



Universidade de Brasília
Faculdade UnB Planaltina
Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e
Desenvolvimento Rural

Efeito do distanciamento da BR-020 na produtividade primária líquida, concentração de N e S na serapilheira foliar e eficiência no uso de N e S de uma comunidade vegetal da Estação Ecológica de Águas Emendadas

Inésio Antônio Marinho Corrêa

Brasília-DF: julho de 2017

**Universidade de Brasília
Faculdade UnB Planaltina
Programa de Pós-Graduação em Meio ambiente e Desenvolvimento Rural**

Efeito do distanciamento da BR-020 na produtividade primária líquida, concentração de N e S na serapilheira foliar e eficiência no uso de N e S de uma comunidade vegetal da estação ecológica de águas emendadas

Inésio Antônio Marinho Corrêa

Orientador: Tamiel Khan Baiocchi Jacobson

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Meio ambiente e Desenvolvimento Rural.

Brasília – DF: Julho de 2017

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

AC824e Antonio Marinho Corrêa, Inésio
Efeito do distanciamento da BR-020 na
produtividade primária líquida, concentração de N e S
na serapilheira foliar e eficiência no uso de N e S
de uma comunidade vegetal da Estação Ecológica de
Águas Emendadas / Inésio Antonio Marinho Corrêa;
orientador Tamiel Khan Baiocchi Jacobson. --
Brasília, 2017.
74 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Meio Ambiente e
Desenvolvimento Rural) -- Universidade de Brasília,
2017.

1. Cerrado. 2. Biogeoquímica. 3. Unidade de
conservação. 4. Gases antropogênicos. 5. Dióxido de
nitrogênio e dióxido de enxofre. I. Khan Baiocchi
Jacobson, Tamiel, orient. II. Título.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UnB PLANALTINA
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO RURAL

TERMO DE APROVAÇÃO

Efeito do distanciamento da BR-020 na produtividade primária líquida, concentração de N e S na serapilheira foliar e eficiência no uso de N e S de uma comunidade vegetal da estação ecológica de águas emendadas

Inésio Antônio Marinho Corrêa

Banca Examinadora

Prof. Dr. TAMIEL KHAN BAIOCCHI JACOBSON

Presidente (UnB)

Prof.Dr. CARLOS HENRIQUE EÇA D'ALMEIDA ROCHA

Membro Titular (IBRAM)

Profa. Dra. IRIS ROITMAN

Membro Titular (FINATEC)

**Dedico à minha família por compartilhar
Comigo os piores momentos desta conquista.**

AGRADECIMENTOS

A minha companheira Alcionita, e meus filhos que pacientemente me ajudaram a superar os meus fantasmas, aos meus pais pelo sacrifício que fizeram pela minha formação. Ao meu orientador Dr. Tamiel Jacobson pela dedicação e orientação. A professora Janaina Diniz coordenadora do MADER, ao professor Dr Augusto Franco pelo apoio e por permitir o uso de toda a infraestrutura dos laboratórios da fisiologia vegetal do departamento de botânica da UnB. Ao Dr. Davi Rossato pela inestimável colaboração acadêmica que muito contribuiu, e ao amigo colaborador André Osório, que muito me ajudou no campo e no laboratório. A professora Cristiane, a pesquisadora Marina Scalon, a Jéssica Vieira, Chesterton Ulysses. Ao Dr. Frederico Takahashi pela consulta estatística, Camilo um grande colaborador no campo e ao amigo Sergio, pelos conselhos e críticas acadêmicas que muito me ajudaram. Ao professor Xiko Mendes, um importante conselheiro nas horas difíceis e um amigo que juntos, compartilhamos problemas e vitórias. Ao Dr. João Almiro por ter recuperado minha mão direita, quando tive uma seria fratura. Ao Projeto Regularização Ambiental e Diagnóstico dos Sistemas Agrários dos Assentamentos da Região Norte do Estado do Mato Grosso (Radis) /UnB/Incra, Processo 5788 - FUB/FUP (Sub-Processo:14018/2015). Por ter financiado os custos das análises química de enxofre e nitrogênio. Ao MADER, pelo o apoio institucional. Ao batalhão da polícia militar ambiental do Distrito Federal e ao IBRAM, por permitir os estudos na ESECAE, a toda equipe técnica da LECO por socorrer e aconselhar nas análises de enxofre e nitrogênio. A Morgana Viturino. A um grande amigo que se foi, o Sr. Zezinho por compartilhar suas experiências de vida. Ao meu saudoso irmão Luiz Sergio que não mais está conosco, mas foi a minha primeira referência científica. A todos que de alguma forma fizeram parte desta pesquisa e contribuíram pela sua conclusão. A Deus que permitiu que todas estas pessoas pudessem estar na minha vida. Ao bioma Cerrado que me ensinou o quanto é belo e majestoso.

RESUMO

As emissões de dióxido de enxofre (SO₂) e dióxido de nitrogênio (NO₂) provenientes da queima de combustíveis fósseis podem estar contribuindo para a alteração do metabolismo das comunidades vegetais, influenciando na ciclagem de nutrientes em ecossistemas terrestres e aquáticos. Como várias unidades de conservação, a Estação Ecológica Águas Emendadas (ESECAE) tem seu perímetro poligonal conectado a rodovias e significativa expansão urbana. Considerando que sulfato e nitrato podem ser absorvidos via estômatos, as comunidades vegetais, principalmente, as localizadas na borda, estão expostas, a efeitos resultantes da emissão de gases de veículos automotores. Sendo assim, o objetivo da presente pesquisa foi verificar o efeito da distância da rodovia federal BR-020 na produtividade primária líquida, concentração de N e S na serapilheira foliar e eficiência no uso de N e S em uma comunidade vegetal localizada na parte sul da ESECAE. O delineamento experimental foi instalado em uma área de seis ha e foi composto de seis tratamentos (60, 80, 110, 170, 290 e 350 m de distância da rodovia), onde foram instalados coletores de serapilheira (0,25 m² a 50 cm do solo), com cinco repetições por tratamento. A serapilheira foi coletada mensalmente e, bimensalmente, a fração folha foi submetida à análise para determinação da concentração de N e S. Considerando os valores mensais, foi possível identificar efeito da distância da rodovia somente nos padrões de concentração e eficiência no uso de S. Observamos que ocorreu maior constância nos valores destes parâmetros com maior concentração de S na serapilheira e menores valores até 60 em relação às faixas mais internas. Considerando os valores anuais, houve diminuição na EUS e maior concentração e fluxo de S na serapilheira foliar até 60m em relação às distâncias mais internas da comunidade (80-350). Não se observou diferenças significativas na produção primária líquida, na concentração e eficiência no uso de N. Concluímos que o efeito do distanciamento da rodovia BR-020 ocorre até 60m e só é significativo quando as variáveis PPL e concentração de S são analisadas conjuntamente. Assim, mudança nos padrões de ciclagem de S em comunidades vegetais em contato com rodovias deve ser considerada na criação e elaboração de planos de manejo das unidades de conservação nacionais e internacionais.

Palavras-chave: Cerrado, Biogeoquímica, Unidade de conservação, Gases antropogênicos.

ABSTRACT

Sulfur dioxide (SO₂) and nitrogen dioxide (NO₂) emissions derived from fossil fuels' burning may be altering plant communities' metabolism and as well as the terrestrial and the aquatic ecosystems' nutrient cycling. The Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESECAE), like many conservation units, has its perimeter connected to highways and urban expansion areas. Considering that stomata can absorb sulfate and nitrate, plant communities, mainly those located nearby the borders, are exposed to the effects of motor vehicle gas emissions. Therefore, the purpose of this research was to evaluate the distance from the BR-020 federal highway on the primary net productivity, the leaf litter N and S concentrations and the N and S usage efficiency on the South part of the ESECAE reserve. The experimental design was placed in a six-hectare area, composed by six treatments (60, 80, 110, 170, 290 and 350 m away from the highway), using litter collectors (0,25 m² litter collector at 50 cm above ground), with 5 replicates per treatment. Litter was collected monthly and every other month, the N and S concentrations from the litter leaf fractions were measured. Considering the monthly values, we only identified the effect of the distance on the S concentration patterns and its usage efficiency. We noticed a higher uniformity on these parameter's values with higher S concentration on the litter and lower values until 60 m in comparison to the internal bands. Considering the annual values, the EUS reduced and the S flux and concentrations were higher on the foliar litter until 60 m when compared to the innermost community distances (80-350). We didn't notice any significant differences on the primary net production nor on the N concentration and its usage efficiency. We concluded that the distance from the BR-020 highway effect occurred up to 60 m and was only significant when the PPL and S concentrations were analyzed together. Thus, S cycling pattern changes in plant communities nearby highways must be taken into consideration on the management planning of national and international conservation units.

Keywords: Cerrado, biogeochemistry, conservation unit, anthropogenic gases.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Cerrado e Unidades de Conservação.....	1
1.2 Poluição Atmosférica e Vegetação	2
1.3. Hipóteses	3
1.4. Objetivo.....	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3. MATERIAIS E MÉTODO.....	7
3.1. Área de Estudo	7
3.2. Delineamento experimental.....	10
3.3. Coleta e análise química da serapilheira foliar.....	11
3.3.1. Determinação da produção primária líquida	12
3.3.2. Determinação da concentração de N e S na serapilheira.....	12
3.4. Cálculo da Eficiência no Uso de Nutrientes.....	12
3.5. Cálculo do fluxo de nutrientes na serapilheira foliar.	12
3.6. Análise estatística.....	13
3.6.1. Categorias de distância testadas	13
3.6.3. Análises de médias anuais ou somatórios anuais	13
3.6.4. Análise dos dados mensais.....	14
4. RESULTADOS.....	15
4.1. Produtividade Primária Líquida	15
4.2. Concentração de N na serapilheira foliar	20
4.3. Concentração de S na serapilheira foliar.....	24
4.4. Eficiência do Uso de Nutrientes – Nitrogênio.....	32

4.5. Eficiência no Uso de Nutrientes – Enxofre	35
4.6. Fluxo de N na serapilheira foliar	40
4.7. Fluxo de S na serapilheira foliar	42
5. DISCUSSÃO	46
5.1. Efeito do distanciamento da BR-020 na produtividade primária líquida.	46
5.2. Efeito sobre a concentração, fluxo e eficiência no uso nutriente do nitrogênio e enxofre... ..	47
5. CONCLUSÕES	50
6. REFERÊNCIAS	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Direção do vento (DV), velocidade do vento média mensal (VV) e precipitação mensal total (P) observada na estação meteorológica das ESECAE, durante o período de estudo. Fonte: INMET.....	9
Tabela 2. Produtividade primária líquida (média e desvio padrão) mensal da serapilheira (fração folha, miscelânea e total) na comunidade de cerrado sentido restrito na ESECAE, marginal à BR-020.....	16
Tabela 3. Produtividade primária líquida (média e desvio padrão) mensal da serapilheira (fração folha, miscelânea e total) por tratamento, na vegetação de cerrado sentido restrito na ESECAE, marginal à BR-020. Onde n = repetições por tratamento.....	17
Tabela 4. Concentração mensal de N e desvio padrão na serapilheira foliar de um cerrado sentido restrito na ESECAE, marginal a rodovia BR-020.	21
Tabela 5. Concentração de N na serapilheira foliar e desvio padrão em um cerrado sentido restrito na ESECAE em diferentes distâncias da rodovia BR-020.....	22
Tabela 6. Concentração de S (média e +/- desvio padrão) na serapilheira foliar de um cerrado sentido restrito na ESECAE em diferentes distâncias da BR-020.	25
Tabela 7. EUN-N (média +/- desvio padrão) por tratamentos (distâncias) em um Cerrado sentido restrito da esecae marginal a BR-020.	32
Tabela 8. Eficiência de uso de nutrientes de nitrogênio (média +/- desvio padrão) dos meses analisados na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal a BR-020.	33
Tabela 9. Eficiência do uso de nutriente do enxofre (média +/- desvio padrão) por tratamentos (distâncias) em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal à BR-020.	35
Tabela 10. Eficiência de uso de nutriente do S (média +/- desvio padrão) em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal a BR-020 em relação aos meses de análise.	37

Tabela 11. Fluxo de N (média +/- desvio padrão) na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal a BR-020 nos meses analisados.	40
Tabela 12. Fluxo de N (g), (média +/- desvio padrão) na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal a BR-020 por tratamentos (distâncias).	41
Tabela 13. Fluxo de S (média +/- desvio padrão) em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal a BR-020 por meses de análises.	43
Tabela 14. Fluxo de S (média +/- desvio padrão) em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal a BR-020 por tratamentos (distâncias) nos meses analisados na serapilheira foliar.	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Estação Ecológica de Águas Emendadas (delimitada em branco).	8
Figura 2. Localização da Estação Ecológica de Águas Emendadas (delimitada em vermelho) e da BR-020 (delimitada em verde).	8
Figura 3. Vista aérea da comunidade vegetal estudada.	10
Figura 4. Delimitação da área de estudo, posicionamento dos coletores de serapilheira e disposição dos transectos (tratamentos) na área de estudo.....	11
Figura 5. Produtividade primária foliar e total em uma comunidade de cerrado sentido restrito na ESECAE. (A) Produtividade primária foliar. (B) Produtividade primária total (folha e miscelânea). A linha contínua indica o ajuste da tendência pelo modelo aditivo generalizado. As linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança de 95%. No Box plot, as caixas delimitam 50% das observações mais centrais (limite inferior primeiro quartil e superior terceiro quartil), linhas horizontais dentro das caixas representam a mediana, as barras de variação indicam faixas de valores típicos e círculos representam observações atípicas	17
Figura 6. Produtividade primária líquida anual na vegetação de cerrado sentido restrito da ESECAE em diferentes distâncias da rodovia BR-020. (A) Produtividade primária líquida anual. B. Produtividade primária líquida foliar anual (Kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹).	20
Figura 7. Fluxo de nitrogênio mensal na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito na ESECAE.....	21
Figura 8. Concentração de N na serapilheira foliar de um cerrado sentido restrito na ESECAE nas diferentes distâncias da BR-020.	24
Figura 9. Padrão intra-anual da concentração de S na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito na ESECAE. Padrão obtido com dados nas análises mensais no decorrer do ano. Linha contínua representa o ajuste da tendência pelo modelo GAM. Linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança a 95%.....	25
Figura 10. Concentração de S na serapilheira foliar (%), de um cerrado sentido restrito na ESECAE em diferentes distâncias da BR-020.....	28

Figura 11. Concentração de enxofre na serapilheira foliar de uma cerrado sentido restrito da ESECAE considerando duas categorias de distância da rodovia BR-020.....	28
Figura 12. Variação temporal na concentração de enxofre na serapilheira foliar de um cerrado sentido restrito da ESECAE considerando duas categorias de distância da rodovia BR-020: 60 m (linha contínua) e 80 a 350 m (linha pontilhada).....	29
Figura 13. Variação da concentração de enxofre na serapilheira foliar em um cerrado sentido restrito da ESECAE, a cada mês avaliado e entre os diferentes meses avaliados considerando duas categorias de distância da rodovia BR-020: (A) 60 m e (B) 80 a 350 m	30
Figura 14. Box-plot da variação temporal na concentração de enxofre na serapilheira foliar em um cerrado sentido restrito da ESECAE, considerando duas classes de distância da rodovia BR-020: (A) 60 m e (B) 80 a 350 m	31
Figura 15. Eficiência no uso de nitrogênio na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE em relação ao distanciamento da rodovia BR-020. Linha contínua representa ajuste da tendência pelo modelo GAM. Linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança de 95%.	34
Figura 16. Variação da concentração de enxofre na serapilheira foliar em um cerrado sentido restrito da ESECAE entre as diferentes categorias de distância da rodovia.	35
Figura 17. Variação da eficiência de uso de nutriente de enxofre em um cerrado sentido restrito da ESECAE, dentro de cada tratamento.....	38
Figura 18. Eficiência no uso de nutriente de S em um cerrado sentido restrito da ESECAE considerando duas categorias de distância da rodovia BR-020.....	38
Figura 19. Box-plot da variação temporal na eficiência de uso de nutrientes de enxofre em um cerrado sentido restrito da ESECAE, considerando duas classes de distância da rodovia BR-020: (A) 60 m e (B) 80 a 350 m Linha contínua representa ajuste da tendência pelo modelo GAM. Linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança de 95.	39
Figura 20. Fluxo de nitrogênio na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE ao longo do tempo. Linha contínua representa ajuste da tendência pelo modelo aditivo generalizado. Linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança de 95%.	40

Figura 21. Variação no fluxo de nitrogênio na serapilheira foliar em um cerrado sentido restrito da ESECAE, nas diferentes categorias de distância da rodovia BR-020.	42
Figura 22. Fluxo de enxofre em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE. Padrão intra-anual. Linha contínua representa ajuste da tendência pelo modelo aditivo generalizado. Linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança de 95%.....	43
Figura 23. Variação no fluxo de enxofre em um cerrado sentido restrito da ESECAE, nas diferentes categorias de distância da rodovia BR-020.	45
Figura 24. Média anual do fluxo de enxofre (kg.ha-1.mês-1) em uma comunidade de Cerrado sentido restrito da ESECAE em relação ao distanciamento da rodovia BR-020	46

1. INTRODUÇÃO

1.1 Cerrado e Unidades de Conservação

O bioma Cerrado ocupa 22% do território nacional e faz fronteira com a maioria dos biomas brasileiros. Considerado como *hotspot* de biodiversidade, possui alto grau de diversidade e endemismo de espécies (Myers et al., 2000; Oliveira-Filho e Ratter, 2002). O Cerrado vem sendo ameaçado pela expansão agropecuária e pela deposição de poluentes, emitidas pelas suas cidades e estradas (Pereira e Gama, 2010). A acelerada expansão da fronteira agrícola no bioma, juntamente com efeitos antrópicos decorrentes da urbanização e industrialização, podem ameaçar à extinção espécies alimentícias tradicionais, que fazem parte da cultura e dieta alimentar do homem do campo no bioma Cerrado (da Silva et al., 2001). Além disso, podem afetar os ecossistemas, sua biodiversidade e capacidade em fornecer bens (como alimentos, matéria-prima e material genético usado na agricultura e na indústria farmacêutica) e serviços ambientais (como regulação climática e de recursos hídricos).

A existência de áreas protegidas é essencial por serem refúgios da fauna e da flora (Bitencourt e Mendonça, 2004). Contudo, o Cerrado possui a menor porcentagem de áreas sobre proteção integral entre todos hotspots mundiais. Apenas 8,21% de seu território é legalmente protegido por Unidades de Conservação, das quais 2,85% são proteção integral e 5,36% de uso sustentável (Brasil 2017).

As Unidades de Proteção Integral são voltadas à preservação da natureza. Dentre elas, está a categoria de Estação Ecológica. No Distrito Federal, destaca-se a Estação Ecológica Águas Emendadas (ESECAE), situada no nordeste do Distrito Federal e ao norte da Região administrativa de Planaltina, que ocupa área de 10.547,21 ha (Carvalho, 2008). Na ESECAE ocorre um fenômeno hidrológico raro no mundo: a junção de duas grandes bacias hidrográficas sul americanas, a bacia do rio Tocantins ao norte e a bacia do rio da Prata ao sul, que se iniciam numa nascente em comum, numa vereda de 6 Km de extensão (Salgado e Galinkin, 2008).

A área abriga, no seu estado natural, ecossistemas de grande relevância ecológica do Cerrado e está localizada as margens da BR-020, ponto de intenso tráfego de veículos.

Segundo dados do Plano Nacional de Contagem de Tráfego, órgão do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, no ano de 2015, o sistema de contagem de tráfego automotivo na BR-020, Km 13,91, no município da cidade de Formosa (Goiás), contabilizou o volume total ano de 2.619.325 veículos automotores, com média mensal e diária de 262.932 e 8731 veículos, respectivamente.

1.2 Poluição Atmosférica e Vegetação

Os ecossistemas naturais vêm sendo severamente ameaçados por diversos fatores, dentre eles a poluição do ar, que causa forte impacto nos organismos vivos, inclusive plantas. Altas concentrações de dióxido de nitrogênio (NO₂) e dióxido de enxofre (SO₂) na atmosfera podem alterar o metabolismo das comunidades vegetais e a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas terrestres e aquáticos (Steubing et al., 1989). Um forte indicativo dessa problemática é a presença de chuva ácida em determinadas regiões (Galloway, 1989).

A alteração do ambiente causada pela poluição de estradas sobre os organismos vivos em ambientes terrestres pode modificar a composição química de algumas plantas (Akimov et al., 1989). Além, disso, a biota do solo pode sofrer alterações na composição e funcionamento ou pode ser totalmente excluída quando exposta a poluentes químicos (Muskett e Jones, 1981).

Veículos automotores são os principais contribuintes para elevar a poluição do ar e do solo em áreas rurais e urbanas, pois emitem uma mistura de diferentes gases poluentes (inclusive NO₂ e o SO₂) (Truscott et al., 2005), os quais podem gerar impactos ecológicos na vegetação, principalmente nas comunidades vegetais mais próximas às rodovias. Contudo, pouco se sabe sobre os efeitos de poluentes atmosféricos emitidos por rodovias sobre os ecossistemas (Bignal et al., 2004), inclusive para o Cerrado.

A emissão de gases de rodovias pode alterar significativamente a composição química e ciclagem biogeoquímica da vegetação. Conhecer o efeito da poluição de rodovias sobre ecossistemas naturais adjacentes é importante para avaliar os possíveis impactos (efeitos de borda) em Unidades de Conservação (ou outras áreas protegidas) e agroecossistemas (convencionais ou agroecológicos).

Informações sobre a influência de gases emitidos por veículos automotores que trafegam próximos às Unidades de Conservação e agroecossistemas urbanos e periurbanos podem subsidiar o manejo desses ecossistemas e políticas públicas para mitigar os efeitos negativos da emissão desses gases.

1.3. Hipóteses

As respostas a alterações ambientais em nível celular e de indivíduo podem se apresentar ao nível de comunidades de plantas. Comunidades e ecossistemas naturais possuem respostas diferenciadas quanto a presença de poluição atmosférica causada por NO₂ e SO₂ (Bowman et al., 2006). O aumento na disponibilidade de N e S altera o metabolismo destes elementos em comunidades vegetais (Jacobson, 2009), o que pode levar a mudanças na concentração e eficiência do uso de nutrientes (EUN) na serapilheira foliar.

A hipótese do presente estudo é de que o aumento da concentração atmosférica de NO₂ e SO₂, emitidos pelos veículos automotores que trafegam na BR-020, pode levar a a) aumento na concentração de N e S na serapilheira foliar da vegetação próxima à rodovia; ao aumento na produtividade primária líquida; e ao decréscimo na eficiência de uso de N e S. Espera-se, ainda, que a intensidade desse efeito seja reduzida com o aumento distância da vegetação à rodovia.

1.4. Objetivo

O presente estudo avaliou o efeito da proximidade à rodovia sobre e produtividade primária líquida (PPL), concentração de N e S e eficiência no uso dos nutrientes (EUN) desses elementos na serapilheira foliar, em uma vegetação de cerrado sensu stricto próxima BR-20, durante o período de 12.

2. REFERENCIAL TÉORICO

2.1 Nitrogênio e o enxofre nas plantas

Apesar da diversidade de gases que compõem a atmosfera, tanto o SO_2 quanto o NO_2 são elementos emitidos por veículos automotores que podem ser metabolizados a nutrientes utilizados pelas plantas em todos os ecossistemas. O SO_2 quando absorvido e em contato com H_2O forma sulfeto de hidrogênio (H_2S) e sulfito de hidrogênio (H_2SO_3) que são foto-oxidados a sulfato (SO_4^{2-}) (Manning & Feder, 1980). O NO_2 , por sua vez, quando absorvido via estômato reage com H_2O formando ácido nítrico (HNO_3) ou ácido nitroso (HNO_2), que são dissociados em nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-) (Freedman, 1995).

Tanto SO_2 quanto o NO_2 , quando em contato com os tecidos internos da planta causam danos celulares, especialmente alterando rotas bioquímicas de uso de N e S (Mudd, 2012). No caso do S, a sua assimilação nas plantas tem início pela captação de sulfatos retirados do solo (Takahashi et al., 2011), mas pode ser absorvido pelos estômatos na forma de dióxido de enxofre (SO_2) (Epstein e Bloom, 2006). O enxofre é fundamental na estrutura das proteínas como constituinte de aminoácidos e de coenzimas, porém a sua porcentagem nos vegetais é modesta, variando de 3% a 5% dos níveis de N (Epstein e Bloom, 2006).

Estudos recentes fazem relação do S com o estresse hídrico vegetal. Uma das respostas metabólicas ao estresse hídrico é acumular um conjunto de metabólitos que funcionam como osmoprotetores e sinalizadores ao estresse hídrico (Cutler et al., 2010), como ácido abscísico (ABA). Além de participar de respostas fisiológicas ao estresse hídrico, o ABA controla genes envolvidos com o estresse hídrico e induz espécies reativas de oxigênio (ROS), como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o qual induz o fechamento dos estômatos para reduzir a perda de água por evapotranspiração (Cutler et al., 2010). De forma semelhante ao peróxido de hidrogênio, SO_2 também induz o fechamento estomático, sendo transportado pelo xilema até as folhas como resposta ao estresse hídrico (Ernst et al., 2010).

O N, por sua vez, é o maior constituinte da atmosfera (78%), onde está presente na forma N_2 . Para que possa ser aproveitado pelas plantas, ele participa do ciclo biogeoquímico do N, sendo que 8% é fixado por descargas elétricas na atmosfera, 2% é fixado por reações fotoquímicas e 90% é fixado pela ação biológica das bactérias na forma de amônia (Epstein e Bloom, 2006). Apesar das plantas absorverem nutrientes do solo, quando em altas concentrações o NO_2 emitido na atmosfera é uma fonte de N para as plantas (Stulen et al., 1998; Siegwolf et al., 2001).

2.2 Ciclagem de nutrientes e serapilheira

Segundo Leitão Filho (1993), a ciclagem de nutrientes permite o fluxo de nutrientes circular entre a vegetação e o solo. O compartimento da parte aérea da vegetação armazena uma quantidade significativa de nutrientes. As reservas de nutrientes foliares são fontes importantes para a manutenção do ciclo biogeoquímico no habitat de comunidades vegetais (Aerts e Chapin, 2000; Martins e Rodrigues, 1999).

Os nutrientes são translocados para o solo através da queda das folhas e formam parte importante da serapilheira, um substrato orgânico composto pela deposição lançada no solo de folhas, flores, galhos, frutos e excrementos animais, introduzindo nutrientes no solo e promovendo uma circulação de nutrientes nas comunidades vegetais (Leitão Filho, 1993; Facelli e Pickett, 1991; Dias e Oliveira Filho, 1997). Na serapilheira é onde está a maior parcela de nutrientes usados pela comunidade vegetal, por meio da decomposição e mineralização de nutrientes contidos nas folhas, galhos e miscelâneas (Cesar 1993). Esse processo de adição e circulação de nutrientes é fundamental para a manutenção dos ecossistemas (Ribeiro, 1998; Sioli, 1991; Dias e Oliveira Filho, 1997).

A acumulação da serapilheira modifica os ecossistemas na sua estrutura física e química e repercute diretamente na comunidade vegetal (Facelli e Pickett, 1991). O acúmulo de folhas na serapilheira está relacionado ao envelhecimento celular foliar, um complexo de modificações metabólicas que ocorre na estrutura das folhas e que promove a queda foliar ao solo (Dale, 1982). Os nutrientes contidos nas folhas representam e indicam determinado estado nutricional e refletem o potencial de fertilidade do solo. Esse estado nutricional encontrado nas folhas também varia de acordo com a espécie vegetal (Mills e Jonnes Junior, 1996).

A ciclagem de nutrientes e os processos biogeoquímicos são primordiais para estabelecer parâmetros da funcionalidade dos ecossistemas (Schlesinger, 1997). Na manutenção dos ecossistemas há uma relação direta entre a dinâmica de ciclagem de seus nutrientes pelos processos da biogeoquímica e a produtividade (Attiwill e Adams, 1993). A PPL é a diferença entre a fotossíntese e a respiração no ecossistema, dividido pela unidade

de tempo e espaço (Fieldet et al., 1995). Há também a definição para PPL que relaciona o montante de energia solar incidente em um ecossistema natural que é convertido pelas plantas para gerar matéria orgânica por meio da fotossíntese (Imhoff et al., 2004).

Diversos fatores naturais e antropogênicos podem afetar a PPL. A influência da temperatura e da disponibilidade pluviométrica (incluindo a sazonalidade e periodicidade das chuvas) são fatores predominantes na variação da PPL (Fieldet et al., 1995; Running et al., 2004). Outros fatores também interferem na PPL, como incidência solar, fertilidade do solo, relevo e as características da vegetação, além da microbiota do solo (Evans, 1972; Nemani et al., 2003, Shankaranarayan et al., 1985). Em ecossistemas naturais, a composição das comunidades vegetais aliado ao clima e a fertilidade do solo, determinam esta variação da ciclagem de nutrientes (Vitousek e Sanford, 1986). Entre as interferências antropogênicas, a poluição atmosférica é um dos fatores que contribui para variação da PPL (Fieldet et al., 1995).

A PPL de um ecossistema depende diretamente do aporte de nutrientes (estocado na vegetação, na serapilheira, no solo e na biomassa animal) e seus mecanismos de transferência (Wetzel, 1997). A decomposição da matéria orgânica da serapilheira fornece nutrientes para a PPL e a ciclagem da matéria orgânica, sendo que o acréscimo da biomassa vegetal apresenta uma relação direta com a queda da serapilheira (Swift et al., 1979).

Assim, a quantificação da serapilheira pode ser uma maneira indireta de estimar a PPL (Clark et al., 2001), uma vez que a decomposição da serapilheira fornece um importante aporte de nutrientes para os biomas tropicais (Vitousek e Sanford, 1986). Portanto, mensurar a serapilheira pode fornecer informações para determinar o fluxo de nutrientes que está sendo relocado no solo, principalmente em biomas com solo com baixo teor de nutrientes (Lathwell e Grove, 1986), como é o caso do Cerrado. A quantificação da serapilheira permite mensurar diretamente as variações anuais e correlacionar com agentes antropológicos e mudanças climáticas (ICP Forests, 2004) e a determinação da produção e a decomposição de serapilheira pode fornecer dados para avaliar impacto ambiental e pode auxiliar no manejo do bioma (Leitão Filho, 1993).

Grande parte dos solos do Cerrado tem solos ácidos e distróficos, com baixa taxa de nutrientes disponíveis (Haridasan, 2000; Haridasan 2008). Baixas concentrações de

nutrientes encontrados nas folhas de vegetação de cerrado denotam essa baixa fertilidade dos solos (Haridasan, 2005), a qual está relacionada a longos períodos geológicos, nos quais os solos foram intensamente lixiviados em ambientes quentes e úmidos (Richter e Barbar, 1991; Haridasan, 1987; Haridasan, 1992; e Araújo e Haridasan, 1988).

As plantas do Cerrado se adaptaram à baixa disponibilidade de nutrientes no solo (Hoffman et al., 2012; Ruggiero et al., 2002). Segundo Nardoto (2000), uma das estratégias evolutivas de sobrevivência da vegetação de biomas com baixo teor de nutrientes no solo é a retranslocação de nutrientes e o Cerrado se encontra neste perfil. No entanto, a relocação de nutrientes da serapilheira pelo processo de decomposição pode se tornar lenta devido às condições climáticas do Cerrado e pelo baixo aporte de nutrientes na serapilheira (Peres et al., 1983; Silva, 1983). Em ecossistemas que se estabelecem em solos com baixa fertilidade, elevam a EUN como resposta adaptativa.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado em uma área de cerrado *sensu stricto*, localizada na Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESECAE), entre as coordenadas 15°31'10,64'' S – 47°35'08'' W - e 15°35'51,44'' S – 47°36'58,59'' W, no nordeste do Distrito Federal e a norte de Planaltina, distante 50 km de Brasília. A ESECAE ocupa uma área total de 10.547,21 ha (Figuras.1 e 2).



Figura 1. Localização da Estação Ecológica de Águas Emendadas (delimitada em branco).



Figura 2. Localização da Estação Ecológica de Águas Emendadas (delimitada em vermelho) e da BR-020 (delimitada em verde).

A área de estudo apresenta clima sazonal, com uma estação chuvosa e uma estação seca bem definida. Segundo Nimer (1989), a região Centro-Oeste do Brasil tem clima caracterizado por invernos secos e verões chuvosos. Apresenta precipitação média anual entre 1200 e 1800 mm (Marcuzzo et al., 2012).

Durante o período estudado (novembro de 2016 a outubro de 2017) a área de estudo apresentou precipitação total de 1141.6 mm, com variação sazonal ao longo do ano (Tabela 1). A direção predominante do vento foi sudeste (Tabela 1), mas a velocidade média do vento baixa ($1,6 \text{ m s}^{-1}$) com seu valor máximo mensal de 1,9 (Tabela 1).

Tabela 1. Direção do vento (DV), velocidade do vento média mensal (VV) e precipitação mensal total (P) observada na estação meteorológica das ESEACE, durante o período de estudo. Fonte: INMET

	Nov 2015	Dez 2015	Jan 2016	Fev 2016	Mar 2016	Abr 2016	Mai 2016	Jun 2016	Jul 2016	Ago 2016	Set 2016	Out- 2016
DV (grau)	134	134	192	112	126	103	111	118	109	113	116	124
VV (m/s)	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	2.1	1.9	2.1	2.2	2.3	0	2
P (mm)	115.4	188.6	461.2	26.6	98.2	3.6	20.8	1.8	0	13.6	53.2	158.6

A área possui relevo plano, semi-inclinado, caracterizando uma área plana e homogênea topograficamente. É uma área protegida de interferências externas e com baixo distúrbio de fogo (Figura 3).



Figura 3. Vista aérea da comunidade vegetal estudada.

3.2. Delineamento experimental

Foram instalados coletores de serapilheira (0,25 m²) posicionados a 0,5 m de altura do solo, com distanciamento mínimo de 40 m entre coletores por linha, dispostos em 6 linhas distantes a 60, 80, 110, 170, 290 e 350 m da rodovia BR-020. Cada tratamento foi composto por cinco repetições, totalizando 30 coletores de serapilheira, distribuídos em um retângulo de 200 por 300 m, totalizando 6 ha de área (Figura 4).



Figura 4. Delimitação da área de estudo, posicionamento dos coletores de serapilheira e disposição dos transectos (tratamentos) na área de estudo.

3.3. Coleta e análise química da serapilheira foliar

As coletas da serapilheira foram realizadas mensalmente, por 12 meses, entre novembro de 2016 e outubro de 2016. O material coletado foi preparado e analisado no laboratório de Fisiologia Vegetal do departamento de Botânica da Universidade de Brasília. As amostras foram secas em estufa com circulação de ar a 65°C, por 60 horas ou até apresentarem massa constante. Em seguida, as amostras foram separadas em fração folha e miscelânea (galhos, flores e botões florais) e pesadas em balança de precisão (0,001g).

As análises para N e S na serapilheira foliar da comunidade vegetal foram realizadas para cada tratamento nos meses de outubro, dezembro e fevereiro (representando o período chuvoso) e em abril, junho e agosto, representando o período seco.

Bimestralmente as amostras da serapilheira fração folha foram moídas em moinho de bola (< 200 mm mesh) e alíquotas de 100 mg e 200 mg foram submetidas a análise para N e S, respectivamente, pelo método de combustão sólida de Dumas, através da detecção por condutividade térmica para análise de nitrogênio (Ribeiro, 2010). Para o doseamento de enxofre, foi utilizado a detecção de absorção por espectroscopia por infravermelho. O

nitrogênio foi quantificado no analisador de nitrogênio marca LECO (modelo 628CN) e o enxofre foi quantificado no analisador de enxofre marca LECO (modelo 628S).

3.3.1. Determinação da produção primária líquida

A PPL foi calculada por meio da quantificação (em massa) da biomassa produzida: fração folhas e miscelânea (galhos, flores e frutos, por metro quadrado, por intervalo de tempo. A PPL foi determinada para cada uma das cinco repetições por linhas e expressa em kg.m^{-2} . unidade de tempo⁻¹.

3.3.2. Determinação da concentração de N e S na serapilheira

A concentração de N na serapilheira foi calculada a partir da multiplicação da porcentagem de N no tecido foliar com a massa da serapilheira foliar, coletada para cada tratamento, segundo o método proposto. A concentração de S na serapilheira foi calculada a partir da multiplicação da porcentagem de S no tecido foliar com a massa da serapilheira foliar, coletada em cada tratamento.

3.4. Cálculo da Eficiência no Uso de Nutrientes

O cálculo da EUN foi realizado pelo método proposto por Vitousek (1982), que define o valor da biomassa foliar produzida pelo vegetal (serapilheira), dividido pela concentração do elemento no tecido, em porcentagem, do nutriente analisado.

3.5. Cálculo do fluxo de nutrientes na serapilheira foliar.

O fluxo de N e S foram calculados através da multiplicação da concentração de nutrientes na serapilheira foliar pela biomassa da serapilheira foliar coletada, para cada tratamento.

3.6. Análise estatística

3.6.1 Abordagem metodológica

O possível efeito da distância da rodovia na serapilheira foi avaliado por análise de regressão linear, quando os dados apresentaram propriedades de linearidade, homocedasticidade e normalidade dos resíduos. Quando estas premissas não foram atendidas, o efeito foi avaliado por análise de Modelos Aditivos Generalizados (GAM). As análises foram realizadas no programa R (R Foundation for Statistical Computing, versão 3.2.4 ou superior) com o nível de significância de 0,05.

3.6.2. Categorias de distância testadas

Na ausência efeitos significativos entre todos os tratamentos (as diferentes distâncias da rodovia), foram ajustados modelos considerando diferentes categorias de distância. As distâncias da rodovia foram transformadas em variáveis categóricas agrupadas em diferentes classes de distância. Foram testados modelos com as diferentes combinações possíveis de classe de distância. As análises seguiram protocolos descritos em Zuur et al. (2009).

3.6.3. Análises de médias anuais ou somatórios anuais

Inicialmente os dados de PPL foram submetidos a análises da categoria GLS (Mínimos Quadrados Generalizados), quando foi executada a análise preliminar, especificando somente a variável resposta (ex. concentração de N) e variável preditora (categoria de distância da rodovia), definido como Etapa 1 da análise. Após este passo, verificou-se a heterocedasticidade nos modelos relacionados às variáveis distância da rodovia e PPL (somente nas análises de fluxos e concentrações de N e S). A avaliação se deu por meio da comparação dos valores de Critério de Informação de Akaike (AIC) de modelos, a distribuição dos erros (homocedasticidade), com a seleção do modelo com menor AIC e homocedasticidade dos erros (Etapa 2).

Na Etapa 3, foram identificados valores discrepantes (outliers), por meio da avaliação de valores de Distância de Cook, usando valores de limiar de corte conforme fórmulas de Aguinis et al. (2013). Em caso de um ou mais outliers, a observação com maior valor de distância de Cook foi removida e passos 1 a 3 foram repetidos. O procedimento foi repetido até não ser detectado nenhum outlier. O modelo obtido até então foi rodado com variações 17 vezes, em cada uma delas juntando os dados de categorias adjacentes de distância da rodovia avaliando todas as combinações possíveis.

O modelo com melhor explicação dos dados foi determinado por meio de comparação dos valores de AIC. Modelos com Delta AIC (diferença entre menor AIC obtido e o AIC do modelo avaliado) menor que 2 foram considerados como semelhantes (sem diferença significativa). Caso o melhor modelo fosse o modelo nulo, ou este fosse semelhante ao melhor modelo, aplicou-se o princípio da parcimônia, que conclui que não há efeito da distância da rodovia na variável em questão. Caso o melhor modelo não fosse o nulo (ou este não fosse igual ao nulo, foi observado em quais faixas de distância ocorreu a diferença entre as variáveis: distinção entre valores do ambiente preservado (distantes da rodovia) e alterado (provavelmente pela proximidade da rodovia). Assim, os resíduos do melhor modelo foram avaliados para checar homocedasticidade e normalidade.

3.6.4. Análise dos dados mensais.

Os dados mensais foram analisados através de Análises da categoria GAM, com análise preliminar especificando somente a variável resposta (ex. concentração de N ou S) e as variáveis preditoras (categoria de distância da rodovia e mês de coleta) (Etapa 1). Após esta etapa, verificou se havia padrão de heterocedasticidade nos modelos que relacionavam às variáveis distância da rodovia, mês de coleta e produtividade primária foliar (somente nas análises de fluxos e concentrações de elementos).

Os modelos foram avaliados comparando-se os valores de AIC e distribuição dos erros, com a seleção do modelo com menor AIC e homocedasticidade nos erros (Etapa 2).

Após este passo, verificou-se se havia autocorrelação temporal nos dados, por meio de gráficos de correlograma. EM caso de autocorrelação, foi verificado o efeito de se adicionar padrão de correlação nos dados, adicionando ao modelo componente "autorregressivo" ou "com média móvel" ou "autorregressivo com média móvel". Isto foi realizado com a seleção do modelo com gráfico de correlograma que melhor excluiu o padrão de autocorrelação espacial ou, caso vários modelos tivessem gráfico de correlograma adequado, o com menor valor de AIC (Etapa 3). O modelo obtido até então foi rodado com variações 17 vezes, e em cada uma delas, juntou-se os dados de categorias adjacentes de distância da rodovia avaliando todas as combinações possíveis (Etapa 4).

O modelo com melhor explicação dos dados foi determinado por meio de comparação dos valores de AIC. Todos os modelos com Delta AIC (diferença entre menor AIC obtido e o AIC do modelo avaliado) menor que dois foram considerados semelhantes. Caso o melhor modelo escolhido for o modelo nulo, ou for semelhante ao melhor modelo, aplicou-se o princípio da parcimônia, que conclui que não há efeito da distância da rodovia na variável em questão.

Caso se o melhor modelo não for o nulo, observou-se em quais faixas de distância ocorreu a diferença entre as variáveis (distinção entre valores dos tratamentos mais afastados da rodovia (ambiente menos impactado e alterado provavelmente pela ação da rodovia).

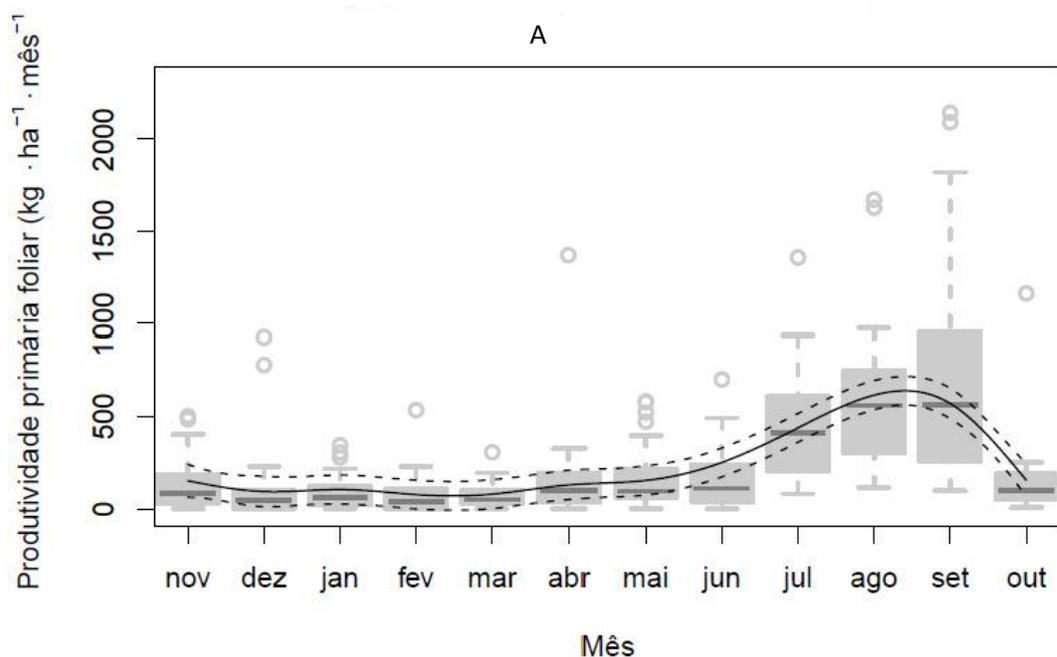
4. RESULTADOS

4.1. Produtividade Primária Líquida

A PPL apresentou significativa variação sazonal (Tabela 2, Figuras 5A e 5B) ($P < 0,05$). A PPL total e PPL foliar foram menores no mês de março de 2016 (final do período chuvoso) e elevadas no mês de setembro de 2016 (período da seca). A menor PPL de miscelânea ocorreu em junho de 2016 e foi maior produção em dezembro de 2015 (Tabela 2).

Tabela 2. Produtividade primária líquida (média e desvio padrão) mensal da serapilheira (fração folha, miscelânea e total) na comunidade de cerrado sentido restrito na ESECAE, marginal à BR-020.

Mês	Folha (kg.ha ⁻¹ .mês ⁻¹)	Miscelânea (kg.ha ⁻¹ .mês ⁻¹)	Total (kg.ha ⁻¹ .mês ⁻¹)
Nov /15	141,58 ± 62,67	316 ± 168,12	438,63 ± 140,18
Dez /15	155,9 ± 122,47	442,35 ± 298,29	587,34 ± 369,24
Jan / 16	103,85 ± 70,94	105,56 ± 51,63	183,76 ± 100,52
Fev /16	100,78 ± 53,11	165,05 ± 147,1	237,15 ± 158
Mar /16	72,54 ± 19,63	43,41 ± 44,54	103,58 ± 39,12
Abr /16	189,49 ± 92,59	113,61 ± 125,64	273,32 ± 182,12
Mai /16	182,87 ± 50,35	53,19 ± 41,65	221,73 ± 61,65
Jun /16	196,9 ± 37,75	34,52 ± 29,82	213,78 ± 52,91
Jul /16	464,8 ± 183,97	52,4 ± 20,06	511,04 ± 192,03
Ago /16	584,28 ± 158,15	141,83 ± 116,24	700,85 ± 196,36
Set /16	810,26 ± 423,85	99,95 ± 91,2	901,96 ± 384,27
Out /16	145,43 ± 104,21	160,33 ± 146,74	294,73 ± 130,75
Total	3148,682 ± 231,120	1728,207 ± 121,502	4667,880 ± 242,088
Média mensal	262,390	144,017	388,990



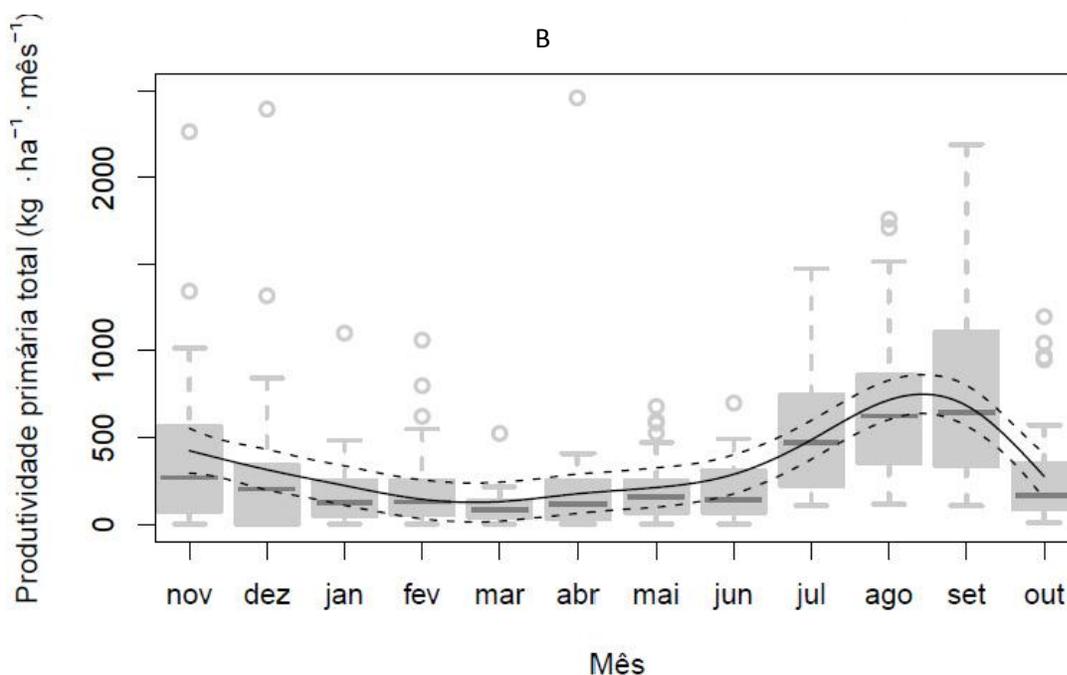


Figura 5. Produtividade primária foliar e total em uma comunidade de cerrado sentido restrito na ESECAE. (A) Produtividade primária foliar. (B) Produtividade primária total (folha e miscelânea). A linha contínua indica o ajuste da tendência pelo modelo aditivo generalizado. As linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança de 95%. No Box plot, as caixas delimitam 50% das observações mais centrais (limite inferior primeiro quartil e superior terceiro quartil), linhas horizontais dentro das caixas representam a mediana, as barras de variação indicam faixas de valores típicos e círculos representam observações atípicas

Não houve diferença significativa na PPL total, PPL foliar e PPL de miscelânea entre os tratamentos ao longo do período de estudo ($P > 0,05$). O mesmo foi observado para a fração miscelânea e PPL total (Tabela 3, Figura 6A e 6B).

Tabela 3. Produtividade primária líquida (média e desvio padrão) mensal da serapilheira (fração folha, miscelânea e total) por tratamento, na vegetação de cerrado sentido restrito na ESECAE, marginal à BR-020. Onde n = repetições por tratamento.

Mês / Ano	n	Distância (m)	Folha (kg.ha ⁻¹ .mês ⁻¹)	Miscelânea (kg.ha ⁻¹ .mês ⁻¹)	Total (kg.ha ⁻¹ .mês ⁻¹)
Novembro /2015					
	5	60	100,33 ± 101,84	267,36 ± 264,13	367,69 ± 320,81
	4	80	50,5 ± 25,83	568,66 ± 1075,7	505,42 ± 984,46
	3	110	117,84 ± 127,61	235,32 ± 197,12	353,16 ± 284,44
	5	170	218,3 ± 217,84	476,62 ± 237,77	694,92 ± 405,86
	5	290	176,61 ± 91,8	209,35 ± 297,7	385,96 ± 353,05
	5	350	185,9 ± 192,75	138,7 ± 134,93	324,61 ± 230,91
Dezembro /2015					
	4	60	105,27 ± 90,11	329,2 ± 342,04	434,47 ± 274,65
	3	80	327,24 ± 520,3	667,25 ± 734,2	994,49 ± 1243

Mês / Ano	n	Distância (m)	Folha (kg.ha ⁻¹ .mês ⁻¹)	Miscelânea (kg.ha ⁻¹ .mês ⁻¹)	Total (kg.ha ⁻¹ .mês ⁻¹)
	2	110	294,51 ± 424,17	399,25 ± 351,7	693,76 ± 660,59
	4	170	83,76 ± 63,94	223,4 ± 127,97	251,31 ± 119,66
	5	290	86,22 ± 34,84	917,752 ± 1715,15	1003,97 ± 1722,78
	4	350	38,43 ± 15,02	117,22 ± 135,53	146,04 ± 134,72
Janeiro /2016					
	5	60	36,8 ± 31,25	69,92 ± 35,73	123,93 ± 122,89
	4	80	190,98 ± 117,53	205,69 ± 347,39	358,47 ± 430,15
	5	110	190,98 ± 117,53	205,69 ± 347,39	358,47 ± 430,15
	5	170	164,87 ± 123,98	62,16 ± 94,73	194,06 ± 161,26
	5	290	139,82 ± 80,45	83,93 ± 119,24	223,75 ± 164,8
	5	350	20,73 ± 4,46	76,73 ± 84,17	77,97 ± 70,93
Fevereiro /2016					
	4	60	80,68 ± 64,35	447,25 ± 398,96	527,93 ± 381,88
	4	80	64,06 ± 30,65	201,34 ± 247,52	199,51 ± 254,22
	4	110	78,75 ± 41,61	79,25 ± 105,22	138,31 ± 147,21
	5	170	52,12 ± 34,82	52,68 ± 47,08	94,38 ± 49,05
	5	290	190 ± 202,82	106,15 ± 98,45	296,86 ± 294,42
	4	350	138,37 ± 114,71	103,61 ± 54,43	165,91 ± 63,01
Março /2016					
	5	60	87,81 ± 122,87	131,44 ± 80,85	166,67 ± 207,77
	4	80	61,18 ± 44,44	10,07 ± 7,17	71,25 ± 50,53
	5	110	46,64 ± 36,14	18,96 ± 20,46	65,6 ± 46,94
	4	170	96 ± 68,89	33,73 ± 20,82	121,3 ± 66,31
	5	290	84,88 ± 63,79	42 ± 35,94	118,48 ± 58,96
	5	350	58,72 ± 43,63	24,3 ± 11,07	78,16 ± 45,72
Abril /2016					
	4	60	338,8 ± 667,58	364,17 ± 630,77	641,93 ± 1213,74
	4	80	127,02 ± 66,98	65,85 ± 83,84	176,41 ± 126,37
	3	110	204,09 ± 55,7	13,63 ± 12,06	212,72 ± 59,65
	5	170	154,62 ± 80,04	69,68 ± 91,66	196,43 ± 131,85
	4	290	160,15 ± 117,23	74,23 ± 61,41	234,38 ± 127,77
	5	350	122,23 ± 65,11	94,07 ± 68,4	173,04 ± 149,39
Mai /2016					
	4	60	157,44 ± 244,56	52,97 ± 91,75	197,17 ± 323,78
	4	80	210 ± 250,78	5 ± 8,66	213,74 ± 247,68
	5	110	127,74 ± 71,29	37,69 ± 44,23	157,89 ± 72,45
	5	170	133,58 ± 81,71	65,04 ± 94,56	172,6 ± 129,27
	5	290	250,75 ± 226,18	31,19 ± 23,13	269,46 ± 224,3
	5	350	217,73 ± 197,31	127,27 ± 48,08	319,54 ± 169,96
Junho /2016					
	5	60	169,7 ± 122	72,01 ± 117,2	212,9 ± 172,2
	5	80	135,4 ± 202,3	0	135,4 ± 202,3
	4	110	227,2 ± 132,2	40 ± 69,28	257,2 ± 76,19

Mês / Ano	n	Distância (m)	Folha (kg.ha⁻¹.mês⁻¹)	Miscelânea (kg.ha⁻¹.mês⁻¹)	Total (kg.ha⁻¹.mês⁻¹)
	4	170	200,3 ± 204,9	7,29 ± 10,11	205,8 ± 199,9
	5	290	215,5 ± 186,7	22,68 ± 39,28	186 ± 174,6
	5	350	233,3 ± 272,2	65,16 ± 51,91	285,5 ± 260,1
Julho /2016					
	5	60	466,8 ± 302	68,75 ± 47,07	508 ± 343,9
	5	80	269,3 ± 104,9	47,34 ± 73,87	307,2 ± 156,7
	5	110	642,2 ± 479,1	44,81 ± 42,68	687 ± 519,4
	5	170	251,1 ± 175,8	23,74 ± 6,21	274,8 ± 177,5
	5	290	696,8 ± 156,9	48,64 ± 25,79	745,4 ± 179,5
	5	350	462,6 ± 305,6	81,13 ± 138,1	543,7 ± 364,4
Agosto /2016					
	5	60	847 ± 508,6	118 ± 60,13	941,4 ± 556,7
	5	80	436,6 ± 191,5	34,33 ± 32,68	464,1 ± 171,7
	5	110	485 ± 324,7	93,94 ± 81,39	560,1 ± 360,2
	5	170	469,6 ± 200,2	93,18 ± 120,4	562,8 ± 217,2
	5	290	689,9 ± 122,9	144,3 ± 80,15	805,4 ± 211,4
	5	350	577,6 ± 611,7	367,2 ± 572,3	871,3 ± 683,8
Setembro /2016					
	5	60	1639 ± 1812	21,05 ± 36,47	1652 ± 1803
	5	80	846,8 ± 777	111,5 ± 131,3	936 ± 816,8
	5	110	642,6 ± 844,7	46,91 ± 81,24	670,8 ± 834,9
	5	170	686,4 ± 277,7	91,84 ± 82,13	778,3 ± 343,3
	5	290	496,8 ± 416,3	274 ± 343,2	770,7 ± 647,6
	5	350	549,7 ± 300,6	54,42 ± 29,55	604,1 ± 297,1
Outubro /2016					
	5	60	109,5 ± 75,23	298,3 ± 390,9	348,2 ± 417,1
	5	80	351,3 ± 460,9	32,59 ± 33,29	377,3 ± 468
	5	110	106,1 ± 77,36	68,96 ± 60,64	175,1 ± 102,9
	5	170	60,13 ± 40,7	113,6 ± 199,6	173,7 ± 224,7
	5	290	102,9 ± 65,51	388 ± 410,7	490,8 ± 444,1
	5	350	142,7 ± 86,91	60,55 ± 30,93	203,2 ± 94,61

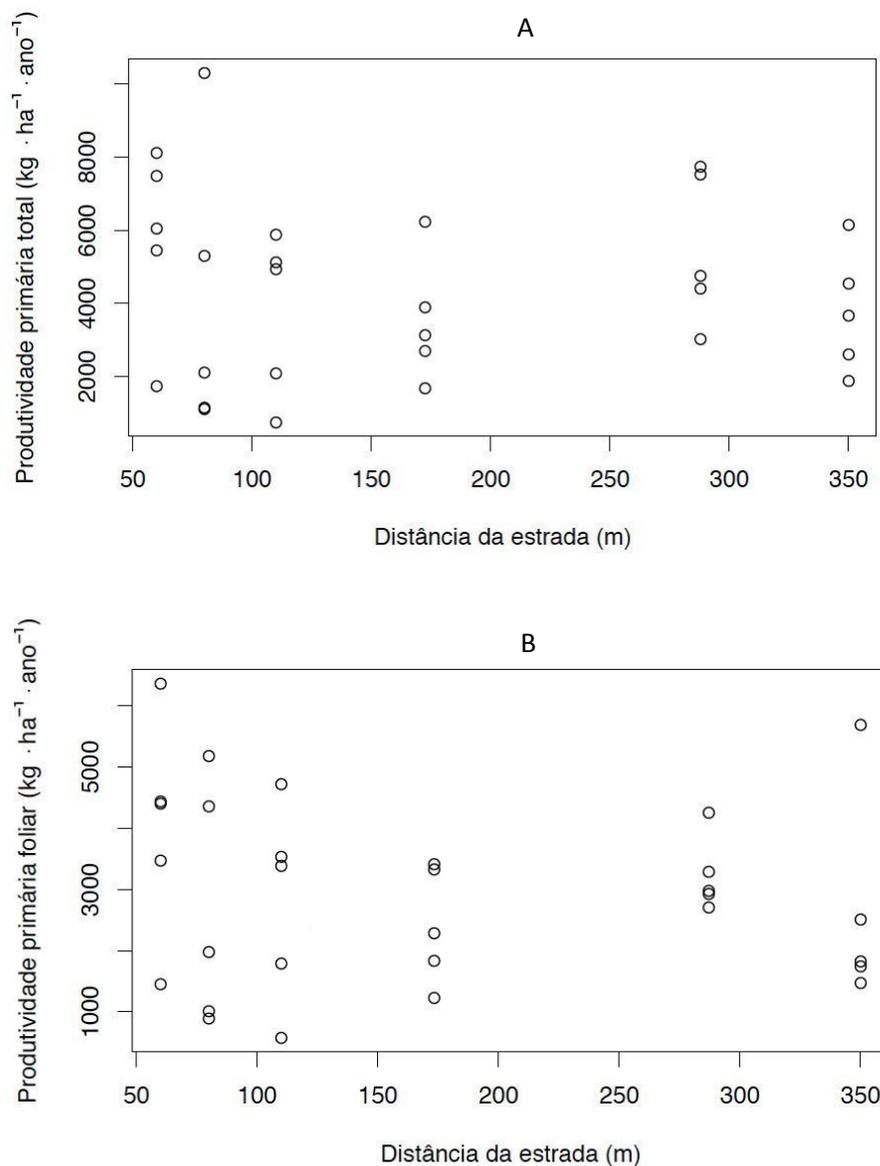


Figura 6. Produtividade primária líquida anual na vegetação de cerrado sentido restrito da ESECAE em diferentes distâncias da rodovia BR-020. (A) Produtividade primária líquida anual. B. Produtividade primária líquida foliar anual ($\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$).

4.2. Concentração de N na serapilheira foliar

De forma geral, a concentração de N na serapilheira foliar apresentou menor valor em abril de 2016 e o maior valor em outubro de 2016 (Figura 7, Tabela 4). A variação dentro de cada mês foi alta. Apesar do aumento observado em outubro, não houve diferença significativa no fluxo de nitrogênio foliar entre os meses avaliados ($P > 0,05$).

Tabela 4. Concentração mensal de N e desvio padrão na serapilheira foliar de um cerrado sentido restrito na ESECAE, marginal a rodovia BR-020.

Mês / Ano	Nitrogênio (mg/g)
Dezembro / 15	7,4 ± 6,015
Fevereiro / 16	9,5 ± 7,033
Abril / 16	7,1 ± 3,842
Junho / 16	7,2 ± 3,348
Agosto / 16	8,4 ± 1,649
Outubro / 16	11,0 ± 4,6542
Média anual	8,4

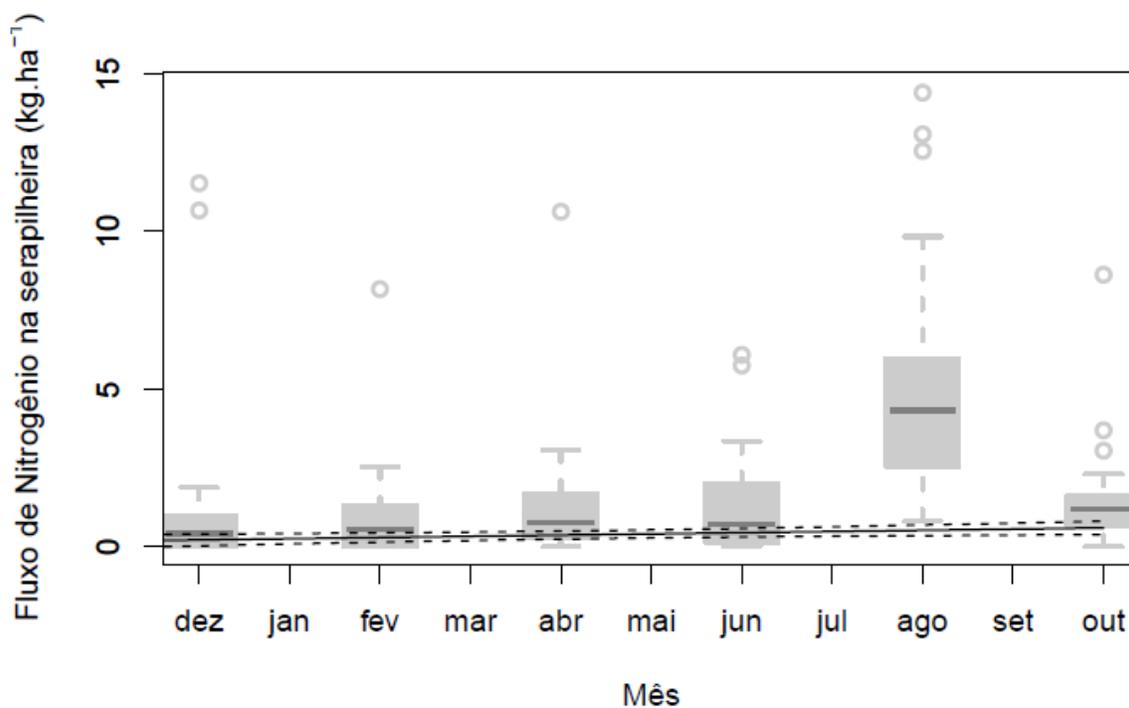


Figura 7. Fluxo de nitrogênio mensal na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito na ESECAE.

A variação na concentração de N dentro de cada tratamento foi elevada (Tabela 5, Figura 8). Não houve diferença significativa na concentração de N na serapilheira foliar entre tratamentos ($P>0,05$) (Tabela 5, Figura 8).

Tabela 5. Concentração de N na serapilheira foliar e desvio padrão em um cerrado sentido restrito na ESECAE em diferentes distâncias da rodovia BR-020.

Mês / Ano	Distância (m)	Concentração de N (mg/g)
Dezembro /2015		
	60	8,6 ± 5,224
	80	5,3 ± 7,307
	110	5,8 ± 7,888
	170	8,4 ± 5,471
	290	9,1 ± 4,472
	350	7,4 ± 7,346
Fevereiro /2016		
	60	11,3 ± 6,412
	80	7,0 ± 6,615
	110	11,1 ± 12,854
	170	8,4 ± 5,024
	290	11,4 ± 3,044
	350	7,4 ± 6,887
Abril /2016		
	60	7,2 ± 4,140
	80	7,0 ± 3,937
	110	5,4 ± 5,268

Mês / Ano	Distância (m)	Concentração de N (mg/g)
	170	8,9 ± 1,109
	290	6,7 ± 4,122
	350	7,1 ± 4,531
Junho /2016	60	9,0 ± 3,089
	80	5,3 ± 3,117
	110	6,4 ± 4,075
	170	7,3 ± 4,626
	290	7,0 ± 1,632
	350	8,2 ± 3,319
Agosto /2016	60	9,2 ± 1,751
	80	7,8 ± 1,713
	110	8,8 ± 2,689
	170	8,3 ± 1,429
	290	7,9 ± 1,189
	350	8,5 ± 1,090
Outubro /2016	60	12,3 ± 3,483
	80	7,0 ± 4,362
	110	12,3 ± 6,051

Mês / Ano	Distância (m)	Concentração de N (mg/g)
	170	13,8 ± 4,020
	290	8,5 ± 5,082
	350	12,2 ± 2,012

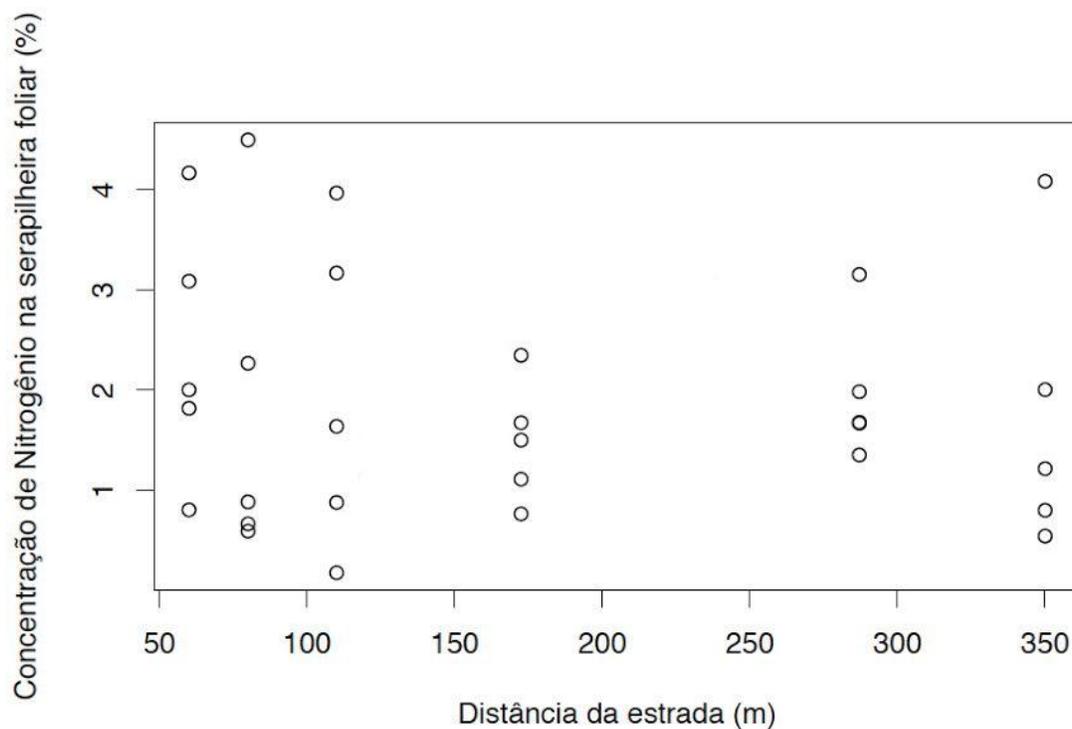


Figura 8. Concentração de N na serapilheira foliar de um cerrado sentido restrito na ESECAE nas diferentes distâncias da BR-020.

4.3. Concentração de S na serapilheira foliar

A concentração média de S na serapilheira foliar não apresentou variação significativa entre os meses analisados ($P > 0,05$). Houve ligeira variação, com os maiores valores em fevereiro e outubro (Figura 9).

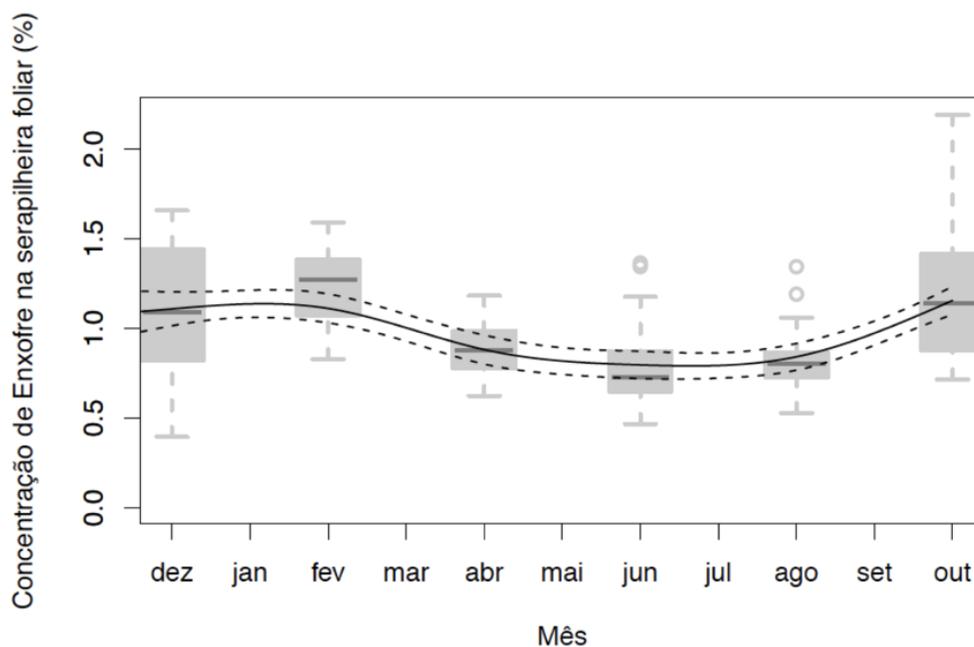


Figura 9. Padrão intra-anual da concentração de S na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito na ESECAE. Padrão obtido com dados nas análises mensais no decorrer do ano. Linha contínua representa ajuste da tendência pelo modelo GAM. Linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança a 95%.

Ao se considerar todos os tratamentos separadamente, observa-se maior concentração de S na distância de 60 m (Tabela 6, Figura 10). Contudo, a variação na concentração de S dentro dos tratamentos foi alta (Tabela 6, Figura 10) e não houve efeito significativo da distância na concentração de S ($P > 0,05$). Por outro lado, ao se considerar duas categorias de distância (60 m e 80-350 m), essa diferença é acentuada (Figura 11) e o efeito foi significativo ($P < 0,05$).

Tabela 6. Concentração de S (média e +/- desvio padrão) na serapilheira foliar de um cerrado sentido restrito na ESECAE em diferentes distâncias da BR-020.

Mês / Ano	Distância (m)	Enxofre (mg/g)
Dezembro /2015		
	60	0,4 ± 0,216
	80	0,1 ± 0,297

Mês / Ano	Distância (m)	Enxofre (mg/g)
	110	0,2 ± 0,272
	170	0,2 ± 0,202
	290	0,4 ± 0,058
	350	0,3 ± 0,263
Fevereiro /2016		
	60	0,4 ± 0,266
	80	0,3 ± 0,298
	110	0,4 ± 0,454
	170	0,3 ± 0,192
	290	0,4 ± 0,114
	350	0,3 ± 0,260
Abril /2016		
	60	0,4 ± 0,214
	80	0,3 ± 0,17
	110	0,2 ± 0,192
	170	0,4 ± 0,0748
	290	0,3 ± 0,158
	350	0,2 ± 0,140
Junho /2016		
	60	0,4 ± 0,240
	80	0,4 ± 0,023

Mês / Ano	Distância (m)	Enxofre (mg/g)
	110	0,3 ± 0,174
	170	0,3 ± 0,212
	290	0,3 ± 0,066
	350	0,329 ± 0,122
Agosto /2016		
	60	0,4 ± 0,0904
	80	0,3 ± 0,017
	110	0,3 ± 0,126
	170	0,3 ± 0,073
	290	0,3 ± 0,052
	350	0,3 ± 0,073
Outubro /2016		
	60	0,5 ± 0,130
	80	0,4 ± 0,037
	110	0,4 ± 0,152
	170	0,3 ± 0,147
	290	0,4 ± 0,071
		0,5 ± 0,050
	350	

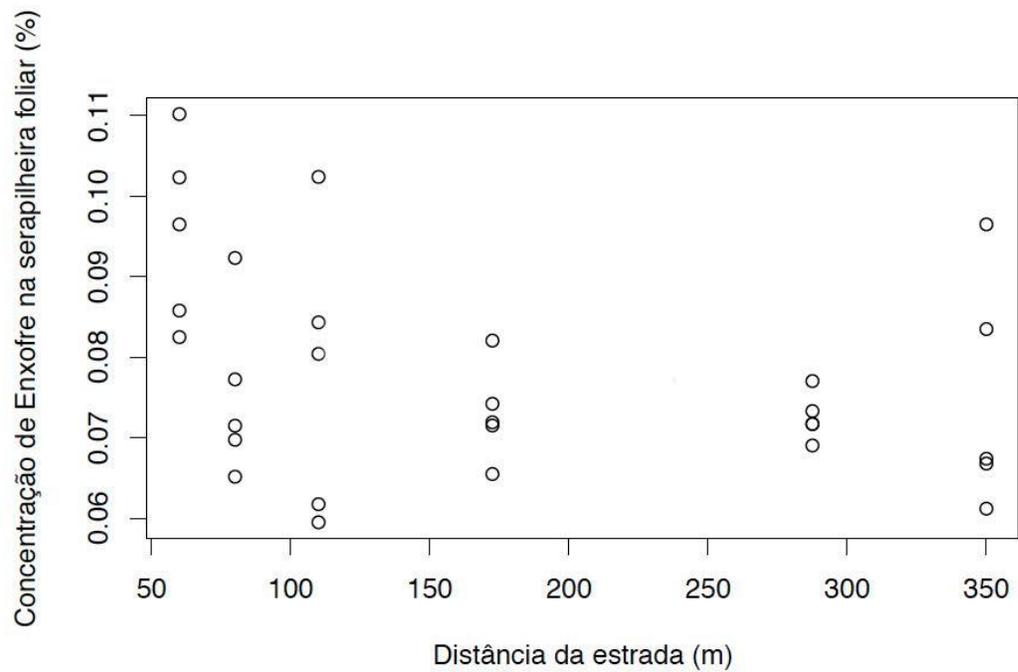


Figura 10. Concentração de S na serapilheira foliar (%), de um cerrado sentido restrito na ESECAE em diferentes distâncias da BR-020.

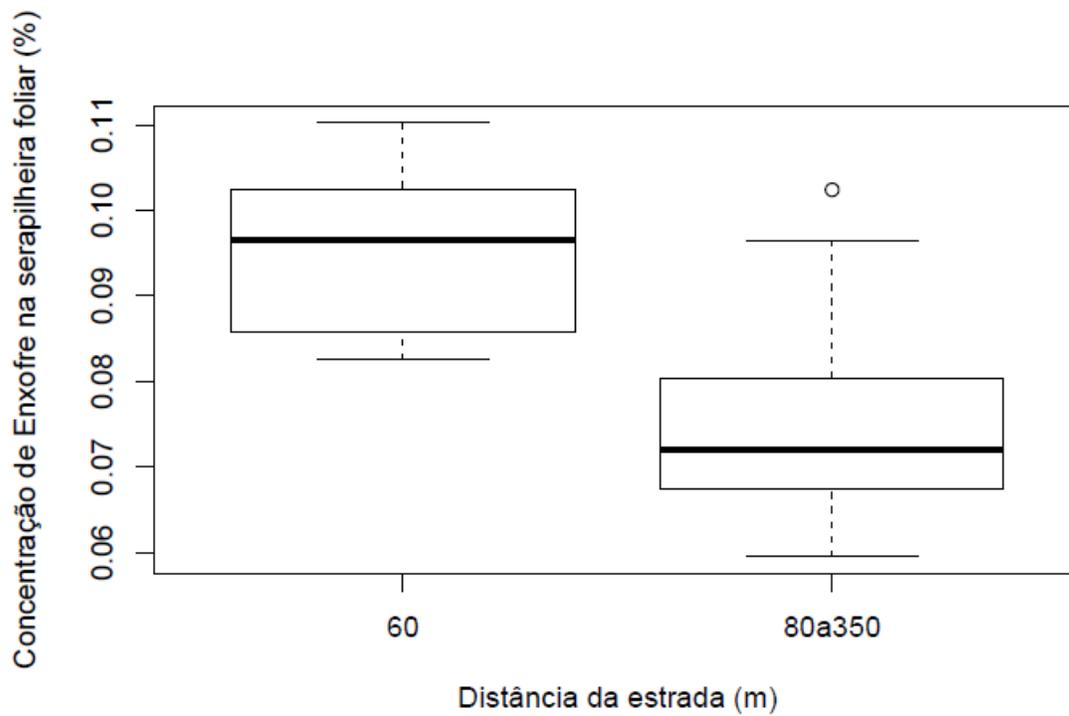


Figura 11. Concentração de enxofre na serapilheira foliar de uma cerrado sentido restrito da ESECAE considerando duas categorias de distância da rodovia BR-020.

Ao considerar as duas categorias de distância, observa-se que na categoria de 60m, a concentração de S tende a manter-se em níveis mais elevados e constante ao longo do ano. Enquanto, a categoria 80-tende a ser mais variável (Figuras 12 a 14).

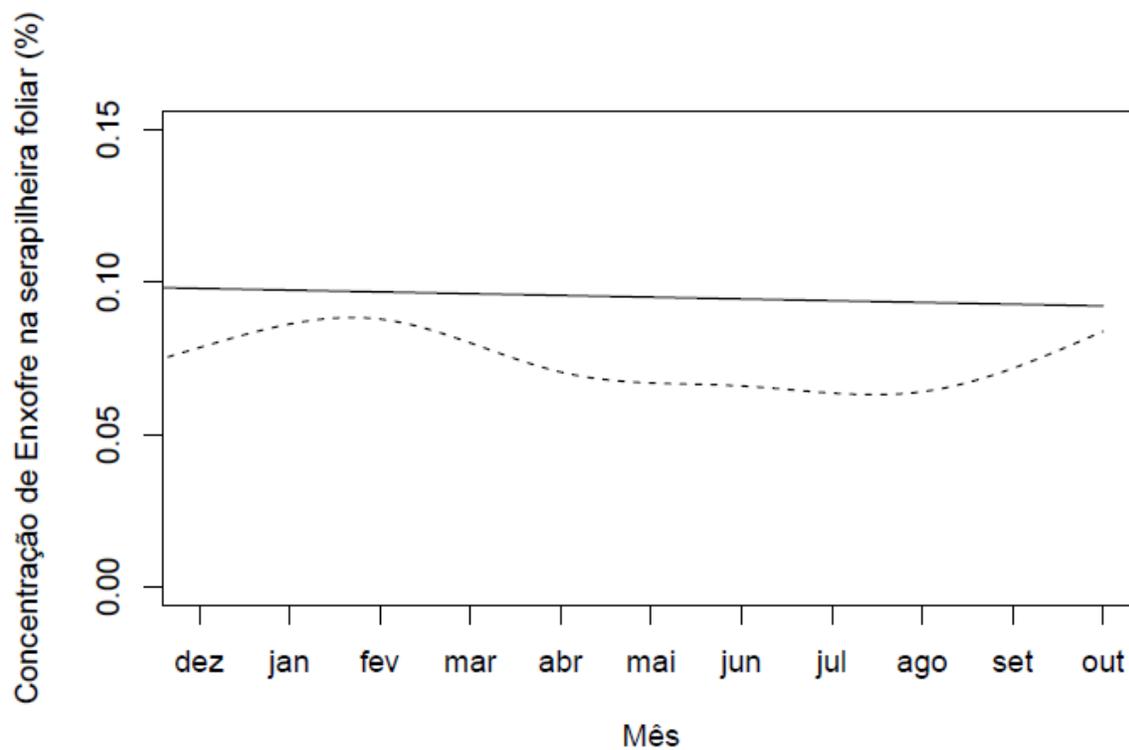


Figura 12. Variação temporal na concentração de enxofre na serapilheira foliar de um cerrado sentido restrito da ESECAE considerando duas categorias de distância da rodovia BR-020: 60 m (linha contínua) e 80 a 350 m (linha pontilhada).

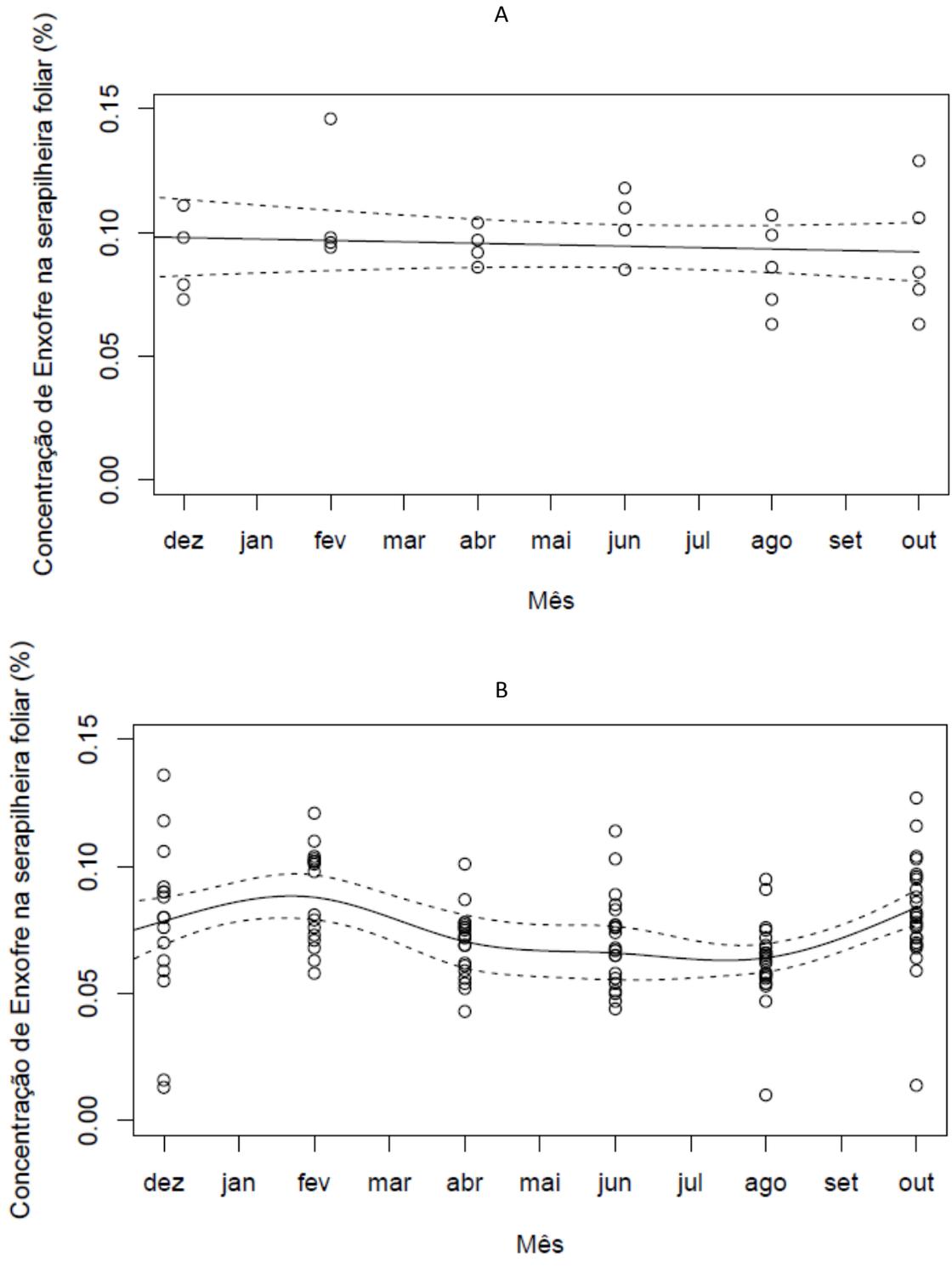


Figura 13. Variação da concentração de enxofre na serapilheira foliar em um cerrado sentido restrito da ESECAE, a cada mês avaliado e entre os diferentes meses avaliados considerando duas categorias de distância da rodovia BR-020: (A) 60 m e (B) 80 a 350 m.

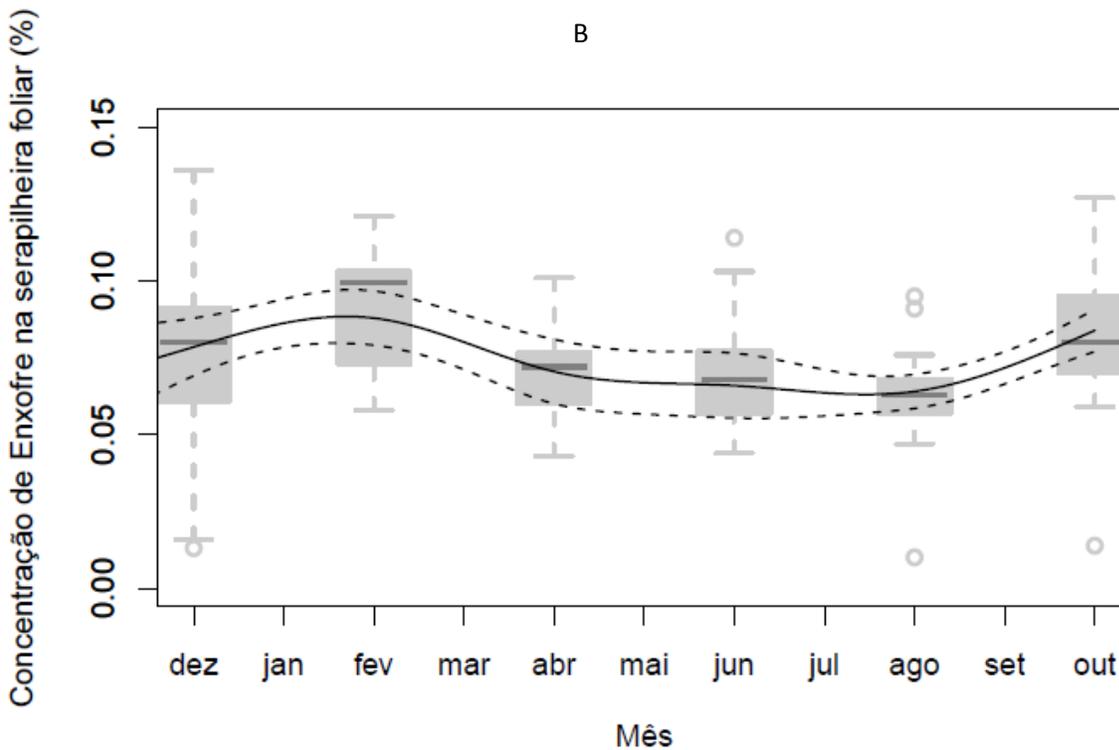
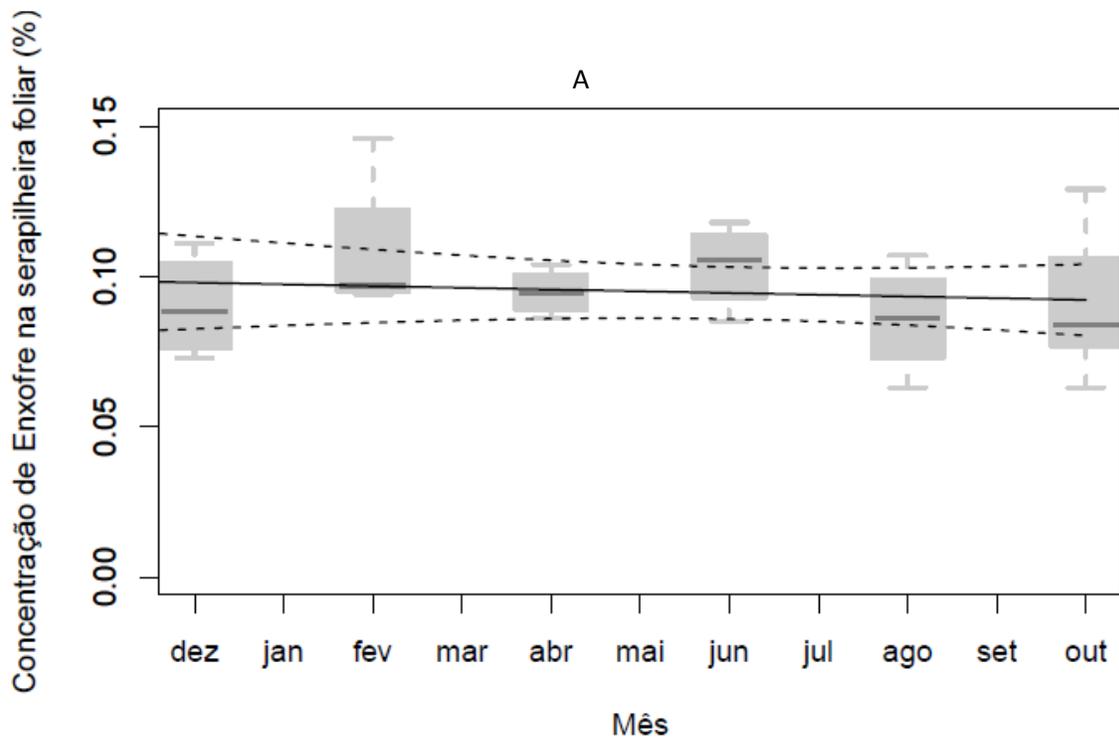


Figura 14. Box-plot da variação temporal na concentração de enxofre na serapilheira foliar em um cerrado sentido restrito da ESECAE, considerando duas classes de distância da rodovia BR-020: (A) 60 m e (B) 80 a 350 m.

4.4. Eficiência do Uso de Nutrientes – Nitrogênio.

Houve ligeira variação na eficiência no uso de N, com o menor valor observado em fevereiro de 2016 e o maior valor em junho de 2016 (Tabela 7, Tabela 8, Figura 15). Contudo essa variação não foi significativa ($P > 0,05$).

Tabela 7. EUN-N (média +/- desvio padrão) por tratamentos (distâncias) em um Cerrado sentido restrito da esecae marginal a BR-020.

Mês-Ano	Distância (m)	EUN-N
Dezembro / 2015		
	60	96,07±20,93
	80	51,45±45,61
	110	46,35 ± 40,18
	170	102,28 ± 27,76
	290	134,76 ± 71,02
	350	86,98 ± 28,40
Fevereiro / 2016		
	60	70,98 ± 5,48
	80	87,95 ± 16,54
	110	66,36 ± 30,84
	170	97,36 ± 17,77
	290	92,765 ± 25,48
	350	81,56 ± 10,56
Abril / 2016		
	60	111,93 ± 13,504
	80	115,22 ± 8,81
	110	118,49 ± 35,44
	170	113,87 ± 13,79
	290	123,65 ± 27,69

Mês-Ano	Distância (m)	EUN-N
	350	118,72 ± 33,43
Junho / 2016		
	60	121,71 ± 37,63
	80	152,20 ± 25,03
	110	135,89 ± 47,14
	170	115,38 ± 30,97
	290	158,06 ± 31,54
	350	133,50 ± 32,84
Agosto / 2016		
	60	111,20 ± 19,03
	80	134,76 ± 34,04
	110	120,88 ± 28,17
	170	127,77 ± 19,00
	290	127,84 ± 16,39
	350	119,26 ± 13,85
Outubro / 2016		
	60	86,98 ± 24,80
	80	118,08 ± 23,64
	110	95,82 ± 37,91
	170	77,71 ± 21,89
	290	97,66 ± 19,76
	350	83,67 ± 14,96

Tabela 8. Eficiência de uso de nutrientes de nitrogênio (média +/- desvio padrão) dos meses analisados na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal a BR-020.

Mês / Ano	EUN-N
Dezembro/ 15	86,31 ± 33,19
Fevereiro/ 16	82,83 ± 12,24
Abril/ 16	116,98 ± 4,20
Junho/ 16	136,12 ± 16,64
Agosto/ 16	122,95 ± 7,99
Outubro/ 16	93,32 ± 14,25

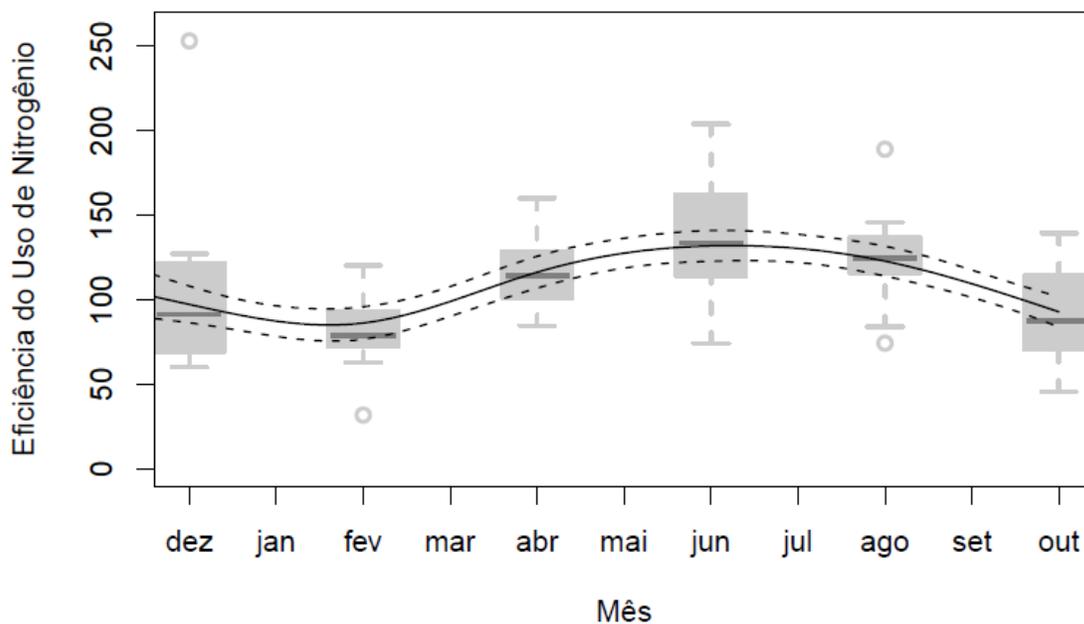


Figura 15. Eficiência no uso de nitrogênio na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE em relação ao distanciamento da rodovia BR-020. Linha contínua representa ajuste da tendência pelo modelo GAM. Linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança de 95%.

A variação da EUN-N foi alta (Figura 16) e não houve diferença significativa na eficiência no uso de N em relação à distância da rodovia. ($P > 0,05$)

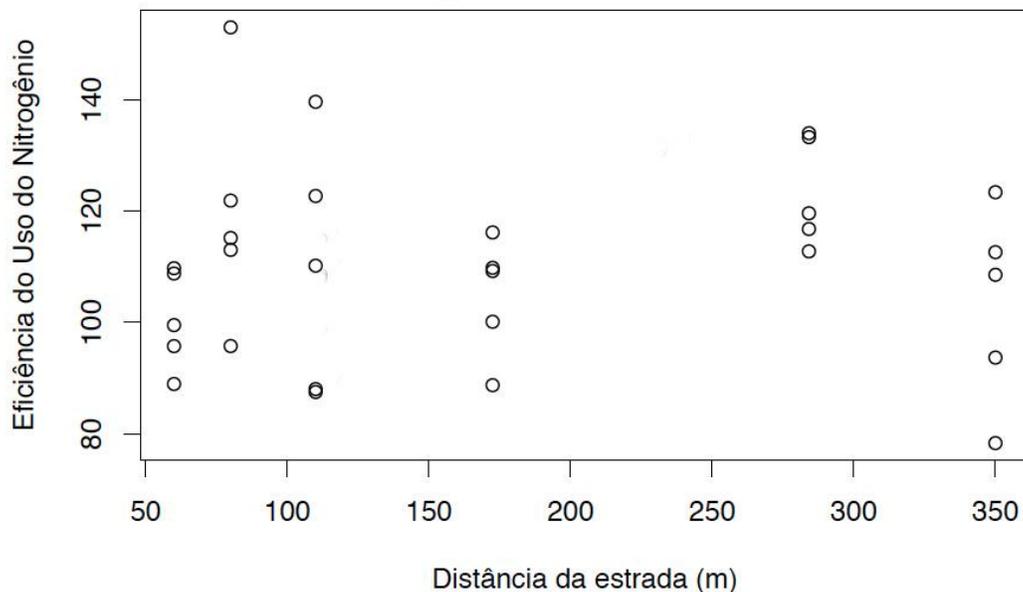


Figura 16. Variação da concentração de enxofre na serapilheira foliar em um cerrado sentido restrito da ESECAE entre as diferentes categorias de distância da rodovia.

4.5. Eficiência no Uso de Nutrientes – Enxofre

Não houve variação significativa na A EUN-S ao longo do tempo ($P > 0,05$), com apenas ligeira variação com menor valor em fevereiro e maior em agosto (Tabelas 9 e 10).

Ao considerar todas as categorias de distância, não houve efeito significativo da distância sobre a EUN-S ($P > 0,05$). A variação dentro de cada tratamento foi elevada (Figura 16). Por outro lado, ao se considerar apenas duas categorias (60 m e 80 a 350 m) a EUN-S foi significativamente menor na categoria de 60 m ($P < 0,05$), com menor EUN-S na categoria de 60m (Figura 17). A variação ao longo do tempo foi ligeiramente maior na categoria 80-350 m (Figura 18A e 18B).

Tabela 9. Eficiência do uso de nutriente do enxofre (média +/- desvio padrão) por tratamentos (distâncias) em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal à BR-020.

Mês / Ano	Distância (m)	EUN-S
Dezembro/2015		
	60	1139,2 ± 216,13
	80	2328,4 ± 3416

Mês / Ano	Distância (m)	EUN-S
	110	678,78 ± 590,49
	170	2895,5 ± 3165
	290	1360,08 ± 219,59
	350	1267,33 ± 498,44
Fevereiro/2016		
	60	952,71 ± 179,40
	80	615,62 ± 541,89
	110	934,93 ± 459,35
	170	1258,15 ± 204,66
	290	1289,04 ± 358,81
	350	1119,91 ± 249,93
Abril/2016		
	60	1060,55 ± 85,31
	80	1311,96 ± 123,48
	110	1501,26 ± 306,78
	170	1347,97 ± 230,56
	290	1553,96 ± 309,18
	350	1784,88 ± 395,96
Junho/2016		
	60	980,78 ± 142,94
	80	1339,60 ± 91,48
	110	1447,74 ± 373,36
	170	1269,43 ± 326,53
	290	1700,79 ± 338,44
	350	1678,82 ± 548,16
Agosto/2016		
	60	1212,93 ± 267,35
	80	1606,45 ± 90,22
	110	3320,25 ± 3690,60

Mês / Ano	Distância (m)	EUN-S
	170	1468,25 ± 265,05
	290	1675,37 ± 263,74
	350	1538,09 ± 287,73
Outubro/2016		
	60	1159,01 ± 315,33
	80	1381,31 ± 141,10
	110	1232,37 ± 391,17
	170	2468,32 ± 2644,10
	290	1157,15 ± 201,55
	350	1107,43 ± 125,60

Tabela 10. Eficiência de uso de nutriente do S (média +/- desvio padrão) em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal a BR-020 em relação aos meses de análise.

Mês / Ano	EUN-S
Dezembro/2015	1630,26 ± 821,38
Fevereiro/2016	1028,40 ± 250,58
Abril/2016	1426,76 ± 246,36
Junho/2016	1411,86 ± 269,25
Agosto/2016	1803,56 ± 759,92
Outubro/2016	1417,60 ± 523,55

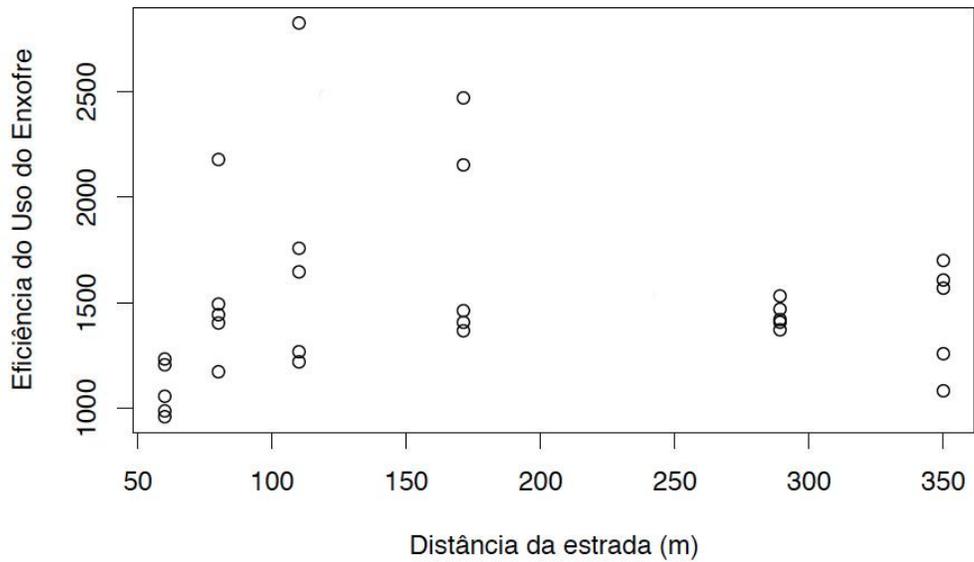


Figura 17. Variação da eficiência de uso de nutriente de enxofre em um cerrado sentido restrito da ESECAE, dentro de cada tratamento.

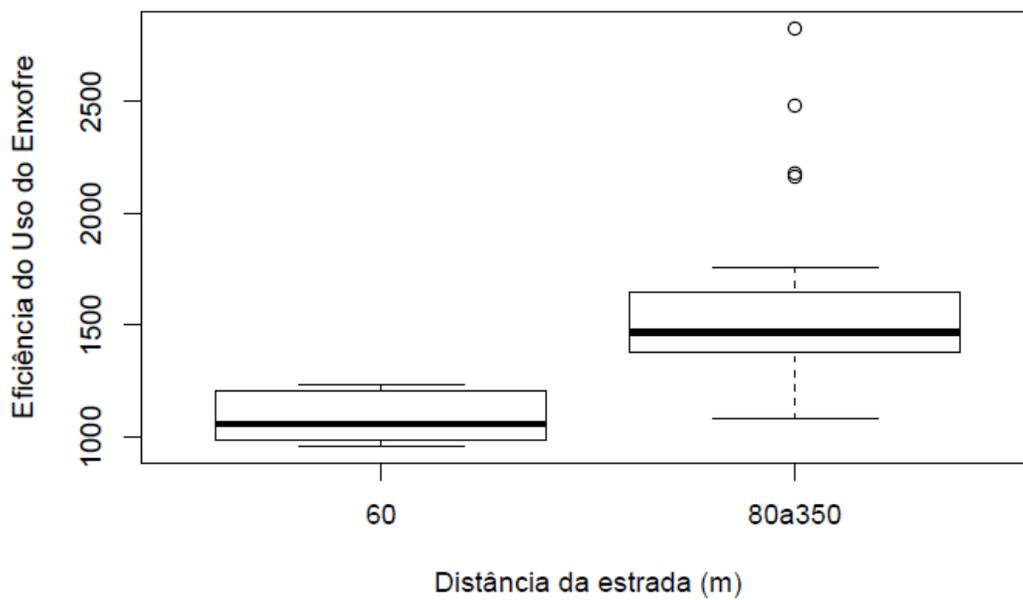


Figura 18. Eficiência no uso de nutriente de S em um cerrado sentido restrito da ESECAE considerando duas categorias de distância da rodovia BR-020.

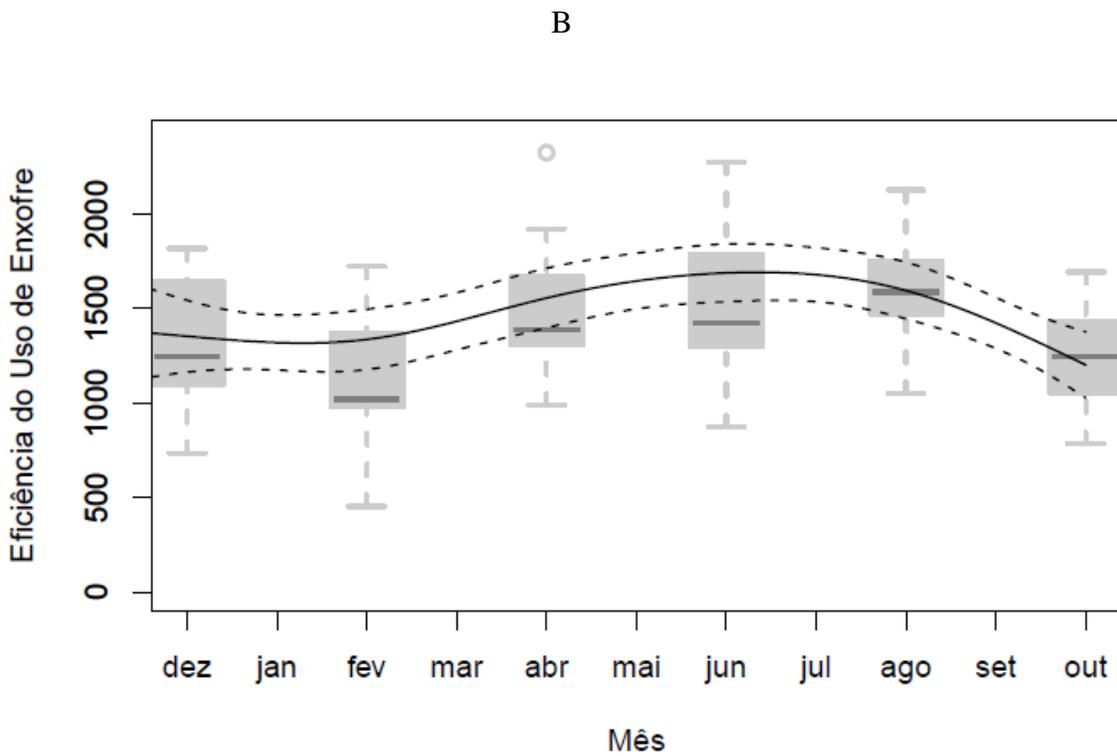
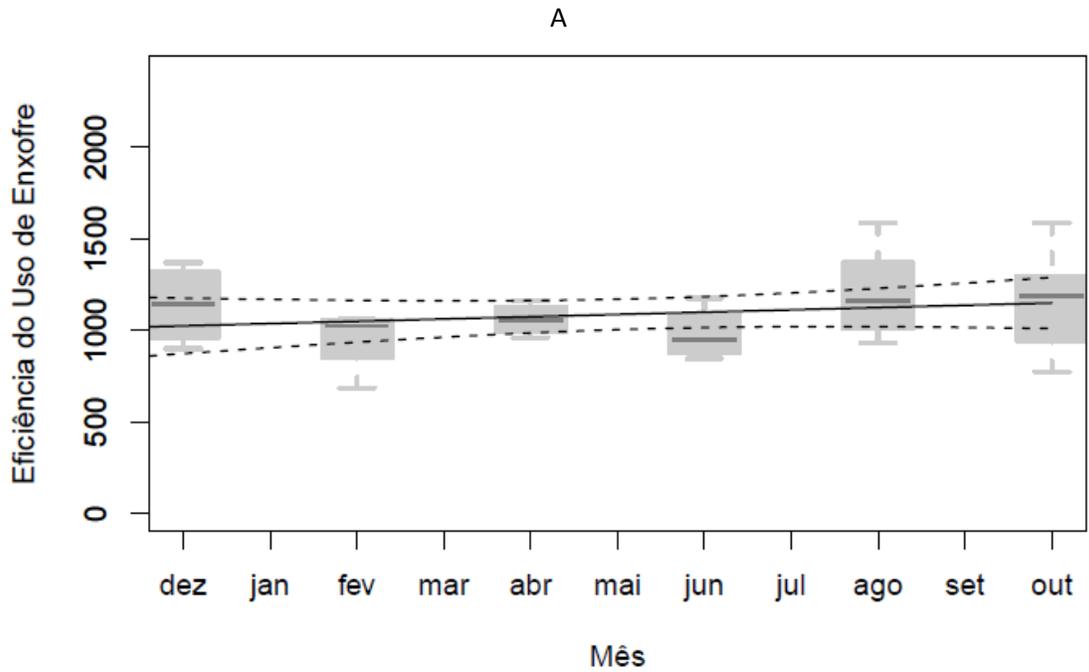


Figura 19. Box-plot da variação temporal na eficiência de uso de nutrientes de enxofre em um cerrado sentido restrito da ESECAE, considerando duas classes de distância da rodovia BR-020: (A) 60 m e (B) 80 a 350 m. Linha contínua representa ajuste da tendência pelo modelo GAM. Linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança de 95.

4.6. Fluxo de N na serapilheira foliar

O fluxo de N na serapilheira foliar foi menor em fevereiro (estação chuvosa) e maior em agosto (estação seca), coincidindo com as alterações sazonais do período (Tabela 11, Figura 19).

Tabela 11. Fluxo de N (média +/- desvio padrão) na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal a BR-020 nos meses analisados.

Mês / Ano	Nitrogênio
Dezembro/2015	0,114 ± 0,132
Fevereiro/2016	0,070 ± 0,108
Abril/2016	0,142 ± 0,143
Junho/2016	0,150 ± 0,049
Agosto/2016	1,935 ± 1,079
Outubro/2016	0,172 ± 0,222
Média mensal	0,4305

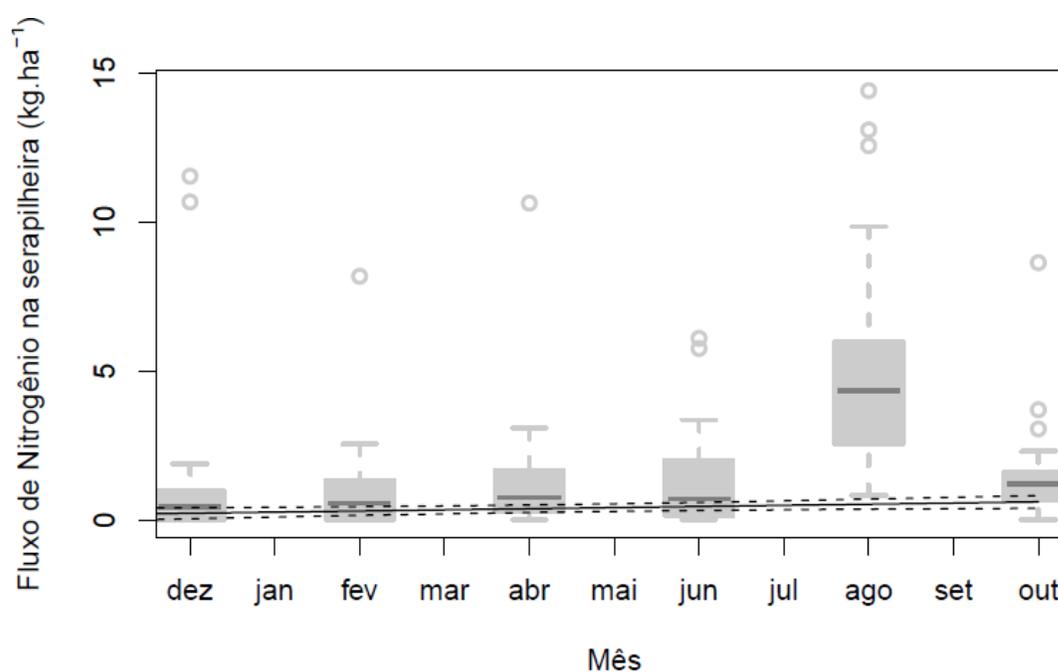


Figura 20. Fluxo de nitrogênio na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE ao longo do tempo. Linha contínua representa ajuste da tendência pelo modelo aditivo generalizado. Linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança de 95%.

O fluxo de N na serapilheira foliar da comunidade vegetal foi variável dentro de cada tratamento (Tabela 12, Figura 20) e não apresentou diferença significativa entre as diferentes distâncias da rodovia BR0-20 ($P > 0,05$).

Tabela 12. Fluxo de N (g), (média +/- desvio padrão) na serapilheira foliar em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal a BR-020 por tratamentos (distâncias).

Mês / Ano	Distância (m)	Fluxo-N (kg ha ⁻¹ mês ⁻¹)
Dezembro/2015		
	60	0,042 ± 0,112
	80	0,282 ± 2,762
	110	0,287 ± 2,506
	170	0,030 ± 0,079
	290	0,041 ± 0,031
	350	0,004 ± 0,007
Fevereiro/2016		
	60	0,039 ± 0,109
	80	0,011 ± 0,027
	110	0,021 ± 0,041
	170	0,012 ± 0,038
	290	0,29 ± 1,19
	350	0,05 ± 0,167
Abril/2016		
	60	0,423 ± 4,066
	80	0,056 ± 0,092
	110	0,087 ± 0,205
	170	0,134 ± 0,151
	290	0,092 ± 0,259
	350	0,057 ± 0,120
Junho/2016		
	60	0,158 ± 0,205
	80	0,077 ± 0,456
	110	0,157 ± 0,229
	170	0,163 ± 0,766
	290	0,121 ± 0,404
	350	0,225 ± 1,181
Agosto/2016		
	60	3,89 ± 4,876
	80	0,914 ± 0,872
	110	1,481 ± 3,262

Mês / Ano	Distância (m)	Fluxo-N (kg ha ⁻¹ mês ⁻¹)
Outubro/2016	170	1,193 ± 1,414
	290	2,341 ± 0,730
	350	1,788 ± 6,507
	60	0,092 ± 0,162
	80	0,616 ± 2,732
	110	0,073 ± 0,087
	170	0,029 ± 0,041
290	0,065 ± 0,068	
	350	0,155 ± 0,234

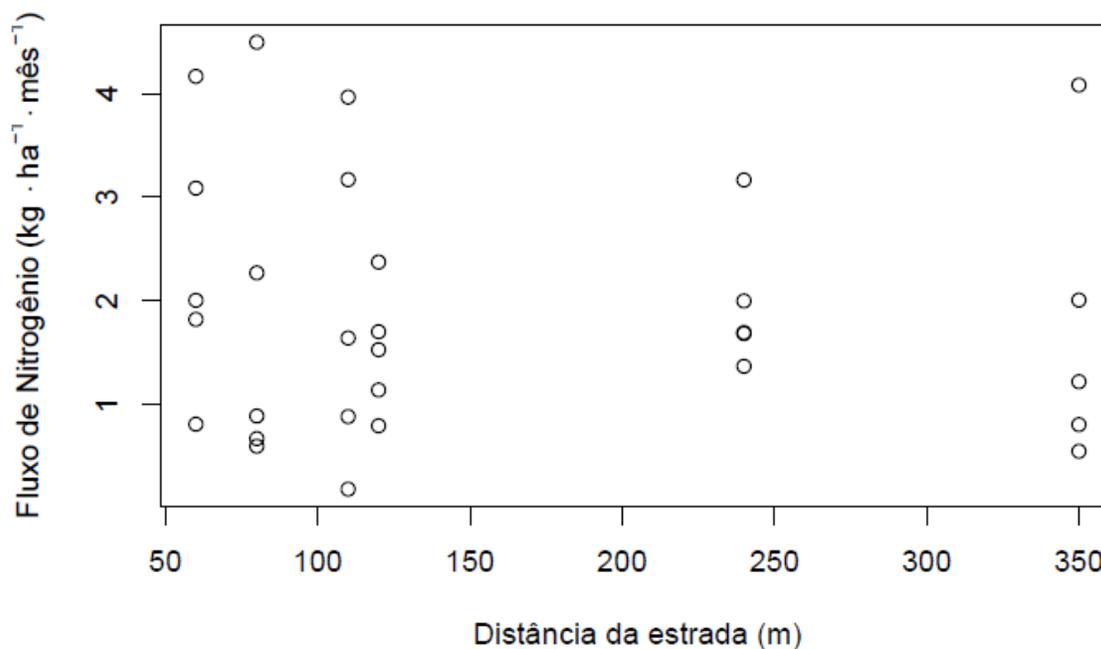


Figura 21. Variação no fluxo de nitrogênio na serapilheira foliar em um cerrado sentido restrito da ESECAE, nas diferentes categorias de distância da rodovia BR-020.

4.7. Fluxo de S na serapilheira foliar

O fluxo de S foi menor em dezembro e fevereiro (estação chuvosa) e maior em agosto (estação seca), coincidindo com as alterações sazonais do período (Tabela 13, Figura 21).

Tabela 13. Fluxo de S (média +/- desvio padrão) em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal a BR-020 por meses de análises.

Mês / Ano	Enxofre
Dezembro/2015	0,01 ± 0,012
Fevereiro/2016	0,005 ± 0,007
Abril/2016	0,014 ± 0,018
Junho/2016	0,015 ± 0,004
Agosto/2016	0,152 ± 0,107
Outubro/2016	0,0151 ± 0,222

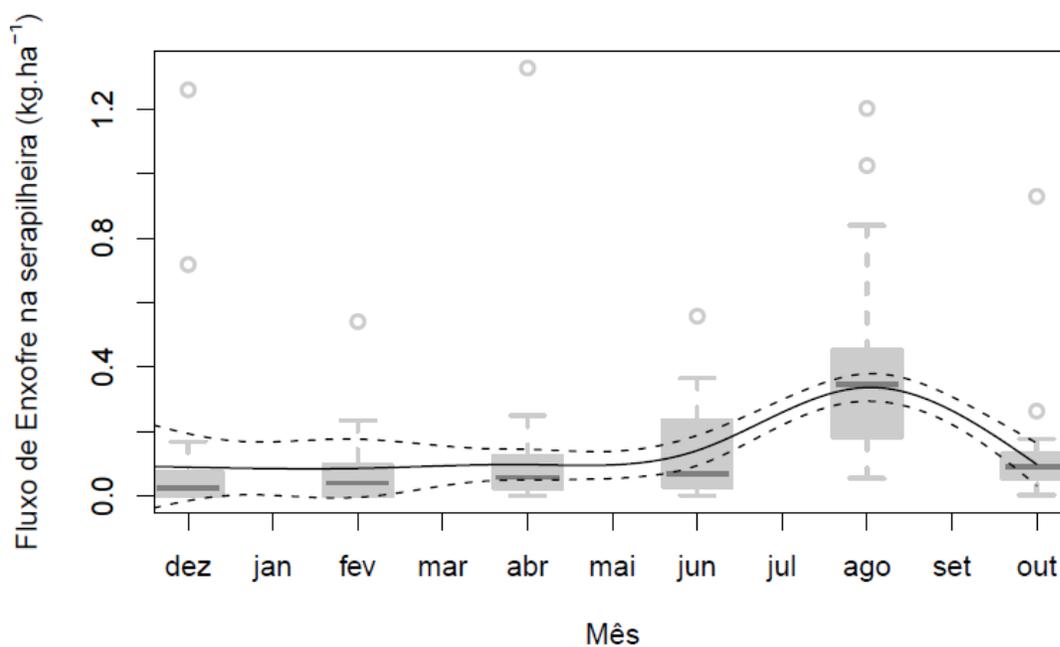


Figura 22. Fluxo de enxofre em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE. Padrão intra-anual. Linha contínua representa ajuste da tendência pelo modelo aditivo generalizado. Linhas pontilhadas delimitam os intervalos de confiança de 95%.

A variação dentro dos tratamentos foi elevada (Tabela 14, Figura 22). Não houve diferença no fluxo de S ao considerar todas as categorias de distância separadamente. Por outro lado, ao considerar apenas duas categorias (60m e 80 a 350) o fluxo de S foi significativamente maior na categoria de 60m ($P>0,05$) (Figura. 23).

Tabela 14. Fluxo de S (média +/- desvio padrão) em uma comunidade de cerrado sentido restrito da ESECAE marginal a BR-020 por tratamentos (distâncias) nos meses analisados na serapilheira foliar.

Mês / Ano	Distância (m)	Fluxo-S (kg ha ⁻¹ mês ⁻¹)
Dezembro/2015		
	60	0,004 ± 0,010
	80	0,031 ± 0,327
	110	0,018 ± 0,156
	170	0,002 ± 0,007
	290	0,003 ± 0,003
	350	0,0003 ± 0,000
Fevereiro/2016		
	60	0,003 ± 0,010
	80	0,001 ± 0,002
	110	0,002 ± 0,003
	170	0,001 ± 0,003
	290	0,02 ± 0,079
	350	0,004 ± 0,012
Abril/2016		
	60	0,053 ± 0,508
	80	0,005 ± 0,009
	110	0,006 ± 0,013
	170	0,012 ± 0,015
	290	0,007 ± 0,021
	350	0,004 ± 0,006
Junho/2016		
	60	0,018 ± 0,024
	80	0,008 ± 0,050
	110	0,015 ± 0,023
	170	0,016 ± 0,074
	290	0,011 ± 0,036
	350	0,02 ± 0,062
Agosto/2016		
	60	0,350 ± 0,386
	80	0,075 ± 0,070
	110	0,064 ± 0,054
	170	0,097 ± 0,084
	290	0,181 ± 0,071
	350	0,146 ± 0,545
Outubro/2016		
	60	0,006 ± 0,009
	80	0,060 ± 0,296
	110	0,006 ± 0,007
	170	0,002 ± 0,002
	290	0,005 ± 0,006

Mês / Ano	Distância (m)	Fluxo-S (kg ha ⁻¹ mês ⁻¹)
	350	0,012 ± 0,017

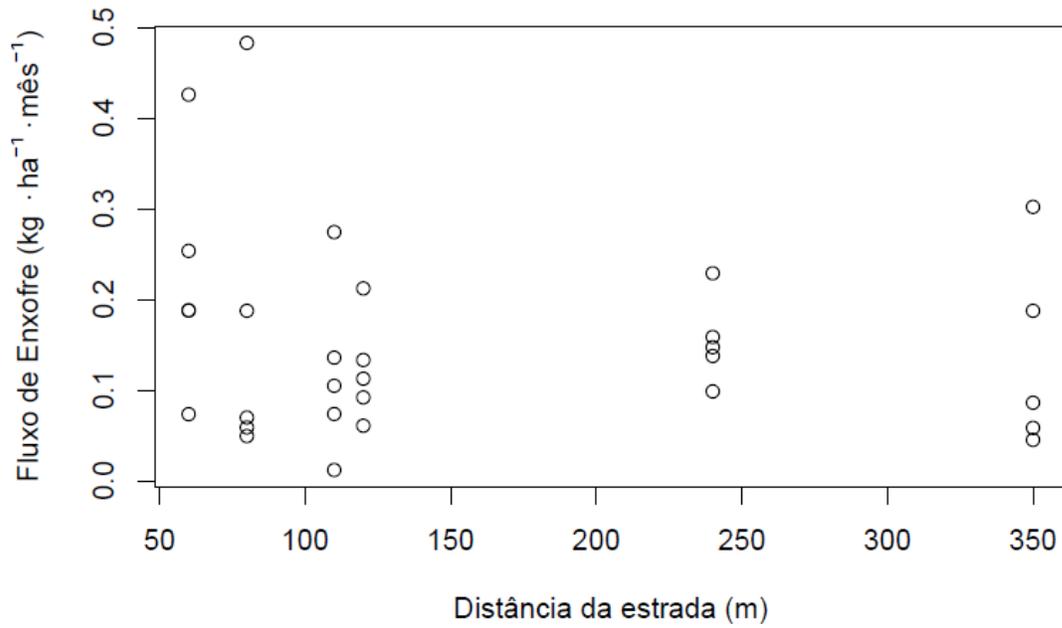


Figura 23. Variação no fluxo de enxofre em um cerrado sentido restrito da ESECAE, nas diferentes categorias de distância da rodovia BR-020.

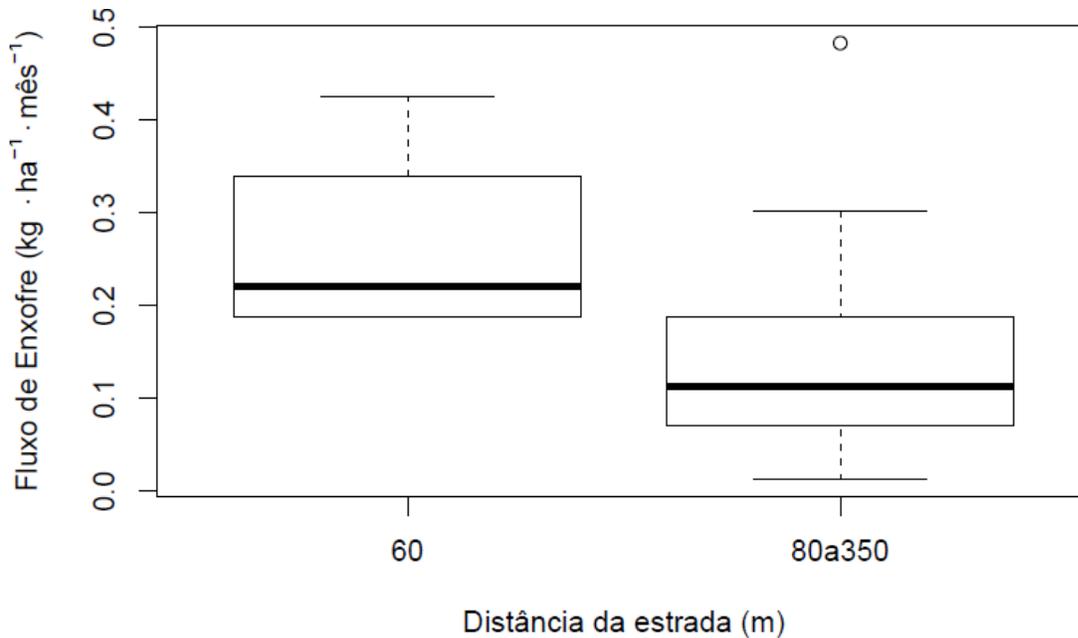


Figura 24. Média anual do fluxo de enxofre ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$) em uma comunidade de Cerrado sentido restrito da ESECAE em relação ao distanciamento da rodovia BR-020

5. DISCUSSÃO

5.1. Efeito do distanciamento da BR-020 na produtividade primária líquida.

Segundo Fieldt et al. (1995) a PPL pode ser afetada por intererferências antropogênicas atmosféricas. Contudo, não houve diferença significativa na PPL entre as diferentes categorias de distância da rodovia. A PPL variou ao longo do ano. Esse comportamento está relacionado diretamente com a sazonalidade pluviométrica e a fenologia das plantas do cerrado, com maior deciduidade no período da seca..

O bioma Cerrado segundo Haridasan (1987 e 1992) e Richter e Babar (1991) é caracterizado por solos de baixa fertilidade, e sua comunidade vegetal tende a apresentar alta eficiência no uso de nutrientes. Assim, o efeito antropogênico da rodovia não gerou modificações na PPL em relação ao distanciamento da rodovia na área estudada. Bignal et al. (2004) faz referências sobre a complexidade em avaliar estas relações antropogênicas geradas pelas rodovias e os mecanismos de transportes de poluentes gasosos sobre as comunidades vegetais próximas as rodovias. Segundo Freedman (1995), não é completo o

conhecimento de como se comportam estes poluentes e não se pode prever a permanência destes poluentes nos ambientes.

5.2. Efeito sobre a concentração, fluxo e eficiência no uso nutriente do nitrogênio e enxofre.

Não houve diferença significativa na concentração, fluxo e EUN_N entre as diferentes categorias de distância da rodovia. Assim a rodovia não influenciou significativamente na concentração de N da comunidade vegetal e no metabolismo de nitrogênio assimilável pelas plantas. A concentração de N e S na serapilheira foliar apresentou variações sazonais, associadas à estacionalidade e fenologia.

Por outro lado, aos e considerar duas categorias de distância (60m e 80 a 350|), observou-se para 60m de distância da rodovia existe efeito significativo sobre a concentração de S, fluxo de enxofre e EUN-S. Assim, a partir de 80 m não efeito significativo.

As concentrações destes poluentes no ar dependem do fluxo de tráfego e apresentam redução significativa quando quantificados a maiores distâncias da estrada, sendo que o NO₂, particularmente, tem o decréscimo bem estabelecido (Bignal et al., 2007, Hargreaves 2000). Um importante aspecto do efeito dos poluentes nos ecossistemas é o tempo de permanência dos poluentes na atmosfera, que é dependente de uma série de fatores, podendo permanecer por curto período de tempo ou podem se estender por dias, semanas ou anos (Freedman, 1995), podendo ser absorvidos pelas comunidades vegetais através dos estômatos.

Não se conhece plenamente como estes poluentes se deslocam na atmosfera, pois é conhecido que diferentes fatores podem interferir nestes deslocamentos. Características da paisagem funcionam como agentes bloqueadores nos mecanismos de transporte dos poluentes gasosos. Há redução acentuada de poluentes no ar atmosférico na medida que se aumenta a distância em relação a rodovias, que são fontes de geração destes poluentes gasosos (Bignal, et al. (2007). A velocidade da deposição seca de poluentes atmosféricos também depende das características da vegetação (Smith et al., 2000). É possível que as características da vegetação observada (vegetação densa) tenha dificultado o deslocamento dos poluentes gasosos para as áreas mais distante da rodovia.

Black e Unsworth (1979) relacionaram o fluxo de SO₂ em plantas de *Vicia faba* e realizaram relações de respostas e assimilação deste poluente e formas de difusão foliar.

Segundo esse autores, para que as plantas possam responder ao poluente gasoso, há um processo de difusão através dos estômatos ou pela cutícula. Os poluentes podem ser absorvidos ou adsorvidos, não há uma resposta de imediato e estas respostas assimilativas dependem do quanto estes poluentes foram absorvidos, da velocidade de absorção e da concentração dos poluentes e o tempo de exposição. Ambientes com baixa velocidade de deslocamento do ar atmosférico podem reduzir o fluxo dos poluentes e comprometer a absorção (Black e Unsworht, 1979) .

Al-Dabbous e Kumar (2014) avaliaram um redutor potencial mitigador da poluição atmosférica usando barreiras de vegetação próximas a estradas. Entretanto, as características destas barreiras de vegetação, não são completamente conhecidas para que se tenha e se garanta uma redução significativa dos poluentes. Segundo os autores, ainda é necessário melhorar a compreensão sobre o mecanismo de comportamento dessas barreiras e sua configuração, para delimitar e entender o efeito de transporte de poluentes atmosféricos.

Freedman (1995) correlacionou diferentes gases na atmosfera, e seu tempo de permanência e estimou deslocamento destes gases no ambiente. O autor observou a relação de que SO_2 tem tempo de permanência na atmosfera por 4 dias e tem um grande alcance de deslocamento a partir do ponto de sua geração. NO_2 sofre oxidação fotoquímica provocada pela luz do sol e seu tempo de permanência é relativamente curto na atmosfera. Assim dióxido de nitrogênio pode ter sua mobilidade reduzida o suficiente para não chegar em áreas mais distantes da rodovia.

O enxofre tem diferentes maneiras para ser introduzido no interior das plantas. Mesmo quando os estômatos estão fechados, o SO_2 pode reagir com água para produzir bissulfito e ser levado à folha por meio da cutícula (Laisk et al., 1988). Havendo uma vantagem em relação ao NO_2 , o SO_2 pode ser adsorvido pelas plantas mesmo quando não há luz suficiente para o processo da fotossíntese, o que mantém os estômatos fechados e não há trocas gasosas. Assim, há um período diário maior para SO_2 ser introduzido no interior das plantas, esta diferença de mecanismo metabólico pode ter influenciado o fato de não haver diferença significativa em relação ao N.

Jacobson (2009) pesquisou o uso da eficiência do uso de nutrientes em um cerrado sentido restrito submetido a adição de nutrientes que foram correlacionadas a outras áreas de

Cerrado sem adição de nutrientes. Os resultados apontam respostas referentes a oferta de nutrientes em biomas naturais, estas comunidades vegetais tendem a reduzir suas eficiências no uso de aproveitamento dos nutrientes ofertados no bioma estudado. Diferentemente a resposta assimilativa de nutrientes via absorção gasosa pela via de transporte úmida ou via de transporte seca depende de vários fatores fisiológicos e climáticos e das espécies estudadas. A assimilação gasosa via estômatos está descrita por diversos autores e é notório que esta relação é complexa se tratando de uma comunidade vegetal, que congrega diferentes espécies com diferentes reações estomáticas correlacionadas a temperatura, estresse hídrico, velocidade do vento, radiação solar incidente. Porém o vetor direção do vento é predominante no que diz respeito no mecanismo de transporte dos poluentes gasosos na atmosfera.

Esse estudo revelou que até 60 m de distância existe efeito significativo da poluição atmosférica para a concentração de S na serapilheira foliar, seu fluxo e EUN-S e que não há tal efeito a partir de 80 m. Novos experimentos considerando o refinamento das categorias de distância poderiam indicar com maior detalhamento até onde há efeito significativo da poluição..

Alterações no metabolismo associadas a poluentes podem promover a invasão de outras espécies nestes ecossistemas, induzindo ao desequilíbrio ecológico. Em Hampshire, Reino Unido, foi observado aumento do crescimento de plantas vasculares (urzes e ervas) e diminuição dos líquen próximo a estrada, os quais podem ter sido provocadas pelo efeito da poluição da rodovia, interferindo nos mecanismos competitivos das plantas. Assim, pode se concluir que as rodovias podem provocar alterações no comportamento competitivo comunidades vegetais próximas a rodovias (Angold 1997).

Realizar manejo no sentido de mitigar os efeitos antropogênicos da poluição gerada pelas rodovias é muito importante para preservar estes ecossistemas naturais. Áreas próximas as rodovias estão muito mais propensas a estes efeitos antropogênico provocados pelas rodovias.

5. CONCLUSÕES

O aumento na concentração de S na faixa de 60 m levou ao aumento na concentração de S na serapilheira foliar, seu fluxo e diminuição da EUN-S. Essas alterações indicam possíveis variações nas interações bióticas nessas faixas mais próximas (até 60m) dos ecossistemas interceptados ou marginais a rodovias, incluindo unidades de conservação. Contudo, não foram encontradas diferenças significativas que possam ser relacionadas ao efeito antropogênico da rodovia para a concentração N, EUN- N e PPL.

6. REFERÊNCIAS

Aerts, R. & Chapin, F. S. 2000. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research* 30:1–67

Aguinis, H., Gottfredson, R.K. & Joo, H. (2013) Best-practice recommendations for defining, identifying, and handling outliers. *Organizational Research Methods*, 16, 270–301.

Al-Dabbous, A.N., Kumar, P., 2014. The influence of roadside vegetation barriers on airborne nanoparticles and pedestrians exposure under varying wind conditions. *Atmos. Environ.* 90, 113–124.

Angold, P. G. A, 1997. The Impact of a Road Upon Adjacent Heathland Vegetation: Effects on Plant Species Composition. *Journal of Applied Ecology*, vol. 34. No. 2. Pp. 409-417.

Akimov Y. A., V. V. Pushkar, S. I. Kuznetsov. 1989. The content and composition of volatile terpenoids in woody plants under conditions of air pollution. *Sbornik Nauchnykh Trudov* 109:70-79.

Araújo, G. M.; Haridasan, M. A comparison of the nutrient status of two forests on dystrophic and mesotrophic soils in the cerrado region of central Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19:1075-1089, 1988.

Attiwill, P. M.; Adams, M. A. 1993. Nutrient Cycling in Forests. *New Phytologist* 124: 561-582.

Bignal, K.L., Ashmore, M.R., Power, S., 2004. The ecological effects of diffuse air pollution from road transport. English Nature Research Report no. 580. English Nature, Peterborough.

Bignal, K.L., Ashmore, M. R., Headley, A.D., Stewart, K., Weigert, K., 2007. Ecological Impacts of Air Pollution From Road Transport on Local Vegetation. *Applied Geochemistry*, 1265 – 1271.

Bitencourt, MD. and Mendonça, RR., 2004. Viabilidade de conservação dos remanescentes de cerrado do estado de São Paulo. São Paulo: Annablume/FAPESP

Black, J.V., Unsworth, H.J. 1979. Resistance analysis of sulphur dioxide fluxes to *Vicia faba*. *Nature* 282, 68 - 69 (01 November 1979); doi:10.1038/282068a0

Bowman, W. D., Gartner, J. R., Holland, K., & Wiedermann, M. 2006. Nitrogen critical loads for alpine vegetation and terrestrial ecosystem response: are we there yet?. *Ecological Applications*, 16(3), 1183-1193.

Brasil, 2017. O bioma Cerrado. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>, acessado em 17/05/2017

Carvalho, R.D. 2008. Localização da unidade. Fonseca, F. O. (org) Águas Emendadas, SEDUMA, Brasília DF, pp. 95- 100.

Cesar, O. Produção de serapilheira na mata mesófila semidecídua da Fazenda Barreiro Rico, município de Anhembi, SP. *Rev. Brasil. Biol.*, v.53, n 4, p.671-681, nov. 1993.

Clark, D.A., Brown, S., Kichlighter, DK, Chambers, JQ, Thomlinson JR., Ni, J. and Holland, EA., 2001. Net primary production in tropical forests: An evaluation and synthesis of existing field data. *Ecol. Appl.*, vol. 11, no. 3., p. 371-384.

Cutler, S. R., Rodriguez, P. L., Finkelstein, R. R., & Abrams, S. R. 2010. Abscisic acid: emergence of a core signaling network. *Annual Reviews Plant Biology* 61: 651-679.

Da Silva, D. B., da Silva, J. A., Junqueira, N. T. V., & de Andrade, L. R. M. 2001. *Fruits of the Cerrado*. Embrapa. Planaltina.

Dale, J.E. 1982. *The growth of leaves*. London, Edward Arnold Limited.

Dias, H. C. T.; Oliveira-Filho, A. T. de. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua montana em Lavras-MG. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 21, n. 1, p. 11-26, jan./mar. 1997.

Epstein, E.; Bloom, A. J. 2006. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. 2. Ed Trad. Londrina: Editora Planta, p.392,

Ernst, L., Goodger, J. Q., Alvarez, S., Marsh, E. L., Berla, B., Lockhart, E., & Schachtman, D. P. (2010). Sulphate as a xylem-borne chemical signal precedes the expression of ABA biosynthetic genes in maize roots. *Journal of experimental botany*, 61, 160.

Evans, G. C. 1972. *The quantitative analysis of plant growth*. Blackweeo Scientific Publications, Oxford. *Studies in ecology*, IV.

Facelli, JM., and Pickett, STA., 1991. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. *Bot. Rev.*, vol. 57, no. 1, p. 1-32.

Field, C. B.; Randerson, J. T.; Malmstrom, C. M. Global net primary production: combining ecology and remote sensing. *Remote Sensing Environment*, v. 51, p. 74-88, 1995.

Freedman, B. 1995. *The ecology effects of pollution, disturbance and other stresses*. *Environmental ecology*, 2 ed. Academic Press Inc. San Diego, pp. 126.

Galloway, J. N. 1989. Atmospheric acidification: projections for the future. *Ambio*, 161-166.

Hargreaves, P. R., Leidia., Grubb, H. J., Howe, M. T.& Mugglestone, M. A. 2000. Local and seasonal variations in atmospheric nitrogen dioxide levels at Rothamsted,UK, and relationship with meteorological conditions. *Atmospheric Environment*, 34(6): 843- 853.

Haridasan, M. 2008. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Braz. J. Plant Physiol.* vol.20 no.3 Londrina July/Sept. 2008.

Haridasan, M. 2005. Competição por nutrientes em espécies arbóreas do cerrado. In: Scariot A, Felfili J M, Sousa-Silva J C (eds), *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*. pp.167-178. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.

Haridasan, M. 2000. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.* 12:54-64.

Haridasan, M. Observations on soils, foliar nutrient concentrations and floristic composition of cerrado and cerradão communities in central Brazil. In: Proctor, J.; Ratter, J. A. e Furley, P. A. (Ed.) *The Nature and Dynamics of forest-savanna boundaries*. Londres, Chapman e Hall, 1992. 171-184.

Haridasan, M.. Distribution and mineral nutrition of aluminium accumulating species in different plant communities of the cerrado region of central Brazil. In: San José, R. R. e Montes, R. (Ed.) *La capacidad Bioprodutiva de Sabanas*. IVIC./CIET, Caracas, Venezuela, 1987. 309-348.

Hoffmann,W.A.; Geiger,E.L.; Gotsch,C.G.; Rossatto,D.R.; Silva,L.R.; Lau,O.L.; Haridasan,M. e Franco A.C.2012. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. *Ecology Letters* 15:759–768.

Icp Forests, international co-operative programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests, 2004. *Manual on methods and criteria for harmonized sampling*,

assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests - Part XI - Sampling and Analysis of Litterfall. United Nations Economic Commission for Europe.

Imhoff, M. L.; Bounoua, L.; Rickts, T.; Loucks, C.; Harriss, R.; Lawrence, W. T. Global patterns in human consumption of net primary production. *Nature*, v. 429, p. 870-873, 2004.

Jacobson, T.K.B. Composição, estrutura e funcionamento de um cerrado sentido restrito submetido à adição de nutrientes em médio prazo. 2009. 191 f., il. Tese (Doutorado em Ecologia)- Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

Laisk A, Pfan H, Heber U (1988) Sulfur-dioxide fluxes into different cellular compartments of leaves photosynthesizing in a polluted atmosphere. *Planta* 173:241–252

Lathwell, D.J.; Grove, T. L. Soil-plant relationships in the tropics. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v. 17, p. 1-16, 1986.

Leitão Filho, H. F. (org.). *Ecologia da mata atlântica em Cubatão (SP)*. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista; Campinas, SP: Editora da Universidade de Campinas, 1993. 184p.

Manning, W.J. & Feder, W. A. 1980. *Biomonitoring air pollutants with plants*. Applied Science Publishers Ltd., London.

Marcuzzo, F.F.N.; Cardoso, M. R. D.; Faria, T. G. 2012. Chuvas no Cerrado da Região Centro Oeste do Brasil: análise histórica e tendência futura. *Ateliê Geográfico*, Goiânia. V.6.n2. 2012. P 112-130

Martins, S.V.; Rodrigues, R.R. 1999. Produção de serrapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no Município de Campinas, SP. *Revista Brasileira de Botânica*, 22 (3): 405-412.

Mills, H.A.; Jones Junior, J. B. *Plant Analysis handbook II*. Athens Micromacro publishing, 1996. 422p.

Mudd, J. B. (Ed.). 2012. *Responses of plants to air pollution*. Elsevier.

Muskett, C. J. & M. P. Jones. 1981. Soil respiratory activity in relation to motor vehicle pollution. *Water, Air and Soil Pollution* 23:231-242.

Myers, N., Mittermeir, R.A., Mittermeir, C.G., Fonseca, G.A.B., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.

Nardoto, G.B. Efeito de queimada na mineralização de nitrogênio e em processos de ciclagem de nutrientes em uma área de Cerrado strito sensu. 2000. Dissertação (mestrado) Universidade de Brasília, Brasília.

Nemani, R.; Leeling, C. D.; Hashimoto, H.; Jolly, W. M.; Piper, S. C.; Tucker, C. J.; Myneni, R. B.; Running, S. W. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*, v. 300, p. 1560-1563, 2003.

Nimer, E. Clima. In: IBGE. *Geografia do Brasil – Região Centro-Oeste*. IBGE. Rio de Janeiro. 1989. V. 1, p. 23-34.

Oliveira-Filho, A.T. & Ratter, J. A. 2002. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado Bioma. In *The cerrados of Brazil* (P. S Oliveira & R. J. Marquis, eds). Columbia University Press, New York. P. 121-140.

Pereira, A. C., & Gama, V. F. 2010. Anthropization on the Cerrado biome in the Brazilian Uruçuí-Una Ecological Station estimated from orbital images. *Brazilian Journal of Biology*, 70(4): 969-976.

Peres, J.R.R.; Suhel, A.; Vargas, M.A.T.; Drozdowicz, A. 1983. Litter production in areas of Brazilian “Cerrados”. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 18(9): 1037-43.

Ribeiro, L. 1998. Dinâmica de nutrientes na serrapilheira, em um trecho de mata ciliar alagável com ninhal de aves do Rio Cuiabá, no Pantanal Barão de Melgaço-MT. Monografia de graduação. Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Biociências, Cuiabá, Mato Grosso. 53pp.

Ribeiro, Paulo Eduardo Aquino. Implementação de análise de nitrogênio total em solo pelo método de Dumas / Paulo Eduardo de Aquino Ribeiro – Sete Lagoas .26 p.: il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 115). Embrapa 2010.

Richter, D. D.; Barbar, L. I. Soil diversity in the tropics. *Advances in Ecological Research*, London, v. 21, p. 315-389, 1991.

Running, S. W.; Nemani, R. R.; Heinsch, F. A.; Zhao, M.; Reeves, M.; Hashimoto, H. A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production, *BioScience*, v. 54, n. 6, p. 547-560, 2004.

Ruggiero, P.G.C.; Batalha, M.A.; Pivello, V.R. e Meirelles, S.T.2002. Soil-Vegetation Relationships in Cerrado (Brazilian savanna) and Semideciduous Forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecology* 160(1):1-16.

Salgado,G,S,M ; Galinkin, M. 2008. Reserva da biosfera do Cerrado – fase I (RBC-DF). Fonseca, F. O (org.) Águas Emendadas SEDUMA, Brasília- dt, pp. 81.

Schlesinger, W. H. 1997. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change. California, Academic Press. 588p.

Shankaranarayan, K. A., G. G. S. RAO & B. V. R. RAO. 1985. Grassland productivity and its associative climatic characteristics in Western Rajasthan. *Tropical Ecology* 26(2): 157-163.

Siegwolf, R. T. W., Matyssek, R., Saurer, M., Maurer, S., Gunthardt-Goeg, M. S., Shmutz, P. & Bucher, J. B. 2001. Stable isotope analysis reveals differential effects of soil nitrogen and nitrogen dioxide on the water use efficiency in hybrid poplar leaves. *New Phytologist*, 149: 233-246.

Silva, I. Alguns aspectos da ciclagem de nutrientes em uma área de Cerrado (Brasília, DF): chuva, produção e decomposição de litter. 1983. Dissertação (mestrado)- Universidade de Brasília, Brasil.

Sioli, H. 1991. Amazônia: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro. 72pp.

Smith, R.I., Fowler, D., Sutton, M.A., Flechard, C., Coyle, M., 2000. Regional estimation of pollutant gas deposition in the UK: model description, sensitivity analyses and outputs. *Atmospheric Environment* 34, 3757–3777.

Steubing, L., Fangmeier, A., Both, R., & Frankenfeld, M. (1989). Effects of SO₂, NO₂, and O₃ on population development and morphological and physiological parameters of native herb layer species in a beech forest. *Environmental pollution*, 58(4), 281-302.

Stulen, I., Perez-Soba, M., DE Kok, L. J. & Van der eerden, L. 1998. Impact of gaseous nitrogen deposition on plant functioning. *New Phytologist*, 139: 61-70.

Swift, MJ., Heal, OW. and Anderson, JM., 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Oxford: Blackwell.

Takahashi, H. et al. (2011) Sulfur assimilation in photosynthetic organisms: molecular functions and regulations of transporters and assimilatory enzymes. *Annual Review of Plant Biology* 62: 157–184.

Truscott, A.M., Palmer, S.C.F., McGowan, G.M., Cape, J.N., Smart, S., 2005. Vegetation composition of roadside verges in Scotland: the effects of nitrogen deposition, disturbance and management. *Environmental Pollution* 136: 109–118.

Vitousek, P. M. 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *The American Naturalist* 119, 553-572.

Vitousek, P.M.; Sanford, R.L. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Forest Annual Review of Ecology and Systematics* 17:137-167.

Wetzel, M.M.V.S. 1997. Época de dispersão e fisiologia de sementes do Cerrado. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal. 175pp.

Zuur AF, Ieno EN, Walker NJ, et al (2009) *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer, New York, USA.