-se o processo de predação e morte dos microrganismos por falta de fonte de energia. Nesta etapa, o N acumulado na biomassa microbiana começa a ser reciclado, ficando novamente disponível às plantas (Bartz, 1998).

Desta forma, a mineralização e imobilização estão ligadas à produção heterotrófica de biomassa. Os dois processos funcionam em direções opostas, rompendo ou formando ligações entre compostos orgânicos. A taxa na qual o N-orgânico é convertida a amônio e a nitrato é definida como taxa de mineralização, sendo representada pela quantidade de N-inorgânico liberada pela ação da microbiota em um tempo determinado (Camargo et al., 1999). 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).

Portanto, a dinâmica complexa das transformações de nitrogênio no solo implica em variabilidade das formas disponíveis desse nutriente (nitrato e amônio). Essa variabilidade é fortemente dependente das adubações nitrogenadas com fontes solúveis. Portanto, culturas que recebem altas doses de nitrogênio mineral, como o milho, devem apresentar maior variabilidade do que aquelas que não recebem fontes de nitrogênio mineral, como no caso da soja.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido no campo experimental 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).

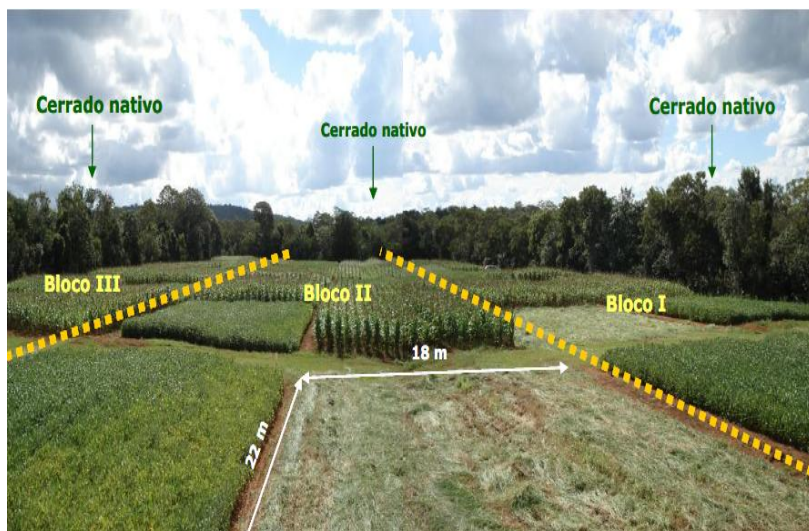


Figura 1. Representação da área experimental (Fonte: Figueiredo, 2009)

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.

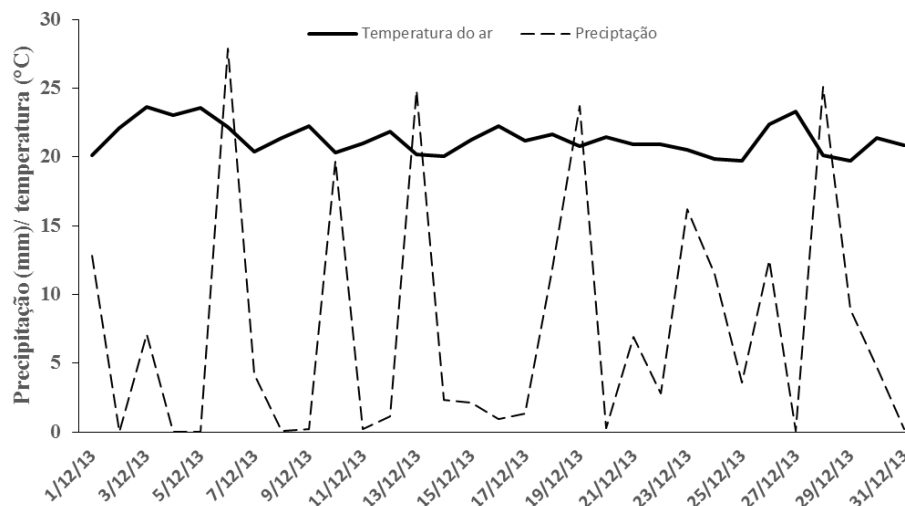


Figura 2. Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar no mês de dezembro de 2013 da área experimental (Fonte: Embrapa Cerrados)

3.2. Época de amostragem e condução das culturas

As coletas de solo foram realizadas no período da segunda adubação de cobertura em três momentos distintos. A primeira coleta foi realizada um dia antes da fertilização, no dia 7 de dezembro de 2013. A segunda coleta foi obtida dois dias após a primeira, em 9 de dezembro, um dia após aplicação do fertilizante. A última coleta foi realizada em 11 de dezembro de 2013, três dias após a aplicação do fertilizante. As amostras foram coletadas numa mesma profundidade (0-10 cm), sob duas formas de amostragem, sendo estas: aleatória e sistemática.

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⁻¹ da fórmula 0-20-20. Como tratamento fitossanitário foi realizada aplicação de herbicida Roundup[®] na dosagem de 3 L ha⁻¹ e 2,4D na dosagem de 2 L ha⁻¹ no dia 9 de outubro de 2013. Foi aplicado o herbicida Dual Gold[®] na dosagem de 2 L ha⁻¹ 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⁻¹ da fórmula 4-30-16 e posteriormente duas aplicações de cobertura com 70 kg de ureia (Figura 3), sendo a primeira realizada em 11 de novembro de 2013 e a segunda adubação de cobertura em 8 de dezembro de 2013.

Na amostragem aleatória (Figura 4), foram coletados solos em pontos diversos da parcela, caracterizado por um caminhar irregular e diferentes distâncias percorridas na coleta, sem seguir um padrão definido. Já no método sistemático a amostragem foi realizada nas 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 de soja e em outra área com de plantio milho, sendo estas as duas culturas utilizadas 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. Após a coleta, as amostras foram congeladas até o momento das análises. Para a extração do nitrogênio das amostras, foram adicionados 150 ml da solução KCl 1 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. Após esse período, cerca de 10 ml dos extratos foram transferidos para destilação de nitrogênio.

O procedimento para a determinação de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) envolveu a destilação por arraste de vapores das soluções contendo essas formas de nitrogênio mineral, óxido de magnésio (MgO) e liga de Devarda ($\text{Al}_{22}\text{Cu}_{10}\text{Zn}$). Em meio alcalino forte, criado pela adição do MgO , o NH_4^+ é convertido à amônia (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 de reduzir o nitrato a amônio, que é convertido a NH_3 . A quantificação do N nas formas de amônio e nitrato se dá indiretamente por titulação com H_2SO_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.

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).



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, adicionado 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 H_2SO_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 H_2SO_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 H_2SO_4 0,0125N, para a viragem no padrão de cor (Figura 7), foi utilizado 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 de nitrato e amônio 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, 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.

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

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Variabilidade de nitrato e amônio em áreas cultivadas com soja e milho

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, nas culturas da soja e do milho cultivadas em rotação, em diferentes épocas de coleta encontram-se nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Valores mínimos (Min), máximos (Max), primeiro quartil (1° Q), mediana (Med), terceiro quartil (3° Q), média, coeficiente de variação (CV), desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP), 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 cultivo de milho e soja.

Estatística	Cultura							
	Milho				Soja			
	Sistemático		Aleatório		Sistemático		Aleatório	
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
Mín.	0,158	0,163	0,156	0,158	0,149	0,162	0,151	0,154
Máx.	21,065	37,639	19,965	24,392	12,611	36,422	20,189	24,392
1° Q	2,228	8,136	0,163	5,104	0,339	8,096	0,160	1,105
Med.	5,984	14,074	4,061	8,159	4,042	11,943	4,173	7,843
3° Q	9,148	20,851	8,281	12,113	7,941	18,672	8,173	11,018
Média	6,980	14,919	5,419	8,848	4,495	14,921	5,973	7,450
CV	86	60	109	71	81	60	95	86
DP	6,036	8,902	5,923	6,282	3,626	8,929	5,706	6,450
EP	1,102	1,625	1,081	1,147	0,662	1,630	1,042	1,178
W	0,90 ^{ns}	0,95*	0,83 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,90 ^{ns}

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

Na coleta realizada um dia antes da adubação, os maiores teores médios foram verificados para amônio, independente da forma de coleta e da cultura (Tabela 1). Ao se comparar os teores médios de NO_3^- e NH_4^+ entre as culturas de soja e milho observa-se que, na coleta anterior à adubação, há pouca variação sendo seus teores médios muito semelhantes.

Em relação a variabilidade dos dados, o nitrato apresentou maiores coeficientes de variação (CV) em comparação ao amônio para ambas as culturas e formas de coleta. Essa maior variabilidade ocorre porque o nitrato está mais sujeito às transformações decorrentes das condições ambientais como chuva em excesso, falta de aeração e oxigenação (Acosta, 2009) que possam ter ocorrido, por ser característico na região do Cerrado no período em que foi realizada a coleta do solo.

Essa elevada variação nos teores de nitrato e amônio pode ser explicada pelas adubações feitas anteriormente (no caso do milho as adubações de semeadura e primeira cobertura, e na área com soja, decorrente de adubações do milho, da safra anterior) e pela mineralização de nitrogênio orgânico das palhadas, favorecidas pelas condições climáticas. De acordo com os resultados obtidos para o teste de normalidade de Shapiro Wilk, apenas os dados de amônio, para a coleta sistemática na cultura do milho, apresentaram distribuição normal, os demais valores obtidos não tiveram distribuição normal sendo considerados não significativos.

Na coleta realizada um dia após a adubação verifica-se que os teores médios de amônio continuam sendo maiores, independente da forma de coleta e das culturas (Tabela 2). Em relação à primeira (Tabela 1), na segunda coleta, enquanto os teores de nitrato praticamente não se alteraram, os teores de amônio se elevaram, quando cultivado o milho, única cultura que recebeu fertilização nitrogenada. Essa elevação nos teores de amônio após a aplicação de uréia está relacionada com o ciclo do nitrogênio no qual após a adubação nitrogenada amídica, o íon amônio é produzido primeiro do que o íon nitrato (Moreira & Siqueira, 2006). Já para a cultura da soja que não recebeu adubação nitrogenada, os resultados mostraram pequena variação nos teores de nitrato e amônio. Para a coleta sistemática, na soja, houve um aumento nos teores médio de nitrato enquanto que para amônio houve uma pequena redução. Para a coleta aleatória houve um aumento para ambos os íons. Essa diferença nos valores ocorreu, provavelmente, devido a ocorrência de chuva na área, que aceleram as reações de mineralização no solo.

Tabela 2. Valores mínimos (Min), máximos (Max), primeiro quartil (1° Q), mediana (Med), terceiro quartil (3° Q), média, coeficiente de variação (CV), desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP), 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 cultivo de milho e soja.

Estatística	Cultura							
	Milho				Soja			
	Sistemático		Aleatório		Sistemático		Aleatório	
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
Mín.	0,015	7,876	0,154	0,154	0,015	0,156	0,154	0,156
Máx.	21,969	216,141	56,972	165,627	23,670	35,625	19,028	30,877
1° Q	0,051	15,430	3,923	15,463	0,157	3,892	3,884	7,767
Med.	4,044	29,974	7,696	19,319	4,056	8,056	7,673	11,762
3° Q	7,752	42,666	7,958	35,615	11,645	18,446	7,963	19,231
Média	6,084	48,674	9,186	30,623	6,510	11,959	6,611	12,580
CV	105	108	119	102	109	87	109	87
DP	6,420	52,873	10,981	31,229	7,118	10,404	4,951	7,701
EP	1,172	9,653	2,005	5,702	1,300	1,900	0,904	1,406
W	0,84 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,95*

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

De maneira geral, em relação à primeira coleta, verificou-se um aumento na variabilidade dos dados, com elevação nos valores do coeficiente de variação (CV), tanto para nitrato quanto para amônio, ambos apresentando CVs maiores que 100%. No caso do amônio a variabilidade foi maior tornando os valores de CV muito semelhantes aos de nitrato.

Para as amostras coletadas um dia após a adubação, o teste de normalidade de Shapiro Wilk (W) revelou que apenas os valores do amônio da coleta aleatória da soja tiveram distribuição normal, os demais valores não seguiram uma distribuição normal por isso classificados como não significativo.

Os resultados apresentados na Tabela 3, referentes a três dias após a adubação, mostram que o amônio continua apresentando maiores teores médios do que o nitrato, devido ao próprio ciclo do N no solo, formado primeiro no processo de mineralização

do N de origem orgânica, em ambas as formas de coleta e das culturas, apresentando valores médios mais elevados na coleta sistemática do milho.

Em comparação com as tabelas anteriores, verifica-se aumento nos teores de nitrato em todas as formas de coleta e ambas as culturas, sendo observados aumentos significativos para a cultura do milho que recebeu adubação nitrogenada, com ênfase para os valores obtidos na coleta aleatória. Acosta (2009) também constatou alta variação de N na forma dos íons NO_3^- e NH_4^+ com acúmulo maior de nitrato passado alguns dias da fertilização. Também constatou a dificuldade para se proceder a recomendação de fertilização nitrogenada devido a complexidade e a dinâmica do N no solo. No caso da soja a pequena elevação ocorrida nos teores de nitrato pode ser decorrente do processo de mineralização da matéria orgânica e de resíduos da adubação da cultura anterior, incluída na rotação, além das condições climáticas, como chuvas, típicas da região no período da coleta.

Tabela 3. Valores mínimos (Min), máximos (Max), primeiro quartil (1° Q), mediana (Med), terceiro quartil (3° Q), média, coeficiente de variação (CV), desvio padrão (DP), erro padrão da média (EP), 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 cultivo de milho e soja.

Estatística	Cultura							
	Milho				Soja			
	Sistemático		Aleatório		Sistemático		Aleatório	
	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+
Mín.	0,152	4,064	0,152	0,158	0,154	0,158	0,154	0,159
Máx.	31,215	218,040	57,311	162,686	27,469	35,835	23,529	43,136
1° Q	3,965	12,910	4,065	18,934	3,937	7,734	3,960	7,722
Med.	9,291	23,969	11,862	26,599	4,111	8,247	7,869	15,571
3° Q	14,790	61,119	18,107	37,063	10,788	14,978	12,271	19,836
Média	10,031	45,531	13,789	33,313	7,713	11,024	8,304	14,264
CV.	81	115	81	99	95	80	81	115
DP	8,140	52,494	11,619	33,103	7,355	8,863	6,436	9,465
EP	1,486	9,584	2,121	6,044	1,343	1,618	1,175	1,728
W	0,91 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,91 ^{ns}

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

Os valores obtidos para coeficiente de variação mostram que no geral o amônio teve maior variação em relação ao nitrato, com maiores valores obtidos para a coleta sistemática do milho e aleatório para a soja, onde provavelmente ocorreram pontos de amostragem de cultivos anteriores, elevando os valores médios para a soja. Esse fato 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.

Em relação a variabilidade dos dados, observou-se que os coeficientes de variação continuaram elevados, com tendência de diminuição para os teores de nitrato, quando comparado com a segunda coleta (Tabela 2). De maneira geral, o nitrato teve valores menos discrepantes. Ainda em relação a segunda coleta, verificaram-se valores próximos de CV entre nitrato e amônio. Os elevados CVs no caso da cultura da soja que não recebeu adubação nitrogenada, podem ser consequência da intensificação da mineralização do N orgânico disponível no solo.

Para amostras coletadas três dias após a adubação o teste de normalidade de Shapiro Wilk revelou que nenhum dos valores obtidos para nitrato e amônio tiveram distribuição normal, por isso classificados com não significativos.

4.2. Número mínimo de subamostras

O número de subamostras necessário para estimar os teores de nitrato e amônio em solo cultivado com milho e soja, considerando erros de 5 %, 10 %, 20 % e 40 % em torno da média, na coleta antes da adubação, encontra-se na tabela 4.

À medida que 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 elevado for o coeficiente de variação, maior o número de subamostras requeridas.

Na coleta realizada um dia antes da adubação, o nitrato apresentou um número maior de subamostras necessário para a representação dos teores médios, em decorrência de sua maior variabilidade nas áreas estudadas.

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

Erro	Cultura							
	Milho				Soja			
	Sistemático		Aleatório		Sistemático		Aleatório	
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
5%	863,57	411,13	1379,29	581,91	751,52	413,54	1053,80	865,60
10%	215,89	102,78	344,82	145,48	187,88	103,38	263,45	216,40
20%	53,97	25,70	86,21	36,37	46,97	25,85	65,86	54,10
40%	13,49	6,42	21,55	9,09	11,74	6,46	16,47	13,53

Verifica-se que a forma de coleta aleatória, para ambas as culturas, exige um maior número de subamostras para expressar com mais confiabilidade os teores de nitrato e amônio do solo. Entre as culturas, enquanto para o nitrato o milho exige maior número de subamostras, com o amônio, ocorre o oposto, a cultura da soja demanda maior quantidade de subamostras.

Na coleta realizada um dia após a adubação, verifica-se que as quantidades de subamostras necessárias são muito elevadas (Tabela 5), superiores aos verificados na primeira coleta, principalmente para o amônio (Tabela 4). No caso do milho os valores são maiores em consequência da adubação com uréia o que fez o coeficiente de variação do amônio aumentar, atingindo valores maiores que 100%, evidenciando aumento da concentração de íon no solo por ser formado antes do nitrato no processo de mineralização do N-orgânico, requerendo maior número de subamostras para ser quantificado. No caso da soja a variação ocorrida na quantidade de subamostras está relacionada as condições do ambiente como chuva, variação na temperatura permitindo aumento na velocidade de mineralização do nitrogênio do solo (Poletto et al., 2008).

Entre as culturas, com exceção do nitrato na amostragem sistemática, é possível afirmar que o milho requer uma quantidade superior de subamostras para expressar com mais confiabilidade, para um mesmo erro adotado, os teores de nitrato e amônio.

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% e 40%.

Erro	Cultura							
	Milho				Soja			
	Sistemático		Aleatório		Sistemático		Aleatório	
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
5%	1285,65	1362,44	1649,82	1200,79	1380,26	873,92	647,46	432,70
10%	321,41	340,61	412,45	300,20	345,07	218,48	161,87	108,18
20%	80,35	85,15	103,11	75,05	86,27	54,62	40,47	27,04
40%	20,09	21,29	25,78	18,76	21,57	13,66	10,12	6,76

Os resultados obtidos para o terceiro dia após a aplicação da uréia mostram a necessidade de uma quantidade maior de subamostras para quantificar o amônio em relação ao nitrato na cultura do milho, devido à rápida liberação do amônio pelo adubo ocasionando aumento em sua concentração no solo. No caso da soja verifica-se o contrário, pois o íon nitrato requer maior quantidade de subamostras. Esses resultados demonstram o efeito do adubo nitrogenado amídico na variabilidade de amônio, no caso do milho, e que, para áreas não adubadas com nitrogênio, a variabilidade maior é do nitrato, em decorrência dos processos de mineralização dos resíduos culturais e das precipitações verificadas no período de estudo.

Comparando entre as formas de coleta e culturas é possível verificar que no geral há grande variabilidade, para um mesmo erro adotado, na quantidade de subamostras para estimar com maior grau de certeza os teores de nitrato e amônio do solo. Isso mostra que por serem muito variáveis os atributos do solo analisados, independente das culturas e dos métodos de amostragem, na maioria das vezes não se consegue refletir de maneira adequada os teores médios no solo, devido a pequena quantidade de subamostra analisada, permitindo grandes erros no planejamento da adubação (Alvarez V. e Guarçoni, 2003). De acordo com Sanzonowicz (2004), uma amostra composta de 20 amostras simples está adequada para representar bem uma área. No entanto, para nitrato e amônio essa quantidade de amostras simples expressa resultados pouco confiáveis quando se adota erro de 40%. Quando se busca resultados

mais precisos e confiáveis, com os erros de 5%,10% e 20%, há necessidade de quantidades elevadas de subamostras em relação ao já recomendado, sendo inviáveis do ponto de vista prático no campo, por demandar muito tempo e recursos da propriedade.

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% e 40%.

Erro	Cultura							
	Milho				Soja			
	Sistemático		Aleatório		Sistemático		Aleatório	
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
5%	760,39	1534,79	760,39	1140,17	1050,07	746,32	693,69	508,41
10%	190,10	383,70	190,10	285,04	262,52	186,58	173,42	127,10
20%	47,52	95,92	47,52	71,26	65,63	46,65	43,36	31,78
40%	11,88	23,98	11,88	17,82	16,41	11,66	10,84	7,94

5. CONCLUSÕES

- 1) O amônio é a forma de nitrogênio predominante no solo mesmo no cultivo com a soja, e é o íon que apresenta maior variabilidade após aplicação da ureia na cultura do milho.
- 2) Antes da adubação, devido à maior variabilidade, o nitrato exige maior número de subamostras, superado pelo amônio após a aplicação do adubo nitrogenado.
- 3) Os coeficientes de variação para os teores de amônio e nitrato são muito elevados atingindo valores superiores a 100% para a segunda coleta e, por isso necessitam de quantidade muito elevada de subamostras, acima das recomendações tradicionais, para que represente com boa confiabilidade uma área amostrada.
- 4) Não é possível afirmar qual é o melhor método de amostragem (sistemático e aleatório) para a cultura de soja e milho que pudesse diminuir o máximo possível os erros de amostragem de solo, devido a grande variabilidade dos íons nitrato e amônio requerendo elevado número de subamostras para serem quantificados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, J., A., A.; **dinâmica do nitrogênio sob sistema plantio direto e parâmetros para o manejo da adubação nitrogenada do milho**. Santa Maria, RS, 2009. 200p.

ADÂMOLI, 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.

BARTZ, H.R. Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob Plantio Direto. In: Fries, M.R. (Ed.). **Plantio Direto em solos arenosos: alternativas para a sustentabilidade agropecuária**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Ed. Pallotti, p. 52-81, 1998.

BOUWMAN, A.F. Nitrogen oxides and tropical agriculture. **Nature**, 392:866-867, 1998.

CAMARGO, F.A.O. et al. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO F.A.O. (Eds). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Gênese, Porto Alegre, 117-137, 1999.

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, p. 506-515, 2014.

COELHO, A. M. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho**. Circular técnica 96, 2007. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2007/circular/Circ_96.pdf. Acesso em: 26 jun 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: quarto levantamento, janeiro/2012**. Brasília, 2012. 28-30 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_01_10_10_53_02_boletim_graos_3o_levantamento.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2014.

COSTA NETO, P. R. & ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p. 4, 2000.

DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J. **Cultivo do Milho: economia da produção**. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br>. Acesso em: 10 de maio de 2014.

EMBRAPA MILHO E SORGO – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **Economia da produção**. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/economia.htm>. Acesso em: 17 de abril de 2014.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil 2004, A soja no Brasil**. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/controle.htm>. Acesso em: 20 de abril de 2014.

FAO. Foundation Agricultural Organization, Roma: **FAOSTAT Database Gateway – FAO**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=em>. Acesso em: 20 de maio de 2014.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, v.18, p. 360, 2000.

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.

HUNGRIA, M.; CAMPOS, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Circular técnica, 2001. Disponível em: < <http://www.cnpso.embrapa.br/memoriatecnica/circtec/circTec35.pdf> > acesso em: 25 jun. 2014.

IBF - INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. **Bioma cerrado**. Disponível em: <http://www.ibflorestas.org.br/bioma-cerrado.html>. Acesso em 21 de jun. 2014.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, p. 46, 2010. (Embrapa Soja. Documentos, 319).

MAROUELI, R.P. **O desenvolvimento sustentável da agricultura no cerrado brasileiro**. Brasília, Universitário de Brasília, 2003. 54p. (Monografia *Latu sensu*)

MATOS, M.P. de. **Soja: a mais importante oleaginosa da agricultura moderna**. São Paulo: Ícone editora Ltda, 1987. 73p.

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.

MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos do solo. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. (EDS). **Microbiologia e bioquímica do solo**. Editora UFLA, Lavras, 2002. 626 p.

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

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.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, [s.n.], 1999. p. 429-485.

POLETTO, 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.

PONS, A.; BRESOLIN, M. A cultura do milho. **Trigo e Soja**. Porto Alegre, n. 57, p. 6-31, 1981.

PORTAL BRASIL. **Cerrado: clima e relevo**. Disponível em: http://www.portalbrasil.net/cerrado_climaerelevo.htm. Acesso em 21 de junho de 2014.

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.

SABBE, W.E.; MARX, D.B. Soil sampling: spatial and temporal variability. In: BROWN, J.R. (Ed.). **Soil testing: sampling, correlation, calibration, and interpretation**. Madison: Soil Science Society of America, 1987. p. 1-14. (SSSA Special Publication, 21).

SANZONOWICZ, C. Amostragem de solos, corretivos e fertilizantes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, DF. Embrapa, 2004. p. 63.

SILOTO, R. C. **Danos e biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em genótipos de milho.** Piracicaba, SP. 2002 93 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

SILVA, F.A.M.S.; ASSAD, E.D.; STEINKE, E.T.; MULLER, A.G.; Clima do Bioma Cerrado. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. **Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**, 2008.

SILVA, D. F.; ANDRADE, C. L. T.; SIMEONE, M. L. F.; AMARAL, T. A.; CASTRO, L. A.; MOURA, B. F. Análise de nitrato e amônio em solo e água documento 114. **Embrapa milho e sorgo**. Sete Lagoas MG. 1 ed, p. 10, 2010.