



Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Biologia
Campus de Umuarama



Ciclagem de nutrientes em cerrados sobre Neossolos calcáreo e arenítico

Vinícius Nunes Alves

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Henrique Ongaro Pinheiro

Apoio



Uberlândia – MG
2017



Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Biologia
Campus de Umuarama



Ciclagem de nutrientes em cerrados sobre Neossolos calcário e arenítico

Vinícius Nunes Alves

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Henrique Ongaro Pinheiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais do Instituto de Biologia da UFU – Campus de Umuarama (MG), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre

Apoio



Uberlândia – MG
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

A474c
2017 Alves, Vinícius Nunes, 1989
 Ciclagem de nutrientes em cerrados sobre Neossolos calcário e arenítico / Vinícius Nunes Alves. - 2017.
 90 f. : il.

 Orientador: Marcelo Henrique Ongaro Pinheiro.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais.

 Inclui bibliografia.

 1. Ecologia - Teses. 2. Cálcio - Teses. 3. Solos - Fertilidade - Teses. 4. Savanas - Brasil - Teses. I. Pinheiro, Marcelo Henrique Ongaro. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. III. Título.

CDU: 574

Vinícius Nunes Alves (2017) **Ciclagem de nutrientes em cerrados sobre Neossolos calcáreo e arenítico**. Dissertação de Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG. **89 p.**

Resumo geral: Nós investigamos se a ciclagem de nutrientes num cerrado *sensu stricto* sobre Neossolo calcáreo indica uma ciclagem de nutrientes mais eficiente do que a mesma fisionomia de cerrado sobre Neossolo arenítico. Nós instalamos transectos para distribuição de 60 parcelas em cada cerrado. Dentre essas, 20 foram selecionadas aleatoriamente, onde nós avaliamos as propriedades químicas do solo, quantificamos mensalmente a serapilheira em coletores no ano de estudo e estimamos a decomposição através de bolsas de decomposição. Analisamos quimicamente a serapilheira foliar proveniente tanto dos coletores, quanto das bolsas de decomposição a cada mês. Nós testamos correlações entre perda de massa seca e liberação de nutrientes. Os teores de macronutrientes do Neossolo calcáreo foram maiores que os do Neossolo arenítico, sendo caracterizados, respectivamente, como eutrófico e distrófico. No primeiro, a acidez e o Al foram menores que no segundo. A produção de serapilheira e de todos os seus componentes foi maior no cerrado calcáreo. A produção de serapilheira e de folhas foi significativamente maior em vários meses do ano no cerrado calcáreo, quando comparadas ao do cerrado arenítico. A decomposição no cerrado calcáreo foi significativamente mais rápida que a do cerrado arenítico. A produção de nutrientes foi significativamente maior em diferentes meses no cerrado calcáreo, exceto S e N. Em geral, a perda de massa seca não se correlacionou com a liberação de nutrientes. Este é o primeiro estudo de ciclagem de nutrientes em áreas de cerrado *sensu stricto* sobre dois tipos de Neossolos na mesma escala espaço-temporal. O cerrado calcáreo, com seus elevados níveis de macronutrientes no solo (eutrófico) sem Al edáfico extraível e principalmente com afloramento rochoso calcáreo, representa um cerrado *sensu stricto* com características próprias e com níveis de fertilidade edáfica intermediários entre cerrados *sensu stricto* sobre Latossolos e florestas decíduas sobre Neossolos do Brasil. Tal condição nutritiva diferenciada também reflete na serapilheira foliar. Assim, indicamos a importância de mais pesquisas que caracterizem as fisionomias savânicas de Cerrado sobre Neossolos na região do Triângulo Mineiro, sobretudo naquelas com influência de calcário, subsidiando a conservação das mesmas.

Palavras-chave: Cálcio • Carbonático • Fertilidade do solo • Savana brasileira • Serapilheira

Vinícius Nunes Alves (2017) **Nutrient cycling in cerrados on calcareous and arenitic Neosols**. Master's Dissertation in Ecology and Conservation of Natural Resources. Federal University of Uberlândia. Uberlândia-MG. **89 p.**

General abstract: We investigated whether the nutrient cycling in a cerrado *sensu stricto* on Calcareous Neosol indicates a more efficient nutrient cycling than the same cerrado physiognomy on sandy soil. We installed three transects for distribution of 60 plots in each cerrado. Among these, 20 were randomly selected, where we evaluated soil chemical properties, quantified litter litter collectors in the year of study and estimated decomposition through litter bags. We chemically analyzed leaf litter from both collectors and litter bags each month. We tested correlations between loss of dry mass and release of nutrients. The macronutrient contents of the calcareous Neosol were higher than in of sandstone Neosol, being characterized, respectively, as eutrophic and dystrophic. In the first, acidity and Al were lower than in the second. The production of litter and all its components was higher in the cerrado calcareous. The litter and leaf production was significantly higher in several months of the year in the calcareous cerrado, when compared to that of the arenitic cerrado. The decomposition in the calcareous cerrado was significantly faster than that of the arenitic cerrado. The nutrient production was significantly higher in different months in the cerrado, except S and N. In general, loss of dry mass did not correlate with the release of nutrients. This is the first study of nutrient cycling in areas of cerrado *sensu stricto* on two types of neosols in the same spatio-temporal scale. The calcareous cerrado, with its high levels of macronutrients in the soil (eutrophic) without extractable soil Al and mainly with limestone rock outcrop, represents a cerrado *sensu stricto* with its own characteristics and intermediate levels of soil fertility between cerrado *sensu stricto* on Latosols and deciduous forests on Neosols of Brazil. Such a differentiated nutritional condition also reflects in the leaf litter. Thus, we indicate the importance of more researches that characterize Cerrado savanna physiognomies on Neosols in the Triângulo Mineiro region, especially in those with calcareous influence, subsidizing their conservation.

Keywords: Calcium • Carbonate • Soil fertility • Brazilian savanna • Litter

“A ciência é mais do que um corpo de conhecimento, é um modo de pensar.”

- Carl Sagan

“Quem exagera o argumento, prejudica a causa.”

- Friedrich Hegel

-Agradecimentos-

Ao meu orientador:

- O orientador tem que querer e poder orientar alguém que, ao menos inicialmente, é um estranho. Esse risco (confiança que se deposita no escuro) é aceito pelo orientador e pelo orientado. De minha parte, não foi tão difícil decidir a empreitada, pois dentre os potenciais orientadores que contatei e pude escolher para o mestrado em ecologia, o Prof. Marcelo foi o que apresentou um tratamento inicial diferenciado. Isto é, atencioso, atento e compreensivo ao meu momento e ao meu perfil, além de animado (desde a primeira vez) com o contexto da pesquisa científica que ele estava me apresentando e sugerindo. Se um docente não conhece tanta coisa, um recém graduado conhece ainda menos, cada um carrega, vai encorpando e lapidando uma bagagem de conhecimentos e experiências. Pois bem, é por essa bagagem que tenho a convicção de que não é à toa ou por acaso que ele é o orientador e eu o orientado. Devo bastante respeito a ele e principalmente gratidão por ter confiado a mim a execução do trabalho, por ter chamado a atenção para minhas falhas, por me acompanhar no campo, por normalmente externar bom humor, por ser humilde, por me conceder o suporte do LABOT como materiais e a técnica Kênia, por ser paciente com minhas limitações (algumas eram só aparentes) e ansiedade, por discutir o trabalho e dúvidas comigo (sabe escutar, ponderar e oferecer dicas/direcionamentos), por ter me introduzido no tema Ciclagem de Nutrientes em Savanas e sua relação com o solo. Tema e relação estes que hoje considero tão interessantes. Muito obrigado por tudo isso, Dr. Marcelo Henrique Ongaro Pinheiro.

À minha família:

- Sou privilegiado por amar e por ser amado incondicionalmente os/pelos meus pais, a/pela minha irmã e os/pelos meus avós. Sou grato pelo apoio e pela compreensão deles no/do meu crescimento como ser humano e nos/dos meus caminhos escolhidos. Eles contribuíram e contribuem decisivamente para a minha formação pessoal e profissional. A qual continuará se formando e se lapidando. O suporte nas minhas mudanças (móveis,

eletrodoméstico, roupas e utensílios de banheiro e cozinha) e o interesse pelo meu estado emocional e de saúde diante das mudanças (outro estado, outra universidade, outro círculo social, outro desafio acadêmico e necessidade de aprendizados domésticos) colaboraram para uma estadia tranquila em terras mineiras. Muito obrigado por existirem e me ajudarem tanto, meus amados familiares.

À minha namorada:

- Ela é minha companheira incondicional e conjugal que tenho o privilégio de amar e de ser amado por ela. É um ser humano bastante valioso mas que não costuma perceber isso. Ela me traz suporte, alento e alegria em diversos momentos e aspectos da minha vida pessoal e profissional. Ela já compartilha comigo anos de experiências significativas (sejam experiências só da minha vida, só da vida dela ou da nossa vida). Na labuta ou no ócio que fazemos juntos, ela sempre exerce uma grande diferença positiva. Ao me visitar em Uberlândia-MG e manter o contato comigo à distância (mas com certa frequência), ela também contribuiu bastante para a minha estadia tranquila em terras mineiras. Muito obrigado por existir, minha amada Caroline Marques Maia.

Aos meus novos amigos (Uberlândia):

- Na minha turma tem muita gente valorosa que tive o prazer de conhecer e que aprendi algo, mas destaco a Bianca, a Claire, o Henrique, a Ingrid, a Liégy e o Renan que foram os que mais me aproximei. A companhia deles para estudar, para compartilhar preocupações acadêmicas e risadas, para ir em bares e/ou cachoeiras e/ou jogar ping pong certamente tornaram a minha vida em Uberlândia mais leve e com mais significado. Outras pessoas que destaco pelo prazer de ter formado amizade e de ter compartilhado momentos de descontração são as amigas do pensionato onde morei (a Yusmaris e a Juliana); o Lucas (vulgo Chico Bento) do 1º ano do mestrado em ecologia, o Douglas do doutorado em agronomia, o Richard Tito do doutorado em ecologia e alguns amigos do teatro - a Eula, o Frederico, o Jonathan, a Olívia, o Alberto, a Marina, o Lucas e outros. Um muito obrigado para vocês.

Aos meus novos amigos (Ituiutaba):

- Ficando três ou quatro dias por mês na cidade só para coletar e processar a serapilheira, eu não imaginava que iria criar vínculos da forma como criei, mas felizmente fui surpreendido. Agradecer estes amigos da graduação em biologia pelo lugar oferecido para eu ficar durante as coletas é só uma parte da história. Após eu ter conhecido a Bruna e ter ficado na casa dela na primeira vez, ela me indicou o Wagner, que foi o primeiro amigo que considerei ter feito em Ituiutaba. A partir dele, conheci e me tornei amigo do Leonardo (apenas ele da graduação em química). Este, por sua vez, me apresentou o Felipe e o Lucas (vulgo frodo), os quais hoje também considero meus amigos. Em seguida, o Lucas (frodo) me apresentou o Pedro e o Â. Natanael, enquanto que o Felipe me apresentou o Silas, com os quais também fiz amizade. Sou grato aos quatro primeiros amigos (Wagner, Leonardo, Felipe e Lucas) pela colaboração no campo e/ou no LABOT. Sobre essa colaboração, merecem destaque o Felipe, o Lucas (frodo) e também a Danila (esta entrou depois no time do Marcelo e é enérgica na labuta). Essas pessoas, cada uma a seu modo, não só auxiliaram nas minhas estadias e/ou atividades acadêmicas, como também contribuíram para torná-las mais aprazíveis (com direito a eventual ócio criativo). Também vale lembrar as eventuais ajudas e conversas da(o)/com Luciane e Rafael. Para vocês, muito obrigado.

Aos meus colaboradores:

- O Prof. José Luiz e a Profa. Regina Maria contribuíram significativamente para o meu desenvolvimento enquanto mestrando e tornaram possível a execução completa de diferentes frentes do trabalho. Sou grato a ele por ter depositado confiança em mim desde o início, por discutir atenciosamente diversos pontos do trabalho comigo, por me co-orientar e ensinar o tratamento dos dados de decomposição e, também, por ter visto e comentado a minha qualificação. Sou grato a ela por ter confiado a mim a execução da frente mais trabalhosa do projeto (análises macrofoliares e de fertilidade edáfica), por ter me concedido todo o suporte do LABAS como técnicos (Manoel, Gilda, Eduardo e Marinho), reagentes, aparelhos e secretária (Angélica), e também, por ter visto e comentado a minha qualificação. Muito obrigado por suas contundentes colaborações, Dr. José Luiz Rodrigues Torres e Dra. Regina Maria Quintão Lana.

- No *campus* Pontal da UFU meus agradecimentos vão: à estudante Bruna Dias do LAGEOTEC pelo auxílio essencial na confecção do mapa da área de estudo. Ao Dr. Rafael Gomes de Souza pelo reconhecimento do Grupo e da Formação geomorfológicos. À Kênia, técnica do LABOT, por eventuais auxílios e pelas agradáveis conversas. Agradeço ao docente Dr. Lucas Rocha pelas eventuais e agradáveis conversas no LABOT. Agradeço não só o prof. Lucas como também a Dra. Juliana Povh pelo fino trato e compreensão enquanto eu usava o LABOT concomitantemente às suas aulas práticas. Agradeço ao coordenador do curso de Ciências Biológicas na época que trabalhei no *campus* Pontal - Dr. Alexandre Rezende - pela ótima recepção.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	1
Referências.....	8
CAPÍTULO 1.....	13
Resumo.....	13
Introdução.....	14
Materiais e Métodos.....	15
Resultados.....	24
Discussão.....	33
Referências.....	42
CAPÍTULO 2.....	50
Resumo.....	50
Introdução.....	51
Materiais e Métodos.....	52
Resultados.....	57
Discussão.....	69
Referências.....	76
Material Suplementar.....	82
CONCLUSÕES GERAIS.....	87
Implicações para Conservação.....	88
Referências.....	89

Introdução Geral

A ciclagem de nutrientes é um processo essencial no funcionamento dos ecossistemas terrestres (Greenland e Kowal 1960; Chapin et al. 2002). O estudo da ciclagem de nutrientes em diferentes formações vegetais contribui para a compreensão sobre como a disponibilidade de nutrientes influencia na produtividade de ecossistemas terrestres (Barnes et al. 1997; Amorim e Batalha 2008). A ciclagem de nutrientes em ecossistemas terrestres começou a ser estudada no final do século XIX (Ebermayers 1876 apud Bray e Gorham 1964). Desde os primeiros estudos envolvendo ciclagem de nutrientes no mundo, a atenção foi mais voltada para ecossistemas florestais. Havia os que abordavam a produção de serapilheira e seu conteúdo de nutrientes em florestas tropicais (Nye 1961; Ewel 1976), a decomposição da serapilheira em florestas temperadas (Gustafson 1943; Bockock e Gilbert 1957), entre outros. Já nas savanas do mundo, estudos envolvendo ciclagem de nutrientes são mais escassos (Laclau et al. 2002), os primeiros foram realizados na Nigéria (Collins 1977), na Índia (Misra 1983 apud Laclau et al. 2002) e na Costa do Marfim (Abbadie 1984).

A ciclagem de nutrientes é um processo que se desenvolve especialmente no compartimento edáfico, a partir do acúmulo de serapilheira, prosseguindo com sua decomposição (Berg e McLaugherty 2008) e terminando com a transferência de nutrientes para o solo (Schulze et al. 2002; Raffaelli e Frid 2010). Os solos das savanas, por sua vez, geralmente são muito antigos, altamente intemperizados (Bustamante et al. 2012), com baixa capacidade de troca catiônica e de bases (Solbrig 1996) e com fertilidade relativamente baixa, quando comparados a solos de ecossistemas mais produtivos em biomassa, como as florestas (Paiva et al. 2015) ou mesmo os cerradões mesotróficos, com níveis intermediários de fertilidade e de densidade entre savanas e florestas do Brasil (Furley e Ratter 1988). Entretanto, savanas não são restritas a solos profundos e/ou inférteis. Como exemplos disso, existem diversas savanas que ocorrem sobre solos com influência de calcário, o qual é rico em bases como Ca e Mg (Reatto et al. 2008), que reduz a toxidez de alumínio e aumenta a atividade microbiana e o pH, facilitando a liberação de nutrientes como nitrogênio, fósforo e enxofre (Lopes 1984).

Dentre as savanas sobre solos calcários no mundo, tem-se parte da vegetação da Cordilheira Norte - Venezuela, a savana de Barbuda nas pequenas Antilhas - Cuba, a

vegetação da planície central do Haiti, parte da vegetação em Honduras Inglesa da América Central (Beard 1953), a savana do Platô Peninsular e Nordeste da Tailândia (Wisawapipat et al. 2012), a savana da ilha de Guam (Athens e Ward 2004) e a savana da cadeia montanhosa de Gran Pajonal - Peru (Scott 1977). No Brasil, por sua vez, destacam-se as fisionomias savânicas do Cerrado (*cerrado sensu stricto*), que afloram predominantemente sobre solos profundos (Latosolos), distróficos e álicos (Eiten 1972; Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2006), não sendo descrita a ocorrência de solos calcários. A ciclagem de nutrientes no cerrado *sensu stricto* tem sido estudada desde o início da década de 80 (Peres et al. 1983; Schiavini 1983).

A maioria dos estudos envolvendo aspectos da ciclagem de nutrientes no cerrado *sensu stricto* foi desenvolvida em áreas compreendidas inteiramente sobre Latossolos (Peres et al. 1983; Schiavini 1983; Nardoto et al. 2006; Kozovits et al. 2007; Valenti et al. 2008; Villalobos-Vega et al. 2011; Paiva et al. 2015; Valadão et al. 2016). Existe também uma menor porção do Cerrado que ocorre em solos rasos com afloramentos rochosos (Neossolos) mineralmente ricos (ex.: basalto, diabásio, gabro) ou pobres (ex.: arenito, quartzo, xisto) (Eiten 1972; Reatto et al. 1998). Entretanto, nessa porção (~7,3%), dominada por campos rupestres, não há descrição até o momento da ocorrência de cerrado *sensu stricto* sobre afloramento calcário, estando este restrito a formações florestais do Cerrado, principalmente mata seca decídua (Reatto et al. 2008). Nesses cerrados *sensu stricto* sobre Neossolos há apenas dois trabalhos publicados com a temática da ciclagem de nutrientes: o de Silva et al. (2007) e o de Campos et al. (2008), ambos abordando a produção da serapilheira.

O presente estudo está situado na região do Triângulo Mineiro, onde Eiten (1972) já havia identificado a ocorrência de fisionomias savânicas sobre Neossolos, sendo o arenito o tipo predominante. Adicionalmente, nossas observações de campo aliadas a análises químicas prévias indicaram a ocorrência de Neossolo com afloramento rochoso calcário, também nas mesmas fisionomias da região. Considerando que os estudos envolvendo a ciclagem de nutrientes em cerrados sobre Neossolos são escassos e que as fisionomias savânicas do Triângulo Mineiro encontram-se ameaçadas pelas expansões agropecuária e urbana, constituindo-se de fragmentos limitados ao máximo de 100 ha (Cavalcanti e Joly 2002), torna-se relevante aprofundar a compreensão da dinâmica da serapilheira e de nutrientes nesses ecossistemas. Assim, o presente estudo é o primeiro de ciclagem de nutrientes em um cerrado *sensu stricto* sobre Neossolo calcário, o qual foi comparado com um cerrado da mesma fisionomia

sobre Neossolo arenítico. É conhecido que as plantas extraem os nutrientes continuamente do solo onde estão e a capacidade delas em acumular e circular os nutrientes representa um ajuste para a produtividade e para a manutenção da biomassa vegetal (Cianciaruso et al. 2006).



Estrada nas imediações das áreas de estudo: solo raso e acidentado com abundância de seixos aflorando dos fragmentos de rochas; nas bordas o cerrado *sensu stricto* que continua nas áreas de estudo.



Área de cerrado *sensu stricto* típico estudiada que está sobre afloramiento rochoso arenítico.



Área de cerrado *sensu stricto* denso estudada que está sobre afloramento rochoso calcáreo.



Rocha arenítica (marrom) e rocha calcária (esbranquiçada) provenientes das respectivas áreas de estudo.



Rocha calcária com o mineral calcita (CaCO_3). Este é reconhecido a partir da forte reação de efervescência com o ácido clorídrico (Fonte: <http://www.ige.unicamp.br/espectrobauxita/calcita.html>).

Uma vez que a presença de calcário no solo, eleva o pH e a capacidade de troca catiônica na solução edáfica (Vitti et al. 2015), os nutrientes se tornam mais acessíveis às raízes, podendo aumentar a produtividade (Haridasan 2000). Uma maior fertilidade do solo também pode ser refletida em maiores concentrações de nutrientes nas folhas (Rossatto et al. 2015) e, conseqüentemente, em uma serapilheira com maior qualidade para a atuação de microrganismos decompositores (Seastadt 1984). Experimentos com adição de nitrogênio e fósforo no cerrado demonstraram que a decomposição foi 42% mais rápida do que o grupo controle (Kozovits et al. 2007). Independente das possíveis diferenças na velocidade de decomposição causadas pela qualidade da serapilheira, é esperado que a proporção da massa foliar decaia exponencialmente ao longo do tempo (Villalobos-Vega et al. 2011). A perda de massa (peso seco) das folhas, por sua vez, está relacionada diretamente à liberação de nutrientes das folhas a partir da ação dos decompositores (Berg e McLaugherty 2008).

É importante ressaltar que, independente da natureza geológica, outros fatores como o clima, podem modular a ciclagem de nutrientes em ecossistemas terrestres. A umidade e a temperatura podem modificar a produção (Ong et al. 2015), a decomposição (Wall et al. 2008) e a mineralização de nutrientes da serapilheira (Vasconcelos e Luizão 2004). Em regiões tropicais como no Cerrado que é sazonalmente úmido (Bustamante et al. 2012), a produção de serapilheira tende a aumentar no inverno seco (Williams-Linera e Tolome 1996), como uma possível resposta adaptativa que reduz a perda de água por transpiração (Martins e Rodrigues 1999; Silva et al. 2007).

Entretanto, segundo Berg e McLaugherty (2008), a atividade microbiana é limitada tanto pela baixa umidade, quanto por baixas temperaturas. Com relação ao subsequente processo de mineralização dos nutrientes, já é conhecido que em períodos de restrição hídrica os nutrientes são pouco solubilizados e pouco transportados (Coutinho, 1990; Coutinho, 2002); em baixas temperaturas a absorção dos nutrientes é dificultada para as plantas (Goodland, 1971).

Neste contexto, nós investigamos experimentalmente se a ciclagem de nutrientes num cerrado *sensu stricto* sobre Neossolo calcário indica uma ciclagem de nutrientes mais eficiente do que a mesma fisionomia de cerrado sobre Neossolo arenítico.

Partindo da premissa de que o cerrado com calcário retém mais nutrientes no solo do que o cerrado com arenito, depreendemos as seguintes hipóteses:

- hipótese 1: A produção de serapilheira do cerrado com calcário é maior do que a do cerrado com arenito.
- hipótese 2: A decomposição da serapilheira do cerrado com calcário é mais eficiente do que a do cerrado com arenito.
- hipótese 3: A retenção de nutrientes na serapilheira do cerrado com calcário é maior do que a do cerrado com arenito.

Referências

- Abbadie L (1984) Evolution saisonnière du stock d'azote dans la strate herbacée d'une savane soumise au feu en Côte-d'Ivoire. *Acta Oecol* 5:321-334
- Amorim PK, Batalha MA (2008) Soil chemical factors and grassland species density in Emas National Park (Central Brazil). *Braz J Biol* 68:279-285. doi:10.1590/S1519-69842008000200008
- Athens JS, Ward JV (2004) Holocene Vegetation, Savanna Origins and Human Settlement of Guam. *Rec Aust Mus* 29:15-30. doi:10.3853/j.0812-7387.29.2004.1398
- Barnes BV, Zak DR, Denton SR, Spurr SH (1997) *Forest ecology*. John Wiley e Sons, Nova York
- Beard JS (1953) The Savanna Vegetation of Northern Tropical America. *Ecol Monogr* 23:149-215. doi:10.2307/1948518
- Berg B, McClaugherty C (2008) *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*. Springer, Berlin
- Bocock KL, Gilbert OJW (1957) The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. *Plant Soil* 9:179-185. doi:10.1007/BF01398924
- Bray JR, Gorham E (1964) Litter Production in Forests of the World. *Adv Ecol Res* 2:101-157. doi:10.1016/S0065-2504(08)60331-1
- Bustamante MMC, Brito DQ, Kozovits AR, Luedemann G, Mello TRB, Pinto AS, Munhoz CBR, Takahashi FSC (2012) Effects of nutrient additions on plant biomass and diversity of the herbaceous-subshrub layer of a Brazilian savanna (Cerrado) *Plant Ecol* 213:795-808. doi:10.1007/s11258-012-0042-4

- Bustamante MMC, Nardoto GB, Pinto AS, Resende JCF, Takahashi FSC, Vieira LCG (2012) Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Braz J Biol* 72:655-671. doi:10.1590/S1519-69842012000400005
- Campos EH, Alves RR, Serato DS, Rodrigues GSSC, Rodrigues SC (2008) Acúmulo de serrapilheira em fragmentos de mata mesofítica e cerrado stricto sensu em Uberlândia-MG. *Sociedade & Natureza* 20:189-203. doi:10.1590/S1982-45132008000100013
- Cavalcanti RB, Joly CA (2002). Biodiversity and Conservation Priorities in the Cerrado Region. In: Oliveira PS, Marquis RJ (eds) *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Columbia University Press, New York, pp 351-367
- Chapin FS III, Matson PA, Mooney HA (2002) *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer Science, New York
- Cianciaruso MV, Pires JSR, Delitti WBC, Silva EFLP (2006) Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. *Acta Bot Bras* 20:49-59. doi:10.1590/S0102-33062006000100006
- Collins NM (1977) Vegetation and Litter Production in Southern Guinea Savanna, Nigeria. *Oecologia* 28:163-175. doi:10.1007/BF00345252
- Cuevas E, Medina E (1988) Nutrient dynamics within Amazonian forests II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia* 76:222-235. doi:10.1007/BF00379956
- Eiten G (1972) The Cerrado Vegetation of Brazil. *Bot Rev* 38:201-341. doi:10.1007/BF02859158
- Ewel JJ (1976) Litter Fall and Leaf Decomposition in a Tropical Forest Succession in Eastern Guatemala. *J Ecol* 64:293-308. doi:10.2307/2258696
- Furley PA, Ratter JA (1988) Soil Resources and Plant Communities of the Central Brazilian Cerrado and Their Development. *J Biogeogr* 15:97-108. doi:10.2307/2845050
- Gottsberger G, Silberbauer-Gottsberger I (2006) *Life in the Cerrado: a South American Tropical Seasonal Vegetation. Origin, Structure, Dynamics and Plant Use*. Reta Verlag, Ulm

- Greenland DJ, Kowal JML (1960) Nutrient content of the moist tropical forest of Ghana. *Plant Soil* 12:154-173. doi:10.1007/BF01377368
- Gustafson FG (1943) Decomposition of the leaves of some forest trees under field conditions. *Plant Physiol* 18:704-707. doi:10.1104
- Haridasan M (2000) Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. *Rev Bras Fisiol Veg* 12:54-64
- Kozovits AR, Bustamante MMC, Garofalo CR, Bucci S, Franco AC, Goldstein G, Meinzer FC (2007) Nutrient resorption and patterns of litter production and decomposition in a Neotropical Savanna. *Funct Ecol* 21:1034-1043. doi:10.1111/j.1365-2435.2007.01325.x
- Laclau JP, Sama-Poumba W, Nzila JD, Bouillet JP, Ranger J (2002) Biomass and nutrient dynamics in a littoral savanna subjected to annual fires in Congo. *Acta Oecol* 23:41-50 doi:10.1016/S1146-609X(02)01132-3
- Lopes AS (1984) Solos sob “cerrado”: características, propriedades e manejo, 2ª ed. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, Piracicaba
- Martins SV, Rodrigues RR (1999) Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. *Braz J Bot* 22:405-412. doi:10.1590/S0100-84041999000300009
- Nardoto GB, Bustamante MMC, Pinto AS, Klink CA (2006) Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil and impacts of fire. *J Trop Ecol* 22:191-201. doi:10.1017/S0266467405002865
- Nye PH (1961) Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant Soil* 13:333-346. doi:10.1007/BF01394645
- Ong CSP, Juan JC, Yule CM (2015) Litterfall production and chemistry of *Koompassia malaccensis* and *Shorea uliginosa* in a tropical peat swamp forest: plant nutrient regulation and climate relationships. *Trees* 29:527-537. doi:10.1007/s00468-014-1130-y
- Paiva AO, Silva LCR, Haridasan M (2015) Productivity-efficiency tradeoffs in tropical gallery forest-savanna transitions: linking Plant Soil processes through litter input and composition. *Plant Ecol* 216:775-787. doi:10.1007/s11258-015-0466-8
- Peres JRR, Suhett AR, Vargas MAT, Drozdowicz A (1983) Litter production in areas of Brazilian cerrados. *Pesqui Agropecu Bras* 18:1037-1043

- Raffaelli DG, Frid CIJ (2010) The evolution of ecosystem ecology. In: Raffaelli DG, Frid CIJ (eds) *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1-18
- Reatto A, Correia JR, Spera ST (2008) Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: Sano SM, Almeida SP (eds) *Cerrado: ambiente e flora*. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, pp 47-86
- Rossatto DR, Carvalho FA, Haridasan M (2015) Soil and leaf nutrient content of tree species support deciduous forests on limestone outcrops as a eutrophic ecosystem. *Acta Bot Bras* 29: 231-238. doi:0.1590/0102-33062014abb0039
- Schiavini I (1983) Alguns aspectos da ciclagem de nutrientes em uma área de cerrado (Brasília, DF): chuva, produção e decomposição de liter. Dissertação, Universidade de Brasília
- Schulze ED, Beck E, Müller-Hohenstein K (2002) *Plant Ecology*. Springer, Berlin
- Scott GAJ (1977) The role of fire in the creation and maintenance of savanna in the Montana of Peru. *J Biogeogr* 4:143-167. doi:10.2307/3038159
- Seastadt TR (1984) The role of microarthropods in decomposition and mineralisation process. *Annu Rev Entomol* 29:25-46. doi:10.1146/annurev.en.29.010184.000325
- Silva CJ, Sanches L, Bleich ME, Lobo FA, Nogueira JS (2007) Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. *Acta Amaz* 37:543-548. doi:10.1590/S0044-59672007000400009
- Solbrig OT (1996) The diversity of the savanna ecosystem. In: Solbrig OT, Medina E, Silva JF (eds) *Biodiversity and savanna ecosystem processes: a global perspective*. Springer-Verlag, Berlin, pp 1-27
- UNICAMP (2016) Calcita. Biblioteca Espectral de Minerais e de Depósitos Bauxíticos Brasileiros. <http://www.ige.unicamp.br/espectrobauxita/calcita.html>. Acessado 16 Dezembro 2016
- Valadão MBX, Junior BHM, Oliveira B, Lúcio NW, Souza MGR, Marimon BS (2016) Biomass hyperdynamics as a key modulator of forest self-maintenance in a

- dystrophic soil in the Amazonia-Cerrado transition. *Sci For* 44:475-485. doi:10.18671/scifor.v44n110.20
- Valenti MW, Cianciaruso MV, Batalha MA (2008) Seasonality of litterfall and leaf decomposition in a cerrado site. *Braz J Biol* 68:459-465. doi:10.1590/S1519-69842008000300002
- Vasconcelos HL, Luizão FJ (2004) Litter production and litter nutrient concentrations in a fragmented Amazonian landscape. *Ecol Appl* 14:884-892. doi:10.1890/03-5093
- Villalobos-Vega R, Goldstein G, Haridasan M, Franco AC, Miralles-Wilhelm F, Scholz FG, Bucci SJ (2011) Leaf litter manipulations alter soil physicochemical properties and tree growth in a Neotropical savana. *Plant Soil* 346:385-397. doi:10.1007/s11104-011-0860-5
- Vitti GC, Otto R, Saviato J (2015) Manejo do enxofre na agricultura, nº 152. International Plant Nutrition Institute, Piracicaba
- Wall DH, Bradford MA, John MGS (2008) Global decomposition experiment shows soil animal impacts on decomposition are climate-dependent. *Glob Change Biol* 14:1-17. doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01672.x
- Williams-Linera G, Tolome J (1996) Litterfall, Temperate and Tropical Dominant Trees, and Climate in a Mexican Lower Montane Forest. *Biotropica* 28:649-656. doi:10.2307/2389051
- Wisawapipat W, Kheoruenromne I, Suddhiprakarn A, Gilkes RJ (2012) Trace Elements in Thai Oxisols on Limestone in Relation to Rainfall. *Procedia Soc Behav Sci* 40:673-680. doi:10.1016/j.sbspro.2012.03.248

CAPÍTULO 1

Produção e decomposição da serapilheira em cerrados sobre Neossolos eutrófico e distrófico

Resumo

Objetivos Nós avaliamos se a produção e a decomposição da serapilheira em cerrado *sensu stricto* são mais eficientes sobre Neossolo calcário do que sobre Neossolo arenítico.

Métodos Nós instalamos transectos para instalação de 60 parcelas em cada cerrado. Dentre essas, 20 parcelas foram selecionadas aleatoriamente, onde nós avaliamos as propriedades químicas do solo, quantificamos mensalmente a serapilheira em coletores no ano de estudo e estimamos a decomposição através de bolsas de decomposição.

Resultados Os teores de macronutrientes do Neossolo calcário foram maiores que os do Neossolo arenítico, sendo caracterizados, respectivamente, como eutrófico e distrófico. No primeiro, a acidez e o alumínio foram menores do que no segundo. A produção de serapilheira e de todos os seus componentes foi maior no cerrado calcário. Nas duas áreas a produção de serapilheira e de folhas foram concentradas na estação seca. Os gravetos e o material reprodutivo não apresentaram padrão sazonal. Estatisticamente, a produção de serapilheira e de folhas foi significativamente maior em vários meses do ano no cerrado calcário, quando comparadas ao do cerrado arenítico. A decomposição no cerrado calcário foi significativamente mais rápida que a do cerrado arenítico.

Conclusões O cerrado *sensu stricto* sobre calcário retém mais nutrientes no solo e é mais produtivo em serapilheira do que a mesma fisionomia sobre arenito e sobre Latossolos, além de possuir acelerada decomposibilidade.

Palavras-chave Cálcio • Carbonático • Ciclagem de nutrientes • Fertilidade do solo • Savana brasileira

1. Introdução

A dinâmica da produção de serapilheira e sua posterior decomposição, em qualquer formação vegetal, são processos importantes para o funcionamento ecossistêmico (Berg e McLaugherty 2008), por modularem a disponibilidade de nutrientes (Nardoto et al. 2006). A ciclagem de nutrientes é um processo que se desenvolve no solo, a partir do acúmulo e decomposição da serapilheira (Berg e McLaugherty 2008). Estudos envolvendo ciclagem de nutrientes em savanas são mais escassos (Laclau et al. 2002). Em savanas neotropicais, por sua vez, já são conhecidas fortes associações entre a estrutura da vegetação e o estado nutritivo do solo (Furley 1999).

Na savana brasileira, conhecida como cerrado *sensu stricto* (Paiva et al. 2015), a disponibilidade de nutrientes no solo tem sido apontada como um dos fatores determinantes para o seu estabelecimento (Goodland 1971; Ruggiero et al. 2002). É conhecido que as áreas de cerrado *sensu stricto* afloram predominantemente sobre solos profundos (Latosolos), distróficos e álicos (Eiten 1972; Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2006). A maioria dos estudos envolvendo aspectos da ciclagem de nutrientes no cerrado *sensu stricto* foi desenvolvida em áreas compreendidas inteiramente sobre Latossolos (Peres et al. 1983; Schiavini 1983; Nardoto et al. 2006; Kozovits et al. 2007; Valenti et al. 2008; Villalobos-Vega et al. 2011; Paiva et al. 2015; Valadão et al. 2016). Existe também uma menor porção do Cerrado que ocorre em solos rasos com afloramentos rochosos (Neossolos), sendo o arenito um dos tipos predominantes (Eiten 1972; Reatto et al. 1998), onde apenas dois estudos foram publicados (Silva et al. 2007; Campos et al. 2008).

Entretanto, nessa porção (~7,3 %) do Cerrado, dominada por campos rupestres, não há descrição, até o momento, da ocorrência de cerrado *sensu stricto* sobre afloramento calcário, estando este restrito a formações florestais do Cerrado, principalmente mata seca decídua (Reatto et al. 1998). Adicionalmente, nossas observações de campo aliadas a análises químicas prévias indicaram a ocorrência de Neossolo com afloramento rochoso calcário em cerrado *sensu stricto*. As plantas extraem os nutrientes continuamente do solo onde estão, e a capacidade delas em acumular e circular os nutrientes representa um ajuste para a produtividade e para a manutenção da biomassa vegetal (Cianciaruso et al. 2006).

Uma vez que a presença de calcário no solo, eleva o pH e a capacidade de troca catiônica na solução edáfica (Vitti et al. 2015), os nutrientes se tornam mais acessíveis às raízes, podendo aumentar a produtividade (Haridasan 2000). Uma maior fertilidade do solo também pode ser refletida em maiores concentrações de nutrientes na serapilheira foliar (Rossatto et al. 2015) e, conseqüentemente, na maior atuação de microrganismos decompositores (Seastadt 1984). Além disso, é importante ressaltar que, independente da natureza geológica, outros fatores como o clima, podem modular a ciclagem de nutrientes em ecossistemas terrestres. Em regiões tropicais como no Cerrado que é sazonalmente úmido (Bustamante et al. 2012), a produção de serapilheira tende a aumentar no inverno seco (Williams-Linera e Tolome 1996), o que pode ser uma resposta adaptativa das plantas em reduzir a perda de água (Martins e Rodrigues 1999).

Neste contexto, nós avaliamos: i) se a presença do calcário favorece a produção e a decomposição da serapilheira no cerrado *sensu stricto*; ii) se as variáveis climáticas influenciam a produção da serapilheira nos cerrados.

2. Materiais e Métodos

2.1. Áreas de Estudo

Nós realizamos o estudo em dois remanescentes contíguos de cerrado *sensu stricto* localizados na zona rural do município de Ituiutaba-MG (Figura 1), pertencentes à fazenda Escala. A região de Ituiutaba-MG possui clima do tipo Aw - tropical com verão chuvoso e inverno seco (Alvares et al. 2014) -, abriga diversas fitofisionomias savânicas e florestais, como cerrado *sensu stricto*, cerradão e florestas estacionais decíduais e semidecíduais (IBGE 2012) e, seus tipos edáficos predominantes são Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo (IBGE 2001). Nesses remanescentes não foram encontrados sinais de queimadas e nem de atividades agropecuárias. A área total em que o estudo foi desenvolvido, que abrange de um remanescente até outro, é de aproximadamente 50 ha e situa-se sobre o platô de uma cuesta, ou seja, região formada pelo recuo erosivo de camadas sedimentares que originam planaltos assimétricos e frentes escarpadas (IBGE 1995).

Nas áreas de estudo há afloramentos rochosos dispersos que podem ser definidos como Neossolos (Benedetti et al. 2011; IBGE 2007), provenientes do Grupo Bauru - Formação Marília, correspondentes aos Entissolos na classificação americana (USDA 1999) e aos Leptossolos pelo sistema de classificação internacional (FAO 1998). A partir de observações de campo (coloração, reação de efervescência ao ácido clorídrico diluído), realizadas por profissional especializado (Dra. Alice Bosco Santos), nós identificamos que a área 1 ($19^{\circ}03'444''$ S e $049^{\circ}26'398''$ W) apresenta predomínio de calcário (calcita), enquanto a área 2 ($19^{\circ}03'695''$ S e $049^{\circ}25'982''$ W) apresenta predomínio de arenito. Sem sugerir uma classificação pedológica especializada e sim apenas para facilitar a comunicação, intitulamos de “cerrado calcário” (área 1) o que possui Neossolo calcário e de “cerrado arenítico” (área 2) o que possui Neossolo arenítico. A área 1 tem altitude variando entre 680 e 700 m e um dos pontos de calcita está referenciado sob as coordenadas $19^{\circ}03'438''$ S e $49^{\circ}26'422''$ W; a área 2 tem altitude entre 705 a 710 m e um dos pontos de arenito está referenciado sob as coordenadas $19^{\circ}03'633''$ S e $49^{\circ}26'075''$ W.

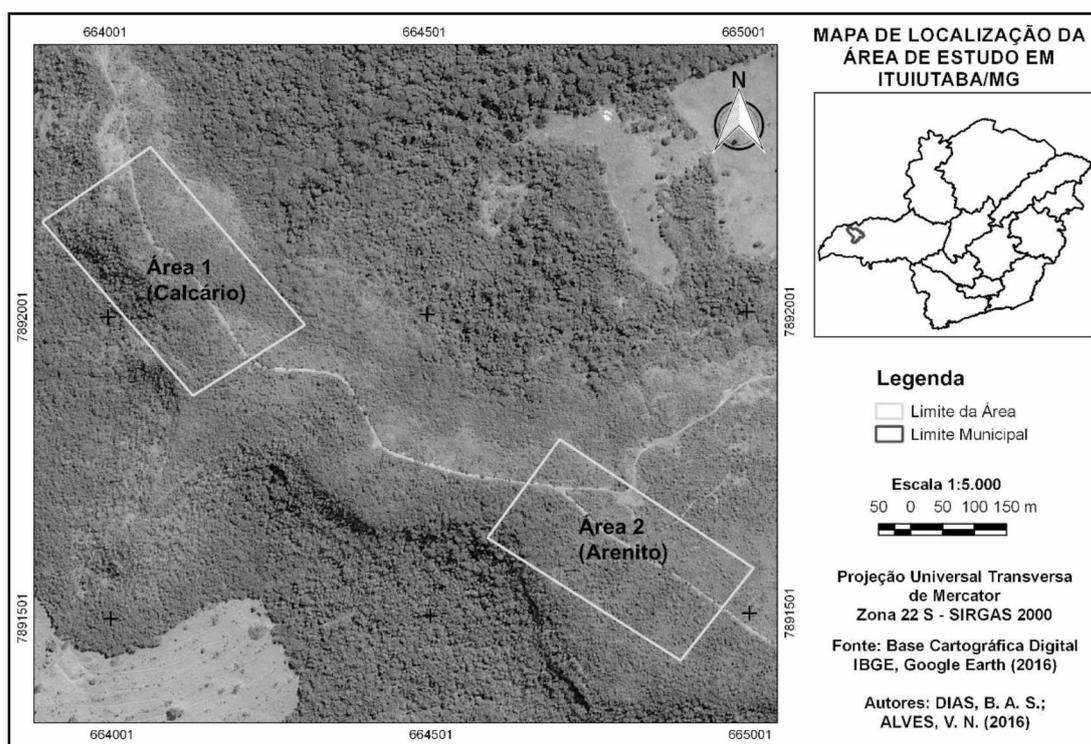


Figura 1: Mapa de localização das áreas de estudo - “cerrado calcário” (área 1) e “cerrado arenítico” (área 2).

Em ambas as áreas há um estrato herbáceo abundante e a comunidade arbustivo-arbórea apresenta espécies frequentes no cerrado, conforme levantamento fitosociológico iniciado em setembro/2016 pelo LABOT. Até o momento, na área 1 as espécies mais frequentes são *Callisthene fasciculata* Mart. (Vochysiaceae), *Luehea paniculata* Mart. (Malvaceae) e *Terminalia argentea* Mart. & Zucc (Combretaceae) e, na área 2, são *Miconia albicans* (Sw.) Steud. (Melastomataceae), *Ouratea hexasperma* (A. St.-Hil.) Baill (Ochnaceae) e *Roupala montana* Aubl. (Proteaceae). As duas áreas não formam dossel fechado, mas o adensamento do estrato arbustivo-arbóreo difere entre elas - a área 1 com influência de calcário é um cerrado *sensu stricto* denso (estrato arbóreo predominante), especialmente na transecção 1, e, a área 2 com influência de arenito, um cerrado *sensu stricto* típico (estrato arbustivo-arbóreo menos predominante) (vide Figuras da Introdução Geral).

2.2. Delineamento Experimental

Nós instalamos três transectos/área e ao longo de cada um demarcamos 20 parcelas contíguas. Dentre as 60 parcelas por área (3 transectos = 60 parcelas), nós determinamos, através de processo aleatório simples, sem reposição de parcelas sorteadas, 20 delas para as coletas de serapilheira e caracterização química do solo. Cada transecto possuía 100 m de extensão, distando, pelo menos, 50 m um do outro e, cada parcela dos transectos tinha uma área correspondente a 100 m² (10m x 10m) (Figura 2 A, B). Dentro de cada uma dessas 20 parcelas, nós extraímos o solo de 15 pontos diferentes e ao acaso, para formar uma amostra composta por parcela. Cada qual foi colocada em saco plástico individualizado para realizar as análises químicas no Laboratório de Análise de Solos (LABAS), do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Nas mesmas 20 parcelas sorteadas de cada área, nós distribuímos os coletores de serapilheira para avaliarmos a produção mensal desta, sendo que 20 é um número suficiente para significância amostral (Proctor 1983). A fim de avaliar a decomposição da serapilheira nas duas áreas, nós novamente determinamos aleatoriamente 10 das parcelas, que continham coletores, para distribuímos as bolsas de decomposição (10 bolsas por parcela) no solo, totalizando 100 bolsas por área.

Os coletores, usados na coleta mensal de serapilheira, possuíam uma área de 0,25 m² (0,5 m x 0,5 m) com tela de nylon de 2 mm, que ficaram a 20 cm do solo. As bolsas de decomposição possuíam a mesma medida de malha e com dimensões de 20 x 20 cm, conforme descrito por Thomas e Asakawa (1993). A serapilheira obtida de cada coletor e de cada bolsa foi colocada em sacos plásticos individualizados para triagem, secagem e pesagem no Laboratório de Botânica (LABOT) da Faculdade de Ciências Integradas do Pontal (FACIP), da UFU.

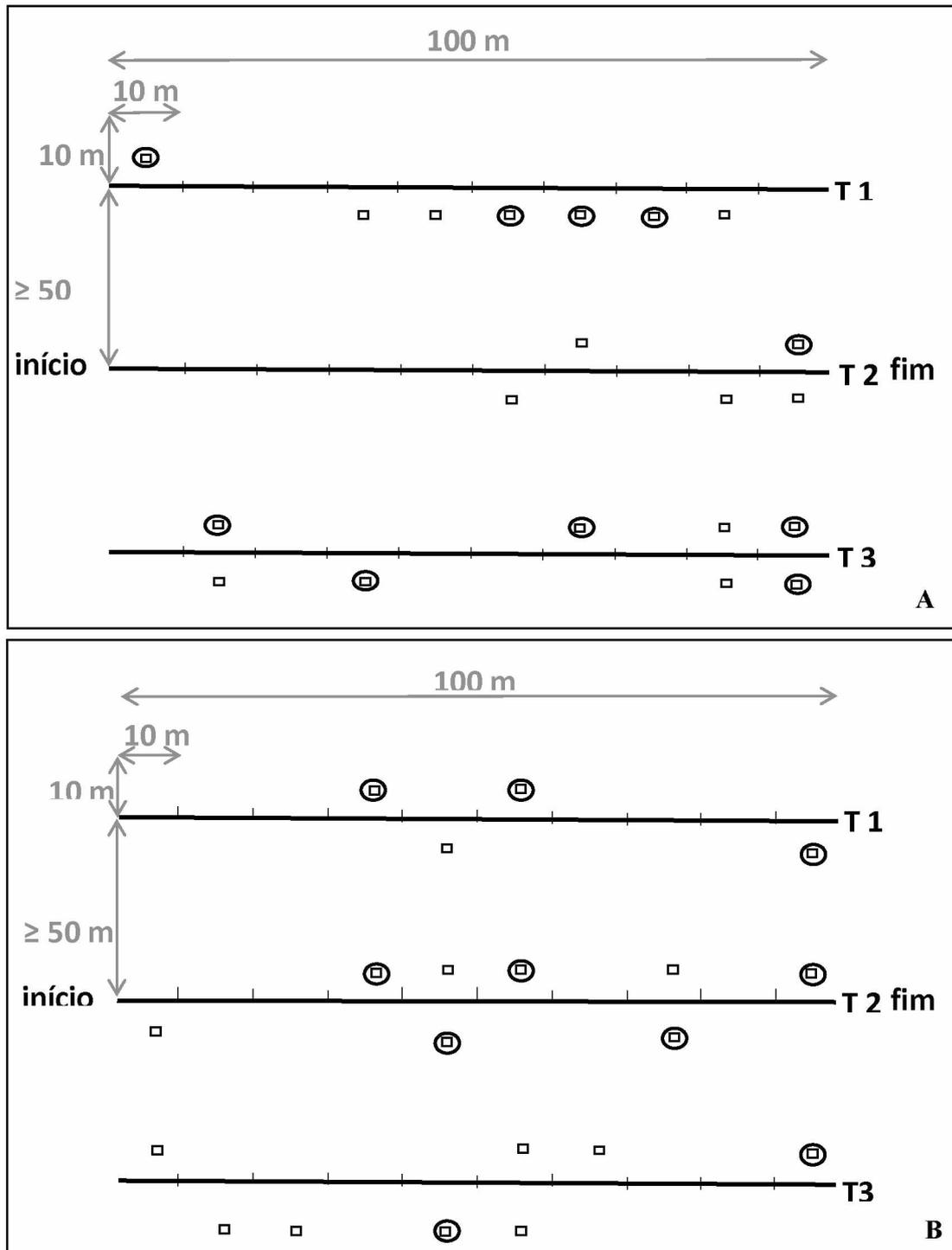


Figura 2: Distribuição dos coletores de serapilheira (□) e das bolsas de decomposição em torno dos coletores selecionados (⊙) em cada transecto (T) da (A) área 1 e da (B) área 2.

2.3. Procedimentos específicos

2.3.1. Coleta e análise química do solo

Nós coletamos solo de 15 pontos por parcela, à profundidade de 0,20 m, para a obtenção de uma amostra composta por parcela. Como no presente estudo, em cada área, foram utilizadas 20 parcelas, um total de 20 amostras compostas de solo por área foi analisado no LABAS. O pH em água foi determinado na relação solo-líquido de 1:2,5. Os cátions trocáveis divalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e a acidez trocável (Al^{3+}), extraídos com solução de KCl 1 mol.L⁻¹ foram determinados por titulação. O potássio trocável foi determinado pelo método fotométrico diretamente no estrato do solo obtido com solução Melhich-1. O protocolo dessas análises encontra-se em EMBRAPA (1997) e em Raij et al. (2001). A matéria orgânica foi determinada pelo método colorimétrico a partir da solução de ácido sulfúrico 5 mol.L⁻¹ (Cantarella et al. 2001). O P foi determinado por espectrofotometria a partir da reação do molibdato com ácido ascórbico (EMBRAPA 2009). Adicionalmente, calculamos a saturação de bases (V%) de cada amostra por $V\% = 100.S/T$, onde S = soma de bases e T = capacidade de troca de cátions a pH 7. Com os valores médios obtidos de saturação de bases (V%) para cada área, nós determinamos o caráter eutrófico ($\geq 50\%$) ou distrófico ($< 50\%$), conforme critérios da EMBRAPA (2006).

2.3.2. Coleta e quantificação da serapilheira produzida

Nós coletamos a serapilheira acumulada nos coletores em cada mês (intervalo aproximado de 30 dias) durante um ano (julho/2015 a junho/2016), tanto para verificar possíveis influências sazonais (precipitação e temperatura), quanto para estimar a produção média anual de cada área. No laboratório, nós limpamos manualmente a serapilheira retirando o solo aderido, assim como todo material indiferenciado ou sem origem vegetal e, em seguida, triamos em três diferentes componentes da serapilheira total – folhas, gravetos e material reprodutivo (flores e frutos secos). Cada componente da serapilheira de cada coletor foi colocado em saco de papel individualizado

devidamente identificado e secado em estufa de circulação forçada de ar a 85 °C durante 48 horas. Posteriormente, nós pesamos todos os componentes em balança semi analítica. Os pesos dos sacos de papel vazios foram descontados e os resultados médios de massa seca foram expressos em kg.ha⁻¹ em níveis mensal e anual.

Para relacionar dados de produção com variáveis sazonais (precipitação e temperatura), nós utilizamos os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Tais dados foram fornecidos pela estação convencional de Capinópolis-MG (OMM: 83514), nos mesmos meses do presente estudo (Figura 3). Selecionamos essa estação por ser a mais próxima de Ituiutaba-MG e também porque a estação de Ituiutaba do INMET está com o banco de dados incompleto para o período do estudo.

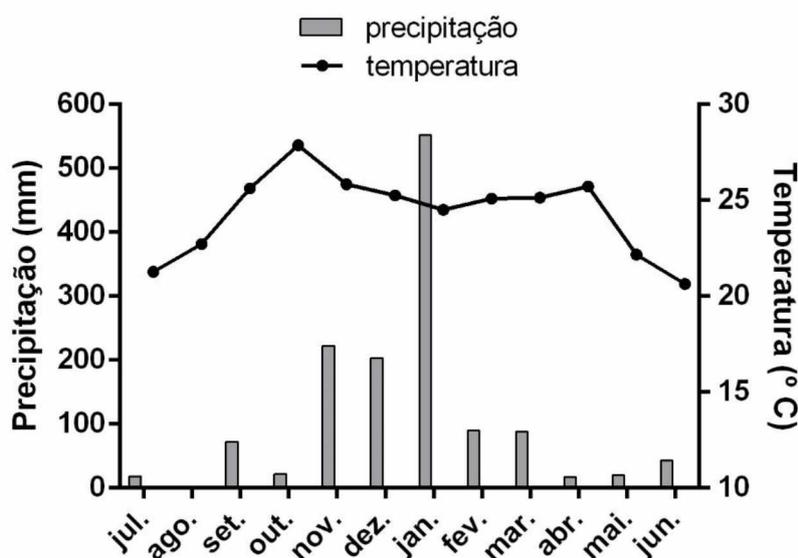


Figura 3: Precipitação acumulada mensal e temperatura média mensal entre julho/2015 e junho/2016.

2.3.3. Coleta e quantificação da serapilheira (foliar) em decomposição

Considerando que cada componente da serapilheira varia quanto à composição química e à velocidade de decomposição (Cianciaruso et al. 2006), nós padronizamos o uso exclusivo das folhas no método das bolsas de decomposição para ambas as áreas. Ademais, as folhas constituem o componente mais importante da serapilheira total, e

respondem rapidamente a variáveis climáticas (Liu et al. 2004). As folhas foram coletadas sobre o solo de 10 parcelas sorteadas, dentre as 20 que já tinham coletores. Essas 10 parcelas passaram a ser pontos amostrais das bolsas de decomposição neste estudo.

As folhas provenientes das bolsas de decomposição foram secadas em estufa a 85°C até peso constante e posteriormente colocadas nas bolsas das suas respectivas parcelas. Em cada bolsa foram colocadas 10 g de folhas secadas, de modo que esse peso seco foi tomado como referência do tempo zero (0 dias). As bolsas foram distribuídas na superfície do solo de cada área, sendo que em cada parcela (ponto amostral) foram deixadas 10 bolsas, totalizando 100 bolsas/área.

Nós realizamos cinco amostragens entre outubro/2015 e janeiro/2016, período que no cerrado corresponde à estação chuvosa (Bustamante et al. 2012), considerando que nessa estação ocorre a maior parte do decaimento da biomassa do cerrado (Peña-Peña e Irmiler 2016) e que a umidade aumenta a performance da decomposição (Mason 1980). Tal escolha restrita à estação chuvosa para avaliação da decomposição no cerrado também já foi adotada por Kozovits et al. (2007). As amostragens consistiram na retirada de duas bolsas por ponto nos intervalos aproximados de 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a distribuição das bolsas. As folhas das bolsas de cada amostragem foram secadas e pesadas novamente para mensurarmos a perda de peso seco ao longo do tempo de decomposição.

2.4. Análises Estatísticas

Para verificar se houve diferença significativa no conteúdo dos atributos químicos do solo (P, K, Ca, Mg, M.O., pH) entre as áreas, utilizamos teste T-Independente se os dados (forma original ou transformada) apresentaram distribuição normal e homoscedástica ou, Teste Mann-Whitney, se os dados não foram normais e/ou foram heteroscedásticos. A normalidade e a homoscedasticidade na distribuição dos dados foram testadas, respectivamente, pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e de Levene sob $p < 0,05$. Não comparamos estatisticamente a diferença no teor de Al do solo entre as áreas, pois o Al só foi detectado pelo método utilizado no solo da área 2.

O tratamento estatístico para verificar diferença na produtividade entre as áreas foi aplicado à serapilheira, que já compõe o conjunto de todos os componentes, e às folhas, que representaram mais de 80% da serapilheira nas duas áreas. Para verificar se houve diferença significativa na produção de serapilheira e de folhas entre as duas áreas ao longo dos meses do ano, não foi possível aplicar um teste que agrupasse os dados com dependência no tempo, pois por interferência de animais silvestres ou de intempéries ambientais sobre os coletores de serapilheira, nem todos os meses do ano apresentaram amostras balanceadas entre as áreas (em alguns meses, cerca de dois coletores/área foram encontrados tombados). Assim, nós verificamos se houve diferença significativa mês a mês, utilizando Teste T-Independente para meses em que os dados (forma original ou transformada) apresentaram distribuição normal e homoscedástica ou, Teste Mann-Whitney, para meses em que os dados não foram normais e/ou foram heteroscedásticos. Adicionalmente, verificamos se houve correlação significativa entre a produção mensal de serapilheira e de folhas com a precipitação e a temperatura mensais. Para tanto, nós realizamos Teste de Correlação de Spearman, após atestarmos a distribuição não normal e/ou heteroscedástica dos dados. A normalidade e a homoscedasticidade na distribuição dos dados foram testadas, respectivamente, pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e de Levene sob $p < 0,05$.

Para descrever a decomposição das folhas em cada área, nós utilizamos o software SigmaPlot (versão 10) para aplicar aos dados a equação matemática do tipo exponencial $X_t = X_0 \cdot e^{-kt}$, em que X_t é a quantidade de fitomassa seca (FS) remanescente após um período de tempo t , em dias; X_0 é a quantidade inicial de FS e k é a constante de decomposição do resíduo (Thomas e Asakawa 1993). Com o valor de k , calculamos o tempo de meia vida ($T_{1/2}$ vida) dos resíduos remanescentes, com o uso da fórmula $T_{1/2} = 0,693/k$ (Paul e Clark 1996). Para todas análises, nós fixamos $\alpha = 0,05$.

3. Resultados

3.1. Características do solo

A fertilidade natural entre os dois cerrados diferiu - o “cerrado calcário” (área 1) apresentou caráter eutrófico, com valor médio de saturação por bases de 77 %V, enquanto o “cerrado arenítico” (área 2) caráter distrófico com valor médio de saturação por bases de 29 %V. Os macronutrientes foram significativamente maiores na área 1 (Figuras 4, 5, 6, 7), assim como a matéria orgânica e o pH (Figuras 8, 9). Além disso, o teor de alumínio na área 1 foi muito baixo e não detectado pelo método utilizado que considera duas casas após a vírgula, diferentemente do teor alumínico na área 2 que foi de 1,28 cmolc.dm⁻³.

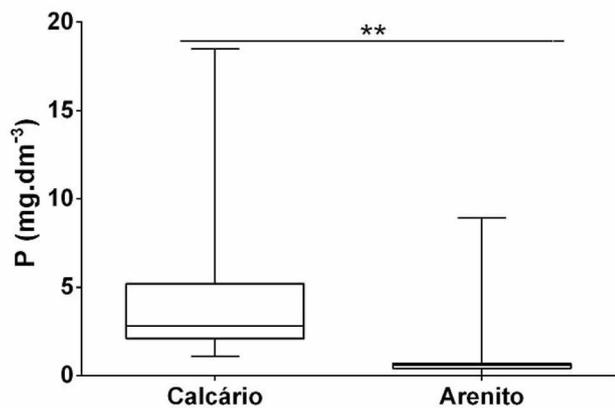


Figura 4: Teor de Fósforo (P) do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Box plot: – indica mediana; colunas representam quartis (Q1 e Q3) e barras indicam valores extremos. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste Mann-Whitney, GL = 38, U = 0,00).

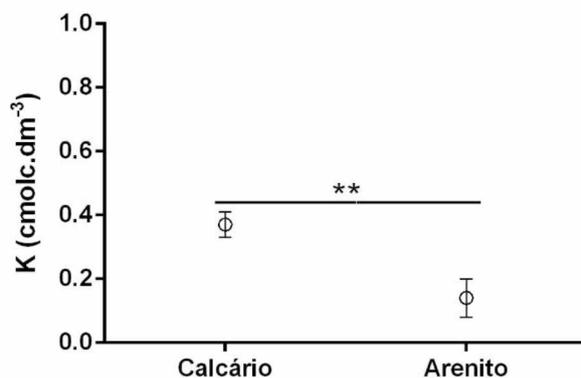


Figura 5: Teor de Potássio (K) do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média ± EP. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente, GL = 38, t = 13,61).

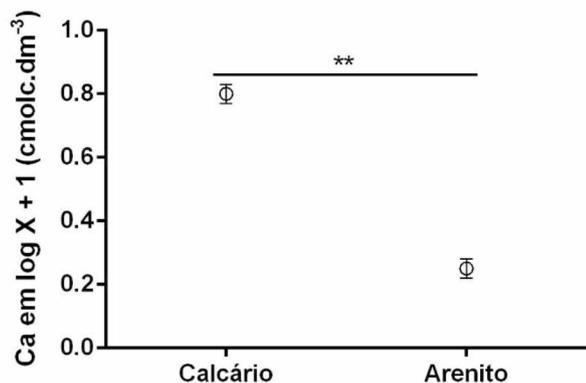


Figura 6: Teor de Cálcio (Ca em log X + 1) do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média ± EP. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente, GL = 38, t = 12,96).

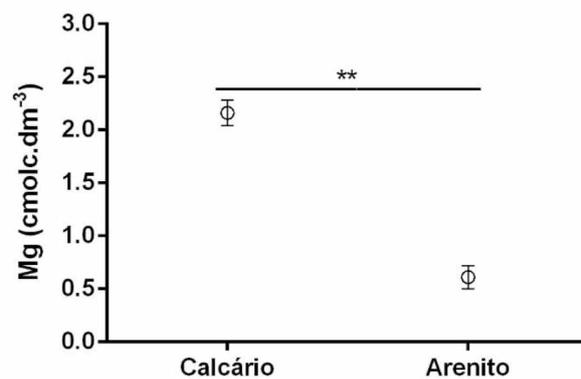


Figura 7: Teor de Magnésio (Mg) do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média ± EP. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente, GL = 38, t = 9,40).

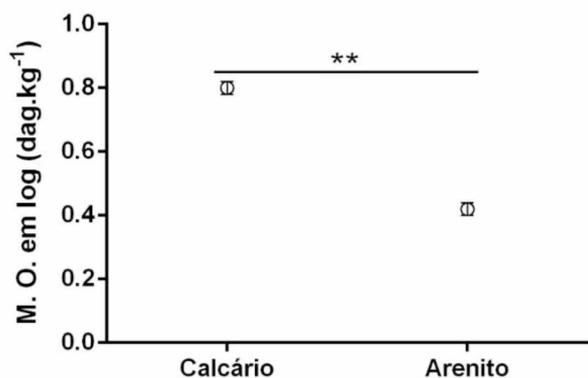


Figura 8: Matéria orgânica (M.O. em log) do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média ± EP. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente, GL = 38, t = 11,40).

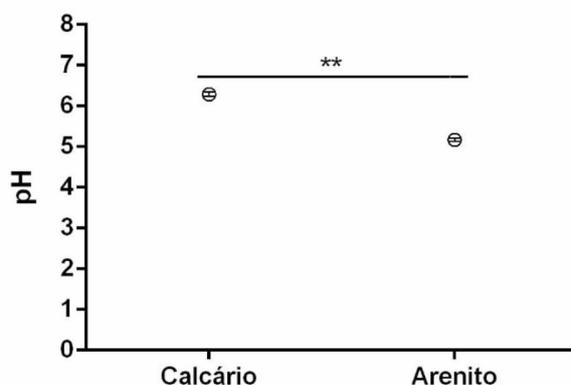


Figura 9: Valor de pH do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média ± EP. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente, GL = 38, t = 17,15).

3.2. Produção da serapilheira

A produção média anual de serapilheira na área 1 foi estimada em $4.485 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, sendo expressivamente maior do que a produção média anual de serapilheira na área 2 com $2.382 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. Em ambas as áreas, cerca de 50% da produção de serapilheira do ano se concentrou entre julho e setembro de 2015 (estação seca), sendo o pico na área 1 em agosto e o pico da área 2 em setembro. Tal produção voltou a aumentar em abril (transição chuvosa-seca), vide Figura 10. Dessa produção anual de serapilheira, as folhas corresponderam a 81% na área 1 e a 84% na área 2. A produção média anual de folhas na área 1 foi estimada em $3.647 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, sendo maior que a produção média anual de folhas na área 2 com $2.014 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. O mesmo padrão sazonal foi observado para serapilheira e para seu componente predominante (folhas) em cada área (Figura 10).

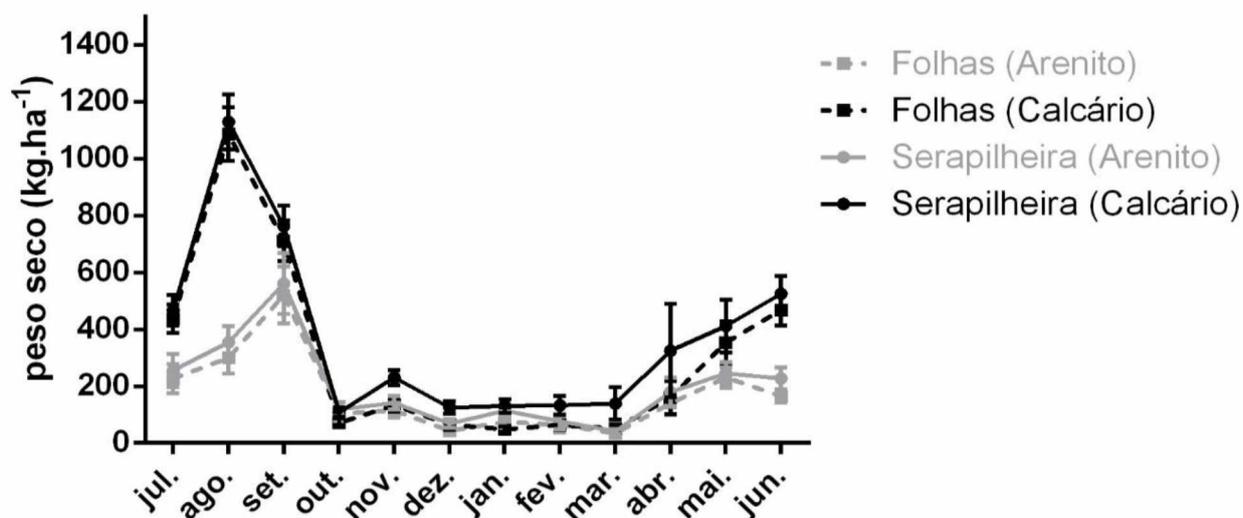


Figura 10: Produção mensal em hectare de serapilheira e de folhas no “cerrado calcário” (área 1) e no “cerrado arenítico” (área 2) com $\bar{x} \pm EP$ entre julho/2015 e junho/2016.

Em metade do ano a produção de serapilheira foi significativamente maior na área 1, enquanto que em outra metade não houve diferença significativa. Na metade com diferença estão meses tanto da estação chuvosa (novembro, dezembro, março), quanto da estação seca (junho, julho e agosto) (Figura 11 A, B, C).

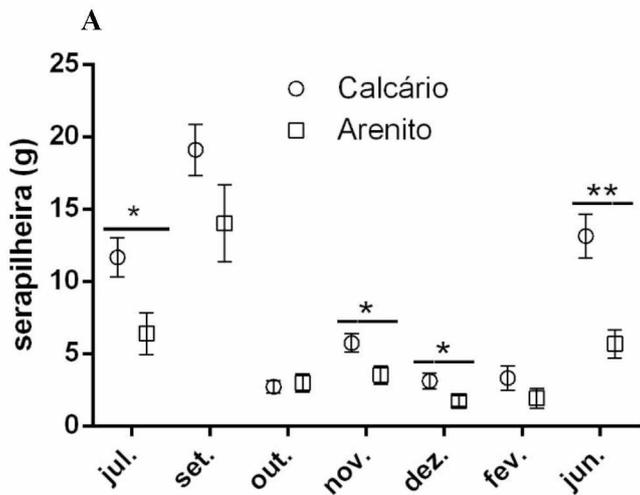


Figura 11 A: Massa seca de serapilheira produzida no “cerrado calcário” e no “cerrado arenítico.” Média \pm EP. * indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,05$ e ** indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 1C1 do Material Suplementar, p. 81.

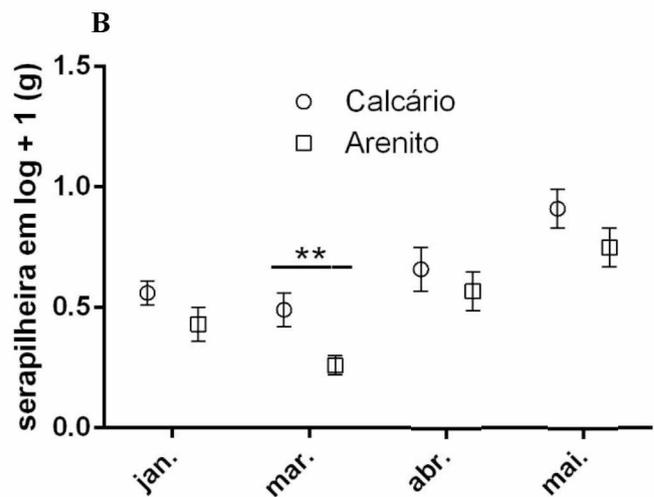


Figura 11 B: Massa seca de serapilheira ($\log X + 1$) produzida no “cerrado calcário” e no “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 2C1 do Material Suplementar, p. 81.

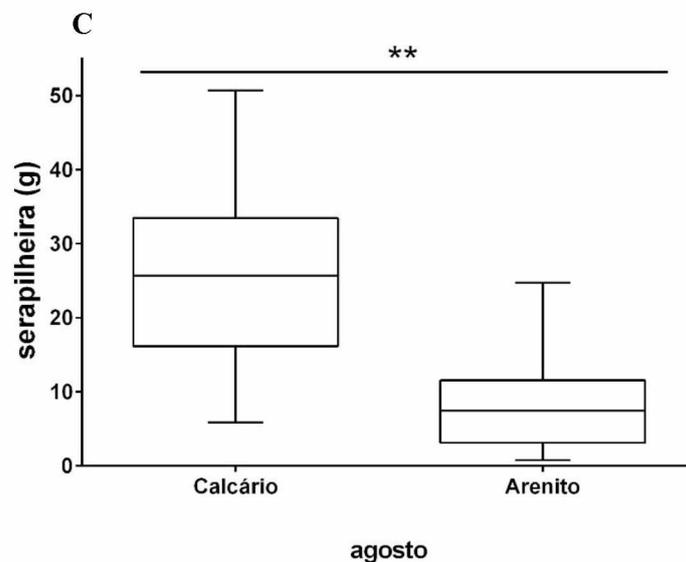


Figura 11 C: Massa seca de serapilheira produzida no “cerrado calcário” e no “cerrado arenítico.” Box plot: – indica mediana; colunas representam quartis (Q1 e Q3) e barras indicam valores extremos. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste Mann-Whitney, GL = 37, U = 17,00).

Considerando apenas as folhas, houve diferença significativa apenas em meses da estação seca – ocorrendo maior produção na área 1 em julho 2015, agosto e junho de 2016 (Figura 12 A, B).

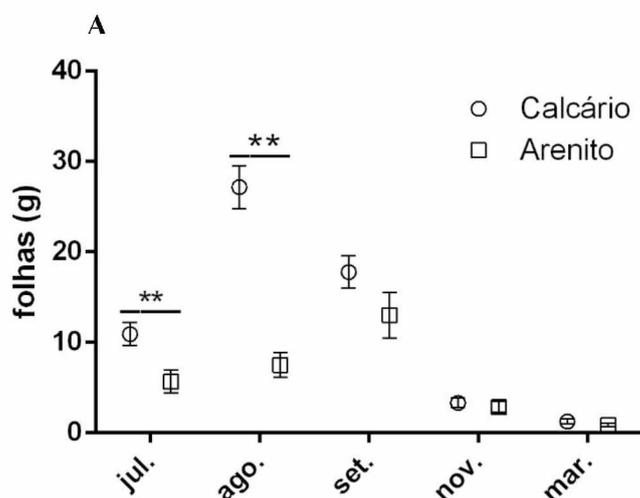


Figura 12 A: Massa seca de folhas produzida no “cerrado calcário” e no “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 3C1 do Material Suplementar, p. 81.

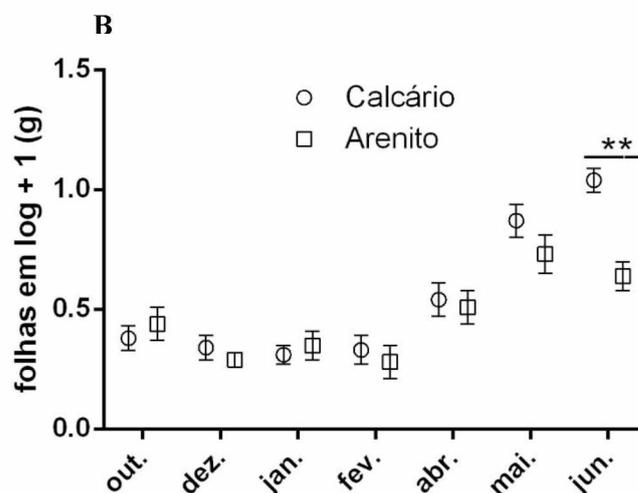


Figura 12 B: Massa seca de folhas ($\log X + 1$) produzida no “cerrado calcário” e no “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 4C1 do Material Suplementar, p. 82.

Para os demais componentes avaliados na serapilheira (gravetos e material reprodutivo), a produção média anual estimada também foi maior na área 1. A produção de gravetos correspondeu a 13% da serapilheira na área 1, sendo estimado em $591 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, enquanto a produção dos gravetos da serapilheira na área 2 correspondeu a 7%, sendo estimado em $175 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. A produção do material reprodutivo correspondeu a 5% da serapilheira na área 1, sendo estimado em $256 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, enquanto a produção do material reprodutivo da serapilheira na área 2 correspondeu a 8%, sendo estimado em $209 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. Em ambas as áreas, a produção de gravetos e de material reprodutivo ao longo do ano não apresentou padrão sazonal bem definido, apenas alguns aumentos isolados de produção de gravetos na área 1 com alta medida de dispersão dos dados (Figura 13).

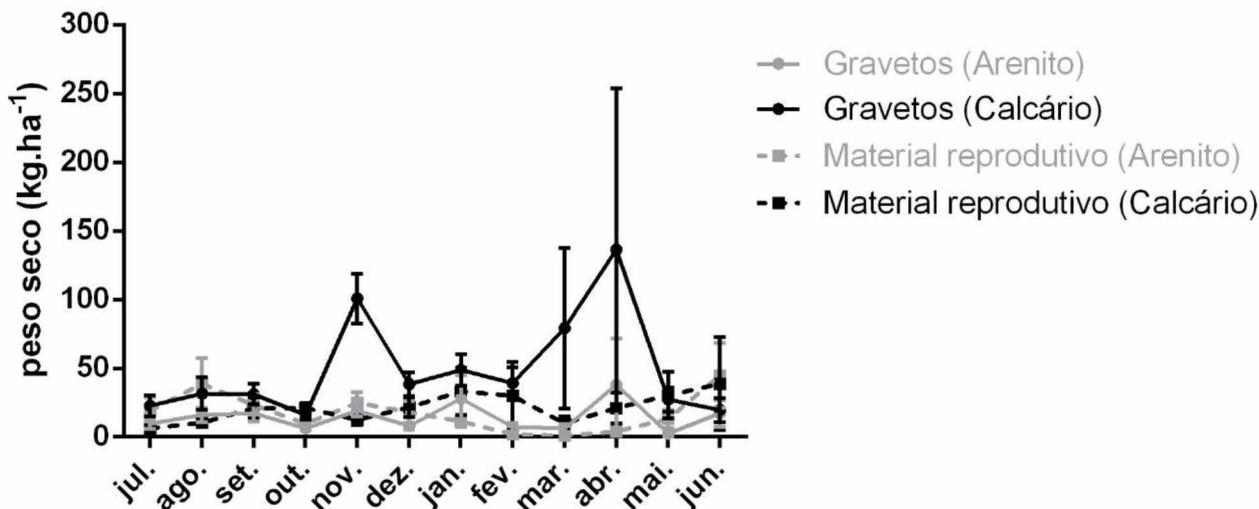


Figura 13: Produção mensal em hectare de gravetos e de material reprodutivo no “cerrado calcário” (área 1) e no “cerrado arenítico” (área 2) com $\bar{x} \pm EP$ entre julho/2015 e junho/2016.

3.3. Influências climáticas (precipitação e temperatura) na produção da serapilheira

Na área 1 não houve correlação entre a precipitação mensal e a produção mensal de serapilheira (Figura 14), mas houve correlação negativa entre a precipitação mensal e a produção mensal de folhas (Figura 15). Na área 1 a temperatura mensal se correlacionou negativamente tanto com a produção mensal de serapilheira (Figura 16), quanto com a produção mensal de folhas (Figura 17).

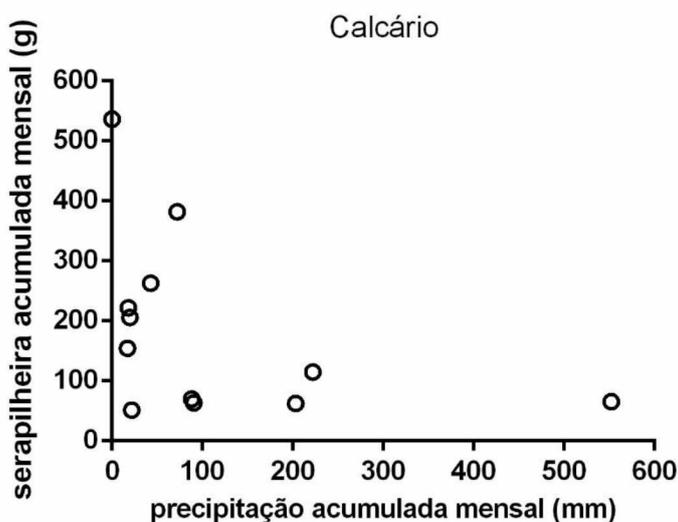


Figura 14: Análise de correlação entre a precipitação acumulada mensal e a produção acumulada mensal de serapilheira no “cerrado calcário” (Correlação de Spearman, $p = 0,06$, $GL = 12$, $r_s = -0,55$).

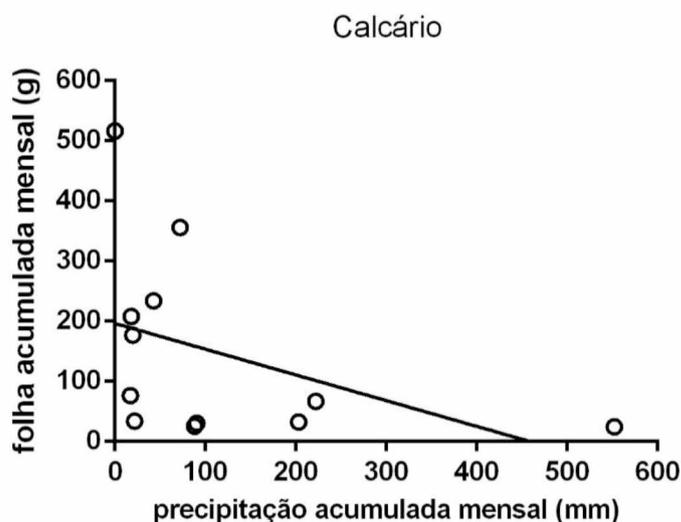


Figura 15: Análise de correlação entre a precipitação acumulada mensal e a produção acumulada mensal de folhas no “cerrado calcário” (Correlação de Spearman, $p = 0,01$, $GL = 12$, $r_s = -0,69$).

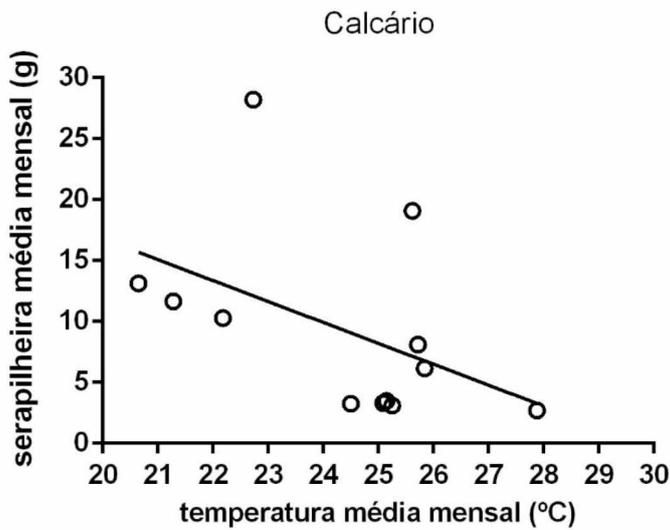


Figura 16: Análise de correlação entre a temperatura média mensal e a produção média mensal de serapilheira no “cerrado calcário” (Correlação de Spearman, $p = 0,02$, $GL = 12$, $r_s = -0,65$).

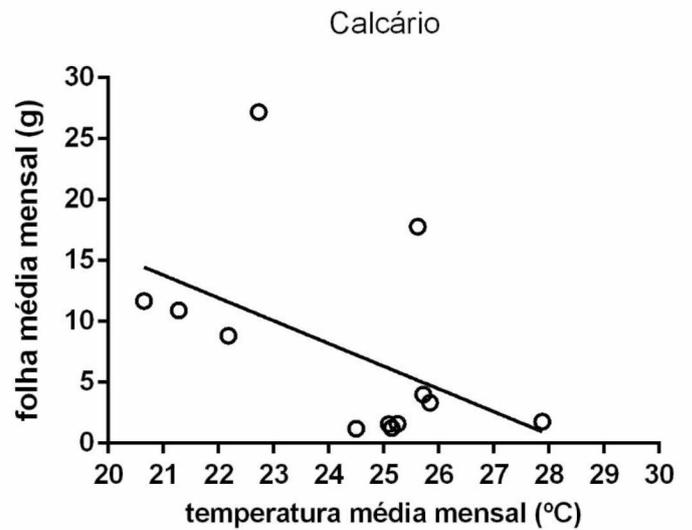


Figura 17: Análise de correlação entre a temperatura média mensal e a produção média mensal de folhas no “cerrado calcário” (Correlação de Spearman, $p = 0,04$, $GL = 12$, $r_s = -0,60$).

Na área 2 a precipitação mensal se correlacionou negativamente tanto com a produção mensal de serapilheira (Figura 18), quanto com a produção mensal de folhas (Figura 19). Na área 2 não houve correlação negativa entre a temperatura mensal e a produção mensal de serapilheira (Figura 20), mas não houve correlação entre a temperatura mensal e a produção mensal de folhas (Figura 21).

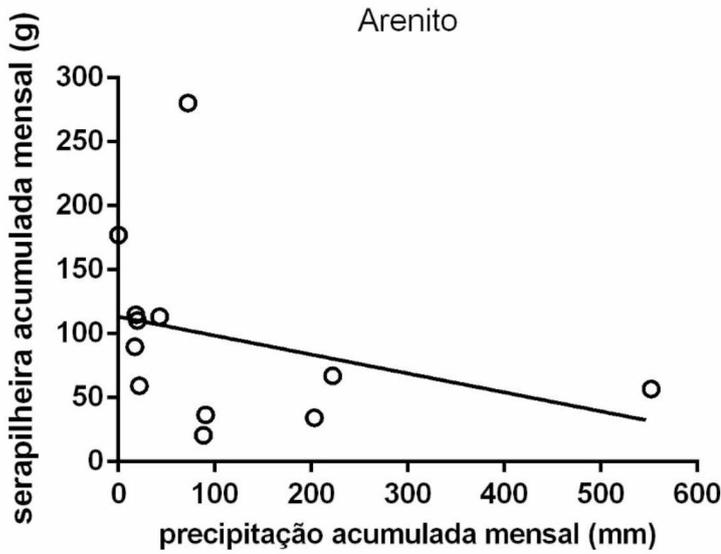


Figura 18: Análise de correlação entre a precipitação acumulada mensal e a produção acumulada mensal de serpillheira no “cerrado arenítico” (Correlação de Spearman, $p = 0,03$, $GL = 12$, $r_s = -0,61$).

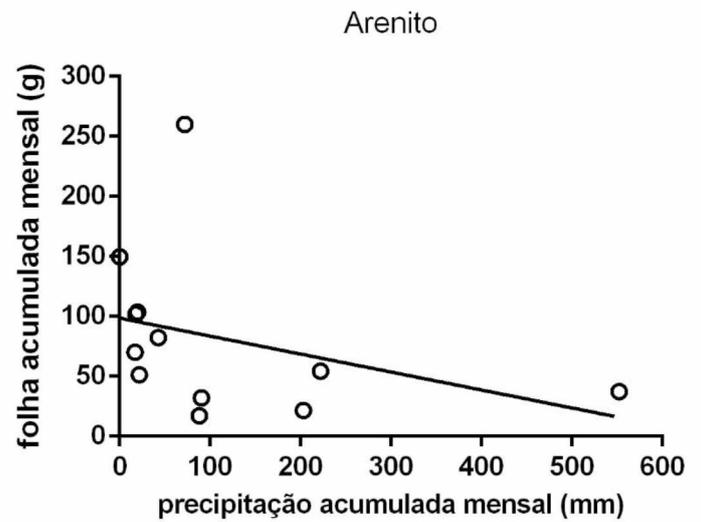


Figura 19: Análise de correlação entre a precipitação acumulada mensal e a produção acumulada mensal de folhas no “cerrado arenítico” (Correlação de Spearman, $p = 0,03$, $GL = 12$, $r_s = -0,62$).

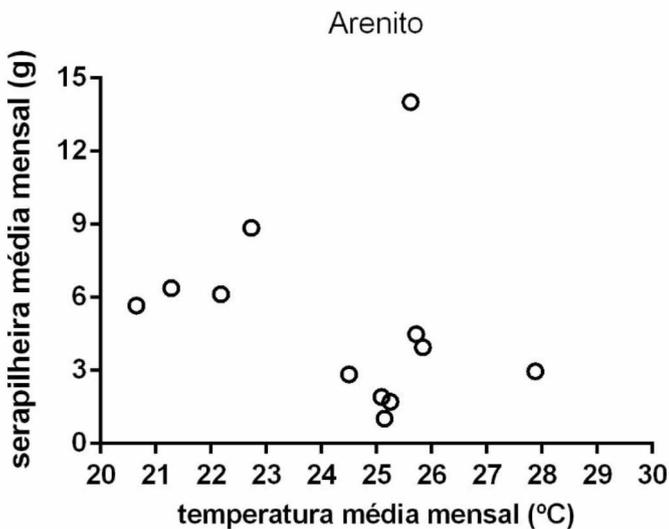


Figura 20: Análise de correlação entre a temperatura média mensal e a produção média mensal de serpillheira no “cerrado arenítico” (Correlação de Spearman, $p = 0,08$, $GL = 12$, $r_s = -0,51$).

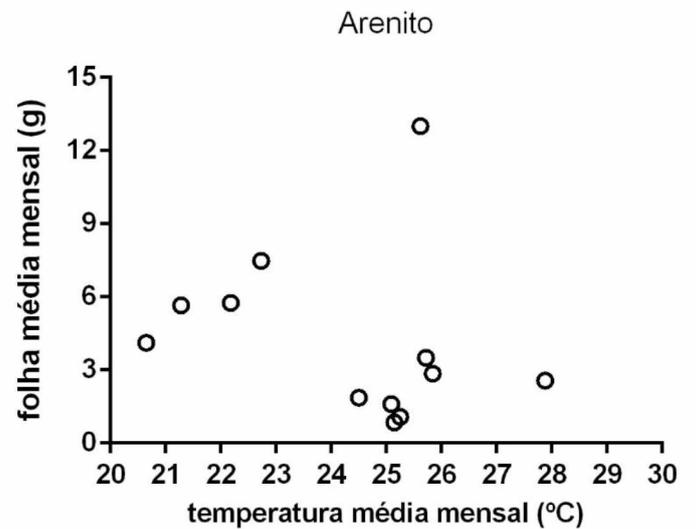


Figura 21: Análise de correlação entre a temperatura média mensal e a produção média mensal de folhas no “cerrado arenítico” (Correlação de Spearman, $p = 0,14$, $GL = 12$, $r_s = -0,45$).

3.4. Decomposição da serapilheira foliar

A decomposição das folhas na área 1 se mostrou mais eficiente do que na área 2 (Figura 22), o que foi confirmado pela taxa de decomposição (k) maior e pela meia-vida ($T_{1/2}$) menor na primeira (Tabela 1). Na diferença de meia-vida da decomposição foliar entre as áreas, foi estimado 82,5 dias a menos para a área 1, ou seja, uma decomposição de 2,5 a 3 meses mais rápida (Tabela 1).

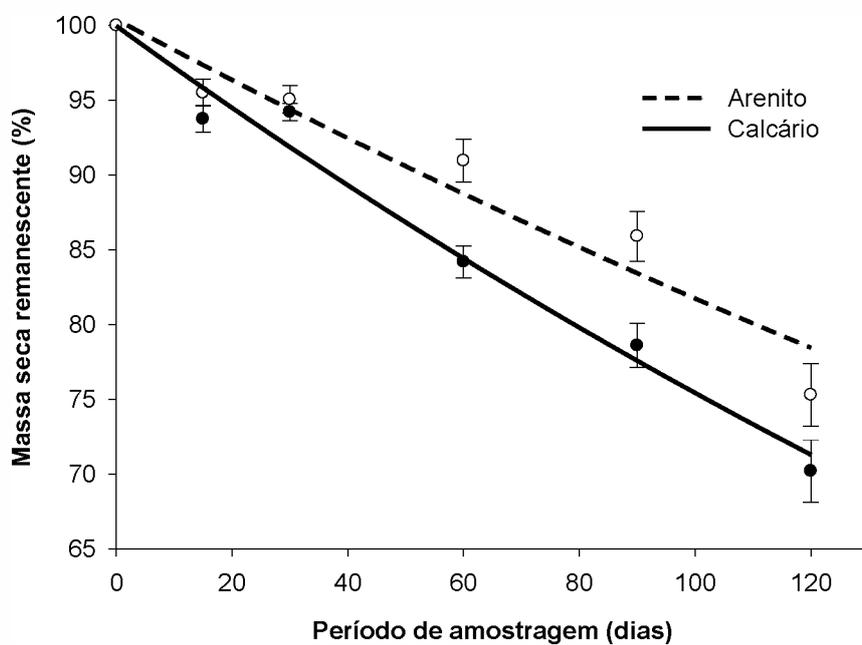


Figura 22: Decomposição das folhas no “cerrado calcário” e no “cerrado arenítico” com $\bar{x} \pm EP$.

Tabela 1: Taxa de decomposição constante (k), meia-vida ($T_{1/2}$) e coeficiente de determinação (r^2) da análise de regressão com as folhas do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico”.

Cerrado	Material remanescente		
	K	$T_{1/2}$	r^2
	$g \cdot g^{-1}$	dias	
Calcário	0,0028	247,5	0,99**
Arenito	0,0021	330	0,97**

** Indicam diferenças significativas a $\alpha < 0,01$ para o decaimento do peso seco no tempo avaliado.

4. Discussão

Nós demonstramos experimentalmente que o “cerrado calcário” (área 1) e o “cerrado arenítico” (área 2) diferem em termos edáficos e na eficiência de produção e de decomposição da serapilheira. Tais diferenças são refletidas nos teores dos atributos químicos do solo e nas massas secas. Em geral, a área 1 também apresenta alta retenção de nutrientes no solo e alta produtividade, quando comparada a outras áreas de cerrado *sensu stricto* e florestas estacionais decíduas.

4.1. Fertilidade do solo

Considerando o critério da EMBRAPA (2006) de que solo com pH abaixo de 6,6 é ácido, os Neossolos de ambos os cerrados se caracterizaram ácidos, condição similar ao que normalmente é descrito para os predominantes Latossolos do Cerrado (Furley e Ratter 1988; Haridasan 2008). O calcário na área 1 reduziu significativamente a acidez em relação à área 2; tal efeito já foi observado por Goodland (1971) no cerrado típico e, mesmo na agricultura, a aplicação de calcário no solo visando a redução da acidez é comum (Silva e Lemos 2008). É conhecido que pH maior reduz o alumínio (Al) permutável no solo e aumenta a disponibilibade de nutrientes (Allen 1964). Em geral, os solos de diferentes fitofisionomias do Cerrado contêm alta saturação de alumínio (Haridasan 1988; Reatto et al. 2008; Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2006), cujo efeito tóxico conhecido é precipitar nutrientes que estariam disponíveis para

a vegetação (Goodland 1971; Araújo e Haridasan 1988). Comparando as duas áreas de estudo, o calcário na área 1 não só elevou o pH, como conseqüentemente, reduziu o Al a níveis muito baixos e aumentou a disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, de modo que o solo da área 1 pôde ser caracterizado como eutrófico e o solo da área 2 como distrófico, conforme os valores médios de saturação por bases (%V) obtidos e os critérios da EMBRAPA (2006).

A característica aluminotóxica do solo é considerada uma das principais causas da deficiência mineral no Cerrado (Goodland 1971; Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2006), o que contribui para uma menor produtividade (Haridasan 2000). Relacionado a isso, observamos que a área 1, sem Al extraível e com maior retenção de nutrientes no solo, apresentou maior acúmulo de matéria orgânica. Essa relação entre baixo teor de Al, alta capacidade de troca catiônica e alto acúmulo de matéria orgânica também já foi observada em floresta de galeria dentro do Cerrado por Moreno e Schiavini (2001). Outro fator relativo à alta saturação de Al, é sua contribuição para o escleromorfismo das plantas do Cerrado, conforme proposto por Goodland (1971). Essa hipótese pode ser ressaltada pela área 1 que não apresentou Al extraível, mas também possui uma fisionomia que pode ser definida como cerrado *sensu stricto*, onde é comum o escleromorfismo em plantas lenhosas (Furley e Ratter 1988). Ao mesmo tempo, a diferença edáfica entre as áreas é refletida, aparentemente, em diferenças florísticas. Por exemplo, o levantamento fitossociológico em curso nas mesmas registrou a ocorrência de *Miconia albicans* (Sw.) Steud. e de *Vochysia rufa* Mart exclusivamente na área 2 corroborando com a informação de Haridasan (1988) sobre essas espécies não crescerem em solos calcários (Haridasan 2008) e serem acumuladoras de Al, precisando desse elemento químico para poderem sobreviver (Haridasan et al. 1986).

A área 1 apresentou valores médios maiores em todos os atributos químicos do solo, quando comparado com áreas de cerrado *sensu stricto* sobre Latossolos e com uma área de floresta decídua sobre Neossolo Eutrófico Basáltico (Tabela 2). Tais diferenças podem ser explicadas por nenhuma dessas outras áreas sofrer influência do calcário e, segundo Reatto et al. (2008), solos jovens com calcário em relevos acidentados (área 1) tendem a ser diferenciadamente ricos em bases. Ademais, tal fato de nossas áreas de estudo, fisionomias savânicas de cerrado, conterem mais nutrientes do que uma floresta decídua eutrófica, refuta a afirmação de Bond (2010), sobre solos de savanas, de não conterem nutrientes suficientes para sustentar uma alta biomassa arbórea típica de florestas. A maioria dos atributos químicos edáficos de uma área com fisionomia e tipo

de solo similares à área 1, e na mesma região (Franco 2013), também apresentaria teores maiores em relação aos cerrados sobre Latossolos e a floresta decídua eutrófica (Tabela 2), valendo-se como uma réplica com as mesmas explicações.

Tabela 2: Atributos químicos edáficos nas duas áreas do presente estudo e em outras áreas de cerrado *sensu stricto* (s.s.) e de floresta estacional decídua (e.d.).

Referência	Vegetação	Solo	P mg.dm ⁻³	K cmolc.dm ⁻³	Ca cmolc.dm ⁻³	Mg cmolc.dm ⁻³	M.O. dag.kg ⁻¹	pH H ₂ O
Franco 2013	cerrado s.s.	Neossolo Calcário	4,75	0,29	3,75	2,15	3,45	6,30
Rossatto et al. 2015	savana (cerrado s.s.)	Latossolo Vermelho	0,46	0,30	0,11	0,06	1,20	4,67
Rossatto et al. 2015	floresta e.d.	Neossolo Calcário	2,14	0,43	14,65	5,86	5,80	6,64
Valadão et al. 2016	cerrado s.s.	Latossolo Vermelho	-	0,07	0,03	0,20	1,23	4,86
Viera et al. 2010	floresta e.d.	Neossolo Eutrófico Basáltico	2,20	0,13	4,70	2,00	-	5,5
Presente estudo	cerrado s.s.	Neossolo Calcário	3,01	0,36	5,71	2,16	6,52	6,29
Presente estudo	cerrado s.s.	Neossolo Arenítico	0,53	0,15	0,88	0,61	2,71	5,17

No entanto, uma floresta decídua sobre o mesmo tipo edáfico da área 1 (Neossolo Calcário), apresentou teores superiores para a maioria dos atributos químicos, em comparação com a área 1 (Tabela 2). Tais diferenças podem decorrer dos afloramentos rochosos calcários dessa floresta ainda serem muito desenvolvidos e formarem extensos e espessos blocos ao longo da área (Rossatto et al. 2015).

A área 2, por sua vez, com sua condição distrófica, apresentou, para análises químicas edáficas, valores médios intermediários entre as áreas de cerrado *sensu stricto* distróficas (Latossolos) e as florestas decíduas eutróficas (Tabela 2). O maior conteúdo de macronutrientes da área 2 em relação aos cerrados em Latossolos pode ter como uma das influências a diferença de drenagem da água em solos menos ou mais desenvolvidos. Pelo menos em comparações de fertilidade edáfica entre florestas atlânticas, Guilherme et al. (2012) sugeriram que solos jovens e rasos são geralmente menos lixiviados e menos ácidos do que solos profundos, o que pode também influir na maior disponibilidade de nutrientes. Ademais, como as duas áreas são contíguas, é possível que a área 2 sofra uma influência não preponderante, mas pequena influência

de calcário em alguns pontos isolados, contribuindo para maiores teores de nutrientes na área 2 em relação a cerrados sobre Latossolos.

4.2. Produção da serapilheira

Em nível anual, a produção de serapilheira e de folhas na área 1 correspondeu aproximadamente ao dobro da produção na área 2, o que deve decorrer das diferenças de fertilidade edáfica entre as áreas (eutrófica x distrófica). Atribuímos tais diferenças à influência do calcário na área 1, o qual eleva o pH e a capacidade de troca catiônica na solução edáfica (Vitti et al. 2015), tornando os nutrientes mais acessíveis às raízes, podendo aumentar a produtividade (Haridasan 2000). Além disso, a rocha calcária é rica em Ca, que é considerado um dos nutrientes mais importantes para o acúmulo de biomassa (Rossatto et al. 2015) que, por sua vez, reflete na serapilheira acumulada. Uma vez que a área 1 é um cerrado *sensu stricto* aparentemente mais denso do que o da área 2, as diferenças na produção de serapilheira encontradas são similares aos achados de Valenti et al. (2008) sobre um aumento da serapilheira de fisionomias abertas para fechadas de cerrado. Uma vez que na área 1 há maior disponibilidade de nutrientes no sistema, a comunidade vegetal dessa área não necessita economizar ou reter nutrientes nas folhas, podendo conter um maior número de espécies decíduas na estação seca, quando comparado à área 2. Tal afirmação poderá ser confirmada ao término do levantamento fitossociológico nas áreas, mas já reconhecemos o padrão fenológico decíduo como dominante entre as plantas da área 1 durante os meses secos (observação *in loco*, Figura 1C1 do Material Suplementar, p. 83).

Metade da produção de serapilheira e de folhas em ambas as áreas se concentrou na estação seca (julho a setembro). A sincronia da variação estacional entre serapilheira e folhas decorre destas serem o principal componente da serapilheira e apresentarem respostas eminentes às condições climáticas (Bray e Gorham 1964). A concentração sazonal em meses secos pode ser uma estratégia adaptativa das plantas ao déficit hídrico, já que a queda das folhas reduz a perda de água por transpiração (Martins e Rodrigues 1999). O mesmo padrão sazonal de produção de serapilheira e/ou de folhas foi observado em estudos em cerrado *sensu stricto* (Nardoto et al. 2006; Kozovits et al. 2007; Silva et al. 2007; Valenti et al. 2008) e em um estudo em floresta decídua (König et al. 2002). Os picos da produção de serapilheira e de folhas na área 1 e na área 2 foram próximos: em agosto no primeiro e em setembro no segundo e tais meses com resposta

máxima em queda foliar foram similares a outros estudos em áreas de cerrado *sensu stricto*, como o de Mantovani e Martins (1988), com pico na transição agosto-setembro e, o de Villalobos-Vega et al. (2011) com pico em setembro.

A despeito do padrão sazonal similar entre as duas áreas, as diferenças na fertilidade do solo entre elas provavelmente moldaram diferenças na proporção da produção de serapilheira e de folhas. A condição eutrófica do “cerrado calcário” refletiu em produção significativamente maior de serapilheira em diversos meses do ano, independente da estação. Já considerando apenas as folhas da serapilheira, a fertilidade maior da área 1 modulou uma produção significativamente superior apenas nos meses secos. Tal diferença pode decorrer das comunidades vegetais de cerrado típico tenderem a diminuir suas diferenças fenológicas durante os meses chuvosos (Araújo e Haridasan 2007), enquanto que na estação seca, a área 1 pode manter mais espécies e indivíduos com queda foliar como resposta ao déficit hídrico.

Com exceção da área de cerrado estudada por Valenti et al. (2008), que foi a mais produtiva, a comparação da produção de serapilheira e de folhas entre a área 1 e outras áreas de cerrado *sensu stricto* sobre Latossolos ou Neossolos, demonstra que o calcário normalmente tem efeito estimulador na produtividade do cerrado (Tabela 3). Além disso, pelo menos em nível anual, tais diferenças comuns na biomassa vegetal seca entre a área 1 (eutrófica) e os demais cerrados corroboram com a hipótese de van Schaik et al. (1993), que concerne a comunidades vegetais sobre solos com baixa fertilidade reterem as folhas por mais tempo do que comunidades vegetais sobre solos com alta fertilidade. Tal estratégia das plantas também pode representar uma reabsorção ou uma economia de nutrientes mais eficientes em ambientes onde esses recursos são mais caros, ou seja, em solos distróficos; mas isso permanece para maiores investigações. Uma área com fisionomia e tipo de solo similares à área 1, e na mesma região (Franco 2013), também apresentou níveis maiores de produção de folhas e de serapilheira em relação às mesmas áreas de cerrado *sensu stricto* sobre Latossolos ou Neossolos (Tabela 3). Tal produção da área de Franco (2013) também foi intermediária entre as áreas 1 e 2 do presente estudo (Tabela 3), podendo ser resultado de alguma similaridade florística entre as áreas, uma vez que o estudo de Franco (2013) foi desenvolvido na mesma serra e aproximadamente 70% de sua composição florística pertence a cerrado (Castellan 2015). O grau de similaridade florística e estrutural poderá ser definido ao término do levantamento fitossociológico conduzido pelo LABOT nas áreas 1 e 2. Já com relação a área 2, que possui o mesmo caráter distrófico das demais

áreas, a produção de serapilheira e de folhas foi variável, sendo tanto maior, similar ou menor do que as outras áreas sobre Latossolos ou Neossolos (Tabela 3).

A indefinição de um padrão sazonal na produção de gravetos em ambas as áreas já foi observada por outro estudo em cerrado *sensu stricto* (Valenti et al. 2008). Com relação a essa resposta, Siqueira et al. (2016) associaram a queda de gravetos no cerradão durante a estação chuvosa à influência mecânica das chuvas de verão, ao passo que, Rossatto e Franco (2008) identificaram maior mortalidade de gravetos entre espécies de cerrado *sensu stricto* durante a estação seca. A produção de material reprodutivo (flores e frutos secos) também não apresentou padrão sazonal bem definido nas áreas, assim como em outro cerrado *sensu stricto* (Valenti et al. 2008). As espécies lenhosas do cerrado podem ter contribuído para tal indefinição, uma vez que elas apresentam períodos de floração e frutificação distribuídos ao longo do ano (Mantovani e Martins 1988). Oliveira (2008) acrescenta que a floração no cerrado pode ocorrer no início da estação seca (precoce), no final da estação chuvosa (retardada) ou, isoladamente, durante a estação seca (tardia). A alta variação na produção dos frutos secos nas áreas também pode ser explicada por diferentes estratégias reprodutivas presentes no cerrado. Por exemplo, espécies anemocóricas e autocóricas frutificam principalmente na estação seca, enquanto espécies zoocóricas frutificam principalmente na estação chuvosa (Batalha e Mantovani 2000; Batalha e Martins 2004).

Tabela 3: Produção de serapilheira e de folhas nas duas áreas do presente estudo e em outras áreas de cerrado *sensu stricto* (s.s.).

Referência	Vegetação	Solo	serapilheira total	folhas
Franco 2013*	cerrado s.s.	Neossolo Calcário	3650 kg.ha/ano	2370 kg.ha/ano
Kozovits et al. 2007*	cerrado s.s.	Latossolo Vermelho	1510 kg.ha/ano	-
Paiva et al. 2015*	cerrado s.s.	Latossolo Vermelho	3500 kg.ha/ano	-
		Latossolo Vermelho-Amarelo com		
Silva et al. 2007*	cerrado s.s.	Neossolo Arenítico	622 kg.ha/ano	267 kg.ha/ano
Valadão et al. 2016*	cerrado s.s.	Latossolo Vermelho	335 kg.ha/ano	300 kg.ha/ano
Valenti et al. 2008*	cerrado s.s.	Latossolo Vermelho	5600 kg.ha/ano	3980 kg.ha/ano
Villalobos-Vega et al. 2011*	cerrado s.s.	Latossolo Vermelho	-	2694 kg.ha/ano
Presente estudo	cerrado s.s.	Neossolo Calcário	4485 kg.ha/ano ou 373 kg.ha/mês	3647 kg.ha/ano
Presente estudo	cerrado s.s.	Neossolo Arenítico	2382 kg.ha/ano ou 198 kg.ha/mês	2014 kg.ha/ano
Campos et al. 2008**	cerrado s.s.	Neossolo Arenítico e Basáltico	857 kg.ha/ano	342 kg.ha/ano
Nardoto et al. 2006**	cerrado s.s.	Latossolo Vermelho	2300 kg.ha/ano	1.750 kg.ha/ano
Peres et al. 1983**	cerrado s.s.	Latossolo Vermelho	2093 kg.ha/ano	-
Schiavini 1983**	cerrado s.s.	Latossolo Vermelho	2415 kg.ha/ano	2.053 kg.ha/ano
Presente estudo	cerrado s.s.	Neossolo Calcário	4502 kg.ha/ano	3.647 kg.ha/ano
Presente estudo	cerrado s.s.	Neossolo Arenítico	2395 kg.ha/ano	2.014 kg.ha/ano

* Estudos que adotaram a média mensal de massa seca por área padrão do coletor para estimar a produção; ** estudos que adotaram o valor acumulado mensal (somatório) de massa seca por área total amostrada dos coletores para estimar a produção. Neossolo corresponde a Entissolo e Latossolo corresponde a Oxissolo na classificação americana (USDA 1999).

4.3. Relação da produção de serapilheira (e folhas) com sazonalidade climática

Na área 1, apesar da produção de serapilheira ter se concentrado em meses considerados secos (Bustamante et al. 2012), não houve correlação entre a precipitação mensal e a produção mensal de serapilheira, reforçando a influência do efeito adicional da produção irregular dos demais componentes. Por outro lado, na área 2 a presença da correlação negativa significativa entre a precipitação mensal e a produção mensal de serapilheira pode decorrer do efeito adicional dos gravetos ser menor, uma vez que essa área tem, aparentemente, menor densidade de espécies lenhosas ou, possivelmente, por características fitosociológicas particulares dessa área. Considerando apenas o componente foliar, a correlação negativa significativa observada entre a precipitação mensal e a produção mensal de folhas tanto na área 1, quanto na área 2 pode ser explicada pelos solos serem jovens e pouco profundos, dificultando, provavelmente, a retenção hídrica (Reatto et al. 2008) e, também, pela possível resposta das plantas ao déficit hídrico, já que, com menos folhas, perde-se menos água por transpiração (Silva et al. 2007). Tal estratégia pode ocorrer mesmo em formações mais densas do Cerrado, uma vez que já foi registrada correlação negativa entre precipitação e folhas em áreas de cerradão (Cianciaruso et al. 2006; Siqueira et al. 2016).

À medida que a temperatura mensal aumentou, a produção de serapilheira e de folhas na área 1 diminuiu. Tal correlação negativa significativa já foi observada em outras áreas de cerrado *sensu stricto* (Silva et al. 2007; Campos et al. 2008) e de cerradão (Cianciaruso et al. 2006; Siqueira et al. 2016). Esse padrão pode indicar uma resposta da vegetação do Cerrado a períodos com temperatura elevada (Cianciaruso et al. 2006), nos quais a umidade do ar pode evaporar facilmente e estimular a queda foliar como economia de água. Entretanto, a variação da temperatura não se correlacionou com a produção de serapilheira e de folhas na área 2, possivelmente como consequência de particularidades florísticas e fenológicas dessa área. Por exemplo, Lenza e Klink (2006) caracterizaram proporções similares entre espécies decíduas, brevidecíduas e sempre-verdes em um *cerrado sensu stricto*, o que pode favorecer a não identificação de correlações com variáveis climáticas.

4.4. Decomposição da serapilheira foliar

A massa seca foliar em ambas as áreas decaiu significativamente ao longo dos meses de decomposição avaliados. Tal significância está em consonância com a afirmação de Villalobos-Vega et al. (2011) sobre o decaimento da massa serapilheira exponencial ao longo do tempo. A decomposição na área 1 se mostrou mais eficiente do que na área 2, provavelmente em decorrência do maior conteúdo de nutrientes na serapilheira foliar para a atividade dos decompositores, proporcionada pela elevação do pH sob influência do calcário. Tal diferença na qualidade química da serapilheira foliar pode ser refletida a partir dos ínfimos níveis de alumínio e com os maiores níveis de pH e de nutrientes (P, K, Ca e Mg) no solo do “cerrado calcário”. Quanto menor é a qualidade nutritiva do material vegetal, maior é o tempo de decomposição (Dahlgren et al. 2003; Moretti et al. 2007), pois os nutrientes, como o P, são fonte alimentar para detritívoros e decompositores (Freitas et al. 2012). Apesar do N edáfico não ter sido mensurado nas áreas de estudo, a sua quantidade representa um bom preditor da velocidade de decomposição, pois ele é outro nutriente que serve como fonte alimentar e é liberado rapidamente em solos calcários (Larcher 2000). Adicionalmente, experimentos com adição de N e P em solo de cerrado *sensu stricto* aceleraram a decomposição em 42% em relação ao grupo controle (Kozovits et al. 2007). Outro fator a ser investigado é se as folhas das plantas da área 1 possuem menos escleromorfismo e, subsequentemente, maior palatabilidade, em comparação com as da área 2, o que pode contribuir para explicar a maior velocidade de decomposição da área 1.

As comparações da taxa de decomposição (k) e da meia vida ($T^{1/2}$) com a maioria dos outros estudos em Cerrado foram inviabilizadas em decorrência de alguns avaliarem a decomposição em mais componentes da serapilheira juntos e, outros, avaliarem apenas em folhas de espécies ou famílias específicas mas, não, como no presente estudo em que foi avaliada a decomposição apenas no componente foliar e em nível de comunidade vegetal. No estudo de Kozovits et al. (2007) foi estimado 456,2 dias para o decaimento de metade da serapilheira foliar em decomposição, mas esse valor maior em relação às meias vida do presente estudo deve decorrer do tempo maior de avaliação (anual) e não apenas 120 dias como o presente estudo. Valenti et al. (2008) estimaram que 28% da serapilheira foliar é decomposta em um ano, sendo essa perda mais lenta do que a estimada para as áreas do presente estudo (30% na área 1 e 23% na área 2 em apenas 120 dias). Tais diferenças podem advir da qualidade nutritiva da

serapilheira foliar dessa área (Valenti et al. 2008) que pode ser menor, uma vez que são plantas de cerrado *sensu stricto* sobre Latossolo Vermelho, que é distrófico, álico e profundo.

4.5. Conclusões

A partir dos dados disponíveis e comparáveis entre o presente estudo e a literatura, concluímos que o cerrado *sensu stricto* sobre Neossolo calcário retém mais nutrientes, produz geralmente mais biomassa e tende a apresentar decomposibilidade mais acelerada em comparação ao cerrado *sensu stricto* sobre Neossolo arenítico e a outro cerrado *sensu stricto* sobre Latossolo distrófico. Além disso, concluímos que a influência do calcário no cerrado configura níveis de retenção edáfica de nutrientes intermediárias entre cerrados *sensu stricto* sobre Latossolos e florestas decíduas eutróficas do Brasil.

Referências

- Allen SE (1964) Chemical aspects of heather burning. *J Appl Ecol* 1:347-367. doi:10.2307/2401318
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2014) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Z* 22:711-728. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507
- Araújo GM, Haridasan M (1988) A comparison of the nutritional status of two forest communities on mesotrophic and dystrophic soils in central Brazil. *Commun Soil Sci Plant Anal* 19:1075-1089. doi:10.1080/00103628809367996
- Araújo JF, Haridasan M (2007) Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. *Braz J Bot* 30:533-542. doi:10.1590/S0100-84042007000300017
- Arens K (1958) O cerrado como vegetação oligotrófica. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras* 57:59-77. doi:10.11606/issn.2318-5988.v15i0p59-77
- Batalha MA, Mantovani W (2000) Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and wood floras. *Braz J Biol* 60:129-145. doi:10.1590/S0034-71082000000100016

- Batalha MA, Martins FR (2004) Reproductive phenology of the cerrado plant community in Emas National Park (central Brazil). *Aust J Bot* 52:149-161. doi:10.1071/BT03098
- Benedetti MM, Curi N, Sparovek G, Carvalho Filho A, Silva SHG (2011) Updated Brazilian's georeferenced soil database: an improvement for international scientific information exchanging. In: Gungor ROE (ed) *Principles, Application and Assessment in Soil Science*. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, pp 307-330
- Berg B, McClaugherty C (2008) *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*. Springer, Berlin
- Bond W (2010) Do nutrient-poor soils inhibit development of forests? A nutrient stock analysis. *Plant Soil* 334:47-60. doi:10.1007/s11104-010-0440-0
- Bray JR, Gorham E (1964) Litter Production in Forests of the World. *Adv Ecol Res* 2:101-157. doi:10.1016/S0065-2504(08)60331-1
- Bustamante MMC, Brito DQ, Kozovits AR, Luedemann G, Mello TRB, Pinto AS, Munhoz CBR, Takahashi FSC (2012) Effects of nutrient additions on plant biomass and diversity of the herbaceous-subshrub layer of a Brazilian savanna (Cerrado) *Plant Ecol* 213:795-808. doi:10.1007/s11258-012-0042-4
- Bustamante MMC, Nardoto GB, Pinto AS, Resende JCF, Takahashi FSC, Vieira LCG (2012) Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Braz J Biol* 72:655-671. doi:10.1590/S1519-69842012000400005
- Campos EH, Alves RR, Serato DS, Rodrigues GSSC, Rodrigues SC (2008) Acúmulo de serrapilheira em fragmentos de mata mesofítica e cerrado stricto sensu em Uberlândia-MG. *Sociedade & Natureza* 20:189-203. doi:10.1590/S1982-45132008000100013
- Cantarella H, Quaggio JA, Rajj B (2001) Determinação da matéria orgânica. In: Rajj B, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (eds) *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. IAC, Campinas, pp 189-199
- Carneiro MAC, Souza ED, Reis EF, Pereira HS, Azevedo WR (2009) Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R Bras Ci Solo* 33:147-157. doi:10.1590/S0100-06832009000100016

- Castellan BT (2015) Análise estrutural da comunidade arbustivo-arbórea de cerrado *sensu stricto* localizado em afloramento rochoso no Triângulo Mineiro. Monografia, Universidade Federal de Uberlândia
- Cianciaruso MV, Pires JSR, Delitti WBC, Silva EFLP (2006) Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. Acta Bot Bras 20:49-59. doi:10.1590/S0102-33062006000100006
- Dahlgren RA, Horwath WR, Tate KW, Camping TJ (2003) Blue oak enhance soil quality in California oak woodlands. Calif Agric 57:42-47. doi:10.3733/ca.v057n02p42
- Eiten G (1972) The Cerrado Vegetation of Brazil. Bot Rev 38:201-341. doi:10.1007/BF02859158
- EMBRAPA (2009) Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes, 2ª ed. Fundação EMBRAPA, Brasília, DF
- EMBRAPA (1997) Manual de métodos de análise de solo, 2ªed. Fundação EMBRAPA, Rio de Janeiro
- EMBRAPA (2006) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 2ª ed. Fundação EMBRAPA, Brasília, DF
- FAO (1998) World reference base for soil resources. World Soil Resources Report, FAO/ISRIC/ISSS, Rome
- Franco TM (2013) Produção e decomposição de serapilheira em remanescente de cerrado *sensu stricto*, localizado no município de Ituiutaba (MG). Monografia, Universidade Federal de Uberlândia
- Freitas JR, Cianciaruso MV, Batalha MA (2012) Functional diversity, soil features and community functioning: a test in a cerrado site. Braz J Biol 72:463-470. doi:10.1590/S1519-69842012000300008
- Furley PA (1999) The nature and diversity of neotropical savanna vegetation. Glob Ecol Biogeogr 8:223-241. doi:10.1046/j.1466-822X.1999.00142.x
- Furley PA, Ratter JA (1988) Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. J Biogeogr 15:97-108. doi:10.2307/2845050
- Goodland R (1971) Oligotrofismo e alumínio no cerrado. In: Ferri MG (ed) III Simpósio sobre o Cerrado. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, pp 44-60

- Gottsberger G, Silberbauer-Gottsberger I (2006) Life in the Cerrado: a South American Tropical Seasonal Vegetation. Origin, Structure, Dynamics and Plant Use. Reta Verlag, Ulm
- Guilherme FAG, Ferreira TO, Assis MA, Torrado PV, Morellato LPC (2012) Soil profile, relief features and their relation to structure and distribution of Brazilian Atlantic rain forest trees. *Sci Agric* 69:61-69. doi:10.1590/S0103-90162012000100009
- Haridasan M (2000) Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. *Rev Bras Fisiol Veg* 12:54-64
- Haridasan M (2008) Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Braz J Plant Physiol* 20:183-195. doi:10.1590/S1677-04202008000300003
- Haridasan M (1988) Performance of *Miconia albicans* (Sw.) Triana, an aluminium accumulating species in acidic and calcareous soils. *Commun Soil Sci Plant Anal* 19:1091-1103. doi:10.1080/00103628809367997
- Haridasan M, Paviani TI, Schiavini I (1986) Localization of aluminium in the leaves of some aluminium-accumulating species. *Plant Soil* 94:435-437. doi:10.1007/BF02374336
- IBGE (2012) Manual Técnico da Vegetação Brasileira. IBGE (Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais), Rio de Janeiro
- IBGE (1995) Manual técnico de geomorfologia. Fundação IBGE, Rio de Janeiro
- IBGE (2007) Manual técnico de pedologia. Fundação IBGE, Rio de Janeiro
- IBGE (2001) Mapa de solos do Brasil. Escala 1:5.000.000. Fundação IBGE, Rio de Janeiro
- König FG, Schumacher MV, Brun EJ, Seling I (2002) Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa floresta estacional decidual no município de Santa Maria-RS. *Rev Árvore* 26:429-435. doi:10.1590/S0100-67622002000400005
- Kozovits AR, Bustamante MMC, Garofalo CR, Bucci S, Franco AC, Goldstein G, Meinzer FC (2007) Nutrient resorption and patterns of litter production and decomposition in a Neotropical Savanna. *Funct Ecol* 21:1034-1043. doi:10.1111/j.1365-2435.2007.01325.x

- Laclau JP, Sama-Poumba W, Nzila JD, Bouillet JP, Ranger J (2002) Biomass and nutrient dynamics in a littoral savanna subjected to annual fires in Congo. *Acta Oecol* 23:41-50 doi:10.1016/S1146-609X(02)01132-3
- Larcher W (2000) *Ecofisiologia vegetal*. Rima, São Carlos
- Lenza E, Klink CA (2006) Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. *Braz J Bot* 29:627-638. doi:10.1590/S0100-84042006000400013
- Liu C, Westman CJ, Berg B, Kutsch W, Wang GZ, Man R, Ilvesniemi H (2004) Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia. *Global Ecol Biogeogr* 13:105-114. doi:10.1111/j.1466-882X.2004.00072.x
- Mantovani W, Martins FR (1988) Variações fenológicas das espécies do cerrado da Reserva Biológica de Moji Guaçu, Estado de São Paulo. *Braz J Bot* 11:101-112. doi:10.4025/actascibiolsci.v26i2.1631
- Martins SV, Rodrigues RR (1999) Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. *Braz J Bot* 22:405-412. doi:10.1590/S0100-84041999000300009
- Mason CF (1980) *Decomposição*. Universidade de São Paulo, São Paulo
- Moreno MIC, Schiavini I (2001) Relação entre vegetação e solo em um gradiente florestal na Estação Ecológica do Panga, Uberlândia (MG). *Braz J Bot* 24:537-544. doi:10.1590/S0100-84042001000500008
- Moretti MS, Gonçalves JF Jr, Callisto M. (2007) Leaf breakdown in two tropical streams: differences between single and mixed species packs. *Limnologica* 37:118-127. doi:10.1016/j.limno.2007.01.003
- Nardoto GB, Bustamante MMC, Pinto AS, Klink CA (2006) Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil and impacts of fire. *J Trop Ecol* 22:191-201. doi:10.1017/S0266467405002865
- Oliveira PEAM (2008) Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de Cerrado. In: Sano SM, Almeida SP, Ribeiro JF (eds) *Cerrado: ecologia e flora*. Embrapa Cerrados, Brasília, pp 273-290
- Paiva AO, Silva LCR, Haridasan M (2015) Productivity-efficiency tradeoffs in tropical gallery forest-savanna transitions: linking Plant Soil processes through litter input and composition. *Plant Ecol* 216:775-787. doi:10.1007/s11258-015-0466-8

- Paul EA, Clark FE (1996) Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: Paul EA, Clark FE (eds) Soil microbiology and biochemistry, 2^aed. Academic Press, San Diego, pp 158-179
- Peña-Peña K, Irmiler U (2016) Moisture seasonality, soil fauna, litter quality and land use as drivers of decomposition in Cerrado soils in SE-Mato Grosso, Brazil. *Appl Soil Ecol* 107:124-133. doi:10.1016/j.apsoil.2016.05.007
- Peres JRR, Suhet AR, Vargas MAT, Drozdowicz A (1983) Litter production in areas of brazilian cerrados. *Pesqui Agropecu Bras* 18:1037-1043
- Proctor J (1983) Tropical forest litterfall. I. Problems of data comparison. In: Sutton SL, Whitmore TC, Chadwick AC (eds) Tropical rain forest: ecology and management. Blackweel, Oxford, pp 267-273
- Raij B, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. IAC, Campinas
- Reatto A, Correia JR, Spera ST (2008) Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: Sano SM, Almeida SP (eds) Cerrado: ambiente e flora. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, pp 47-86
- Rossatto DR, Carvalho FA, Haridasan M (2015) Soil and leaf nutrient content of tree species support deciduous forests on limestone outcrops as a eutrophic ecosystem. *Acta Bot Bras* 29: 231-238. doi:0.1590/0102-33062014abb0039
- Rossatto DR, Franco AC (2008) Expansão e mortalidade de ramos em espécies arbóreas do cerrado *sensu stricto*. *Braz J Bot* 31:715-719. doi:10.1590/S0100-84042008000400016
- Ruggiero PGC, Batalha MA, Pivello VR, Meirelles ST (2002) Soil-vegetation relationships in cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous Forest, southeastern Brazil. *Plant Ecol* 160:1-16. doi:10.1023/A:1015819219386
- Schiavini I (1983) Alguns aspectos da ciclagem de nutrientes em uma área de cerrado (Brasília, DF): chuva, produção e decomposição de liter. Dissertação, Universidade de Brasília
- Seastadt TR (1984) The role of microarthropods in decomposition and mineralisation process. *Annu Rev Entomol* 29:25-46. doi:10.1146/annurev.en.29.010184.000325
- Silva CJ, Sanches L, Bleich ME, Lobo FA, Nogueira JS (2007) Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-

- Oeste Brasileiro. *Acta Amaz* 37:543-548. doi:10.1590/S0044-59672007000400009
- Silva TRB, Lemos LB (2008) Efeito da calagem superficial em plantio direto na concentração de cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais. *Rev Bras Ciênc Solo* 32:1199-1207. doi:10.1590/S0100-06832008000300028
- Siqueira TM, Pinheiro MHO, Silva DG, Franco TM (2016) Influências climáticas na produção de serapilheira em um cerrado em Prata - MG. *Biotemas* 29:7-15. doi:10.5007/2175-7925.2016v29n2p7
- USDA USDA - United States Department of Agriculture (1999) *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. USDA-NRCS-NSSC, Washington, D.C.
- Thomas RJ, Asakawa NM (1993) Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biol Biochem* 25:1351-1361. doi:10.1016/0038-0717(93)90050-L
- Valadão MBX, Junior BHM, Oliveira B, Lúcio NW, Souza MGR, Marimon BS (2016) Biomass hyperdynamics as a key modulator of forest self-maintenance in a dystrophic soil in the Amazonia-Cerrado transition. *Sci For* 44:475-485. doi:10.18671/scifor.v44n110.20
- Valenti MW, Cianciaruso MV, Batalha MA (2008) Seasonality of litterfall and leaf decomposition in a cerrado site. *Braz J Biol* 68:459-465. doi:10.1590/S1519-69842008000300002
- Van Schaik CP, Terborgh JW, Wright SJ (1993) The phenology of tropical forests: Adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annu Rev Ecol Syst* 24:353-377. doi:10.1146/annurev.es.24.110193.002033
- Viera M, Caldato SL, Rosa SF, Kanieski MR, Araldi DB, Santos SR, Schumacher MV (2010) Nutrientes na serapilheira em um fragmento de floresta estacional decidual, Itaara, RS. *Ci Fl* 20:611-619. doi:10.5902/198050982419
- Villalobos-Vega R, Goldstein G, Haridasan M, Franco AC, Miralles-Wilhelm F, Scholz FG, Bucci SJ (2011) Leaf litter manipulations alter soil physicochemical properties and tree growth in a Neotropical savanna. *Plant Soil* 346:385-397. doi:10.1007/s11104-011-0860-5
- Vitti GC, Otto R, Saviato J (2015) *Manejo do enxofre na agricultura*, nº 152. International Plant Nutrition Institute, Piracicaba

Williams-Linera G, Tolome J (1996) Litterfall, Temperate and Tropical Dominant Trees, and Climate in a Mexican Lower Montane Forest. *Biotropica* 28:649-656.
doi:10.2307/2389051

CAPÍTULO 2

Ciclagem de nutrientes entre solo e serapilheira foliar em cerrados sobre Neossolos eutrófico e distrófico

Resumo

Objetivos Nós avaliamos a ciclagem de nutrientes na serapilheira foliar produzida e decomposta em cerrados *sensu stricto* sobre dois Neossolos, um calcário e outro arenítico.

Métodos Nós instalamos três transectos com parcelas em cada cerrado, parte delas foi determinada aleatoriamente para caracterizar propriedades químicas do solo, para coletar e analisar quimicamente a serapilheira foliar acumulada mensalmente em coletores ao longo de um ano. Nas mesmas parcelas nós utilizamos bolsas de decomposição durante alguns meses para testar correlações entre perda de massa seca e liberação de nutrientes.

Resultados O cerrado calcário apresentou teores maiores de macronutrientes, maior pH e menor Al quando comparado ao cerrado arenítico. A produção anual estimada em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ dos nutrientes na serapilheira foliar foi maior no cerrado calcário. A produção de nutrientes foi significativamente maior em diferentes meses no cerrado calcário, exceto S e N. Em geral, a perda de massa seca não se correlacionou com a liberação de nutrientes.

Conclusões O cerrado *sensu stricto* sobre calcário retém mais nutrientes no solo, proporcionando maior qualidade química de serapilheira foliar, comparado a cerrados da mesma fisionomia sobre solos distróficos. A liberação de nutrientes nem sempre se relaciona com a perda de massa seca, independente da quantidade destes na serapilheira foliar.

Palavras-chave Cálcio • Carbonático • Ciclagem de nutrientes • Fertilidade do solo • Savana brasileira

1. Introdução

Nos últimos anos, algumas das indagações científicas mais relevantes relacionadas à ecologia de ecossistemas terrestres estão envolvidas com a compreensão da dinâmica de nutrientes entre os compartimentos compreendidos pela atmosfera, biomassa vegetacional e solo (D'Odorico e Porporato 2006; Sutherland et al. 2006). A liberação de nutrientes ocorre de diferentes formas, dependendo do tipo de serapilheira (Berg e McLaugherty 2008). Essa disponibilização de elementos químicos, especialmente de macronutrientes, como nitrogênio, enxofre e fósforo, é necessária para o sustento de cadeias tróficas (Moss 2010) e para o funcionamento ecossistêmico (Raffaelli e Frid 2010).

A maior fertilidade do solo pode ser refletida nas concentrações de nutrientes foliares em sistemas neotropicais (Rossatto et al. 2015) e, conseqüentemente, em uma serapilheira com maior qualidade química que estimula a atuação de microrganismos decompositores (Seastadt 1984). A savana brasileira, conhecida como cerrado *sensu stricto* (Paiva et al. 2015), ocorre predominantemente sobre solos profundos (Latosolos), distróficos e álicos (Eiten 1972; Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2006). Tais solos distróficos são condicionados pelas altas concentrações de alumínio (Goodland 1971; Larcher 2000; Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2006), pois o mesmo contribui para a redução do pH do solo, e os nutrientes em pH ácido se tornam menos solúveis e são precipitados (Eiten 1972).

Nossas observações de campo aliadas a análises químicas prévias indicaram a ocorrência de Neossolo com afloramento rochoso calcário em cerrado *sensu stricto*. Uma vez que a serapilheira é um compartimento que armazena nutrientes (Campos et al. 2008) e que as plantas extraem esses nutrientes principalmente do compartimento edáfico onde estão (Cianciaruso et al. 2006), espera-se que as concentrações de nutrientes no solo se reflitam, em algum grau, nas concentrações de nutrientes da serapilheira.

O calcário no solo eleva o pH e a capacidade de troca catiônica na solução edáfica (Vitti et al. 2015), tornando os nutrientes mais acessíveis às raízes, podendo, assim, aumentar a produtividade primária (Haridasan 2000). Uma maior fertilidade do solo também pode ser refletida em maiores concentrações de nutrientes na serapilheira foliar em sistemas neotropicais (Rossatto et al. 2015), possibilitando,

consequentemente, maior atuação de microrganismos decompositores (Seastadt 1984). Independente das possíveis diferenças na velocidade de decomposição causadas pela qualidade química da serapilheira, é esperado que a proporção da massa foliar decaia exponencialmente ao longo do tempo (Villalobos-Vega et al. 2011). A perda de massa (peso seco) das folhas, por sua vez, está relacionada diretamente à liberação de nutrientes das folhas a partir da ação dos decompositores (Berg e McClaugherty 2008).

Neste contexto, nós avaliamos a ciclagem de nutrientes na serapilheira produzida e decomposta, proveniente de cerrados *sensu stricto* sobre diferentes Neossolos, um calcário e outro arenítico, na mesma escala espaço-temporal.

2. Materiais e Métodos

2.1. Áreas de Estudo

Nós realizamos o estudo em dois remanescentes contíguos de cerrado *sensu stricto* localizados em uma serra dentro dos limites de Ituiutaba-MG (Figura 1). Tal serra abriga áreas de florestas estacionais ou cerradões em sua encosta, além de nascentes de riachos (observação *in loco*). O município de Ituiutaba-MG situa-se na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba e a classe edáfica predominante é Latossolo Vermelho (Martins e Costa 2014). A área total que abrange de um remanescente até outro é de aproximadamente 50 ha e situa-se no platô da serra (cuesta) (IBGE 1995). Na região de Ituiutaba-MG o clima é do tipo Aw, caracterizado como tropical com verão chuvoso e inverno seco (Alvares et al. 2014), e, o solo predominante é o Latossolo Vermelho distrófico (IBGE 2001).

Nas áreas de estudo há afloramentos rochosos dispersos que podem ser definidos como Neossolos (Benedetti et al. 2011; IBGE 2007), provenientes do Grupo Bauru - Formação Marília, sendo correspondentes aos Entissolos na classificação americana (USDA 1999) e aos Leptossolos pelo sistema de classificação internacional (FAO 1998). A partir de observações de campo (coloração, reação de efervescência ao ácido clorídrico diluído) realizadas por profissional especializado (Dra. Alice Bosco Santos), nós identificamos que o afloramento rochoso da área 1 apresenta predomínio da rocha

calcária de calcita, enquanto o afloramento rochoso da área 2 apresenta predomínio de arenito (rochas ilustradas na Introdução Geral). Sem sugerir uma classificação pedológica especializada e sim apenas para facilitar a comunicação, intitulamos de “cerrado calcário” o que possui Neossolo de calcário (área 1) e de “cerrado arenítico” o que possui Neossolo de arenito (área 2). A área 1 com altitude variando entre 680 e 700 m foi referenciada por um ponto de calcita sob as coordenadas 19°03’438’’ S e 49°26’422’’ O e, a área 2 com altitude variando entre 705 a 710 m foi referenciada por um ponto de arenito sob as coordenadas 19°03’633’’ S e 49°26’075’’ O.

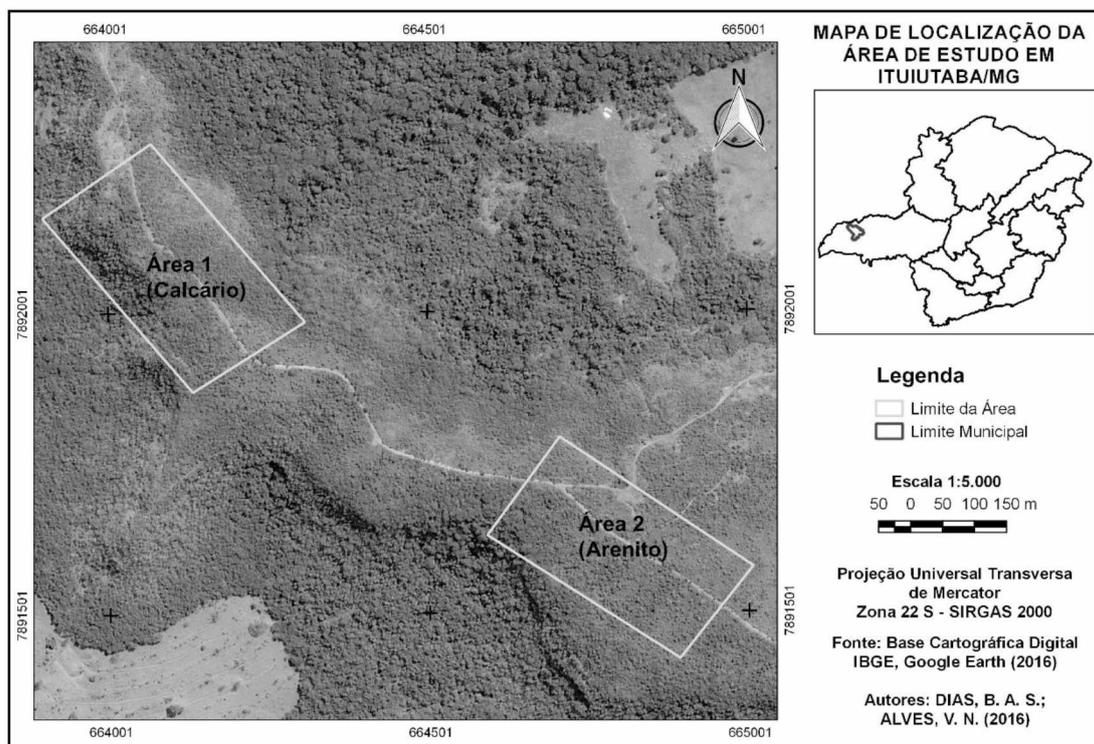


Figura 1: Mapa de localização das áreas de estudo - “cerrado calcário” (área 1) e “cerrado arenítico” (área 2).

Em ambas as áreas há um estrato herbáceo abundante e a comunidade arbustivo-arbórea apresenta espécies frequentes no cerrado, conforme levantamento fitosociológico em andamento pelo LABOT. Até o momento, na área 1 as espécies mais frequentes são *Callisthene fasciculata* Mart. (Vochysiaceae), *Luehea paniculata* Mart. (Malvaceae) e *Terminalia argentea* Mart. & Zucc (Combretaceae) e, na área 2, são *Miconia albicans* (Sw.) Steud. (Melastomataceae), *Ouratea hexasperma* (A. St.-Hil.) Baill (Ochnaceae) e *Roupala montana* Aubl. (Proteaceae). As duas áreas não formam dossel fechado, mas o adensamento do estrato arbustivo-arbóreo difere entre elas - a área 1 com influência de calcário é um cerrado *sensu stricto* denso (estrato arbóreo predominante), especialmente na transecção 1, e, a área 2 com influência de arenito, um cerrado *sensu stricto* típico (estrato arbustivo-arbóreo menos predominante) (vide Figuras da Introdução Geral).

2.2. Delineamento Experimental

Nós instalamos três transectos/área, e, ao longo de cada um, demarcamos 20 parcelas contíguas. Dentre as 60 parcelas por área (3 transectos = 60 parcelas), nós determinamos aleatoriamente 20 delas para coleta e caracterização química do solo. Dentro de cada uma dessas 20 parcelas, nós extraímos o solo de 15 pontos diferentes, determinados ao acaso, para formar uma amostra composta por parcela. Cada qual foi colocada em saco plástico individualizado, e devidamente etiquetado, para realizar as análises químicas no Laboratório de Análise de Solos (LABAS), do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Nas mesmas 20 parcelas sorteadas de cada área, nós distribuímos os coletores de serapilheira para avaliarmos a produção desta, sendo que 20 é um número suficiente para significância amostral (Proctor 1983). A fim de avaliar a decomposição da serapilheira nas duas áreas, nós determinamos aleatoriamente 10 das parcelas que continham coletores para distribuímos no solo as bolsas de decomposição, totalizando 100 bolsas/área.

Cada transecto possui 100 m de extensão distando, pelo menos, 50 m um do outro e, cada parcela dos transectos possui uma área de 10 m². Cada coletor distribuído em parcela possui uma área de 0,25 m² (50 cm x 50 cm) com telas de nylon de 2 mm que ficaram a 20 cm do solo. A serapilheira foliar produzida e acumulada foi retirada de

cada coletor mensalmente e, a serapilheira foliar em decomposição, foi retirada de 20 bolsas/área nos intervalos aproximados de 15, 30, 60, 90 e 120 dias durante a estação chuvosa (Bustamente et al. 2012). O material vegetal dos dois métodos foi colocado em sacos plásticos individualizados para triagem, secagem e pesagem no Laboratório de Botânica (LABOT) do curso de Biologia do *campus* Pontal da Faculdade de Ciências Integradas do Pontal (FACIP), da UFU. Objetivando quantificar a condição nutritiva da serapilheira produzida (acúmulo nos coletores) e decomposta (quantidade fixada nas bolsas) das duas áreas, nós realizamos análises químicas no LABAS.

2.3. Procedimentos específicos

2.3.1. Solo

Nós coletamos solo de 15 pontos/parcela à profundidade de 0,20 m e agitamos as camadas de solo de todos os pontos juntamente para homogeneizar em uma amostra composta por parcela. Como em cada área foram determinadas 20 parcelas para tal coleta, um total de 20 amostras de solo por área foi analisado no LABAS. O pH em água foi determinado na relação solo-líquido de 1:2,5. Os cátions trocáveis divalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e a acidez trocável (Al^{3+}), extraídos com solução de KCl 1 mol.L⁻¹ foram determinados por titulação. O potássio trocável foi determinado pelo método fotométrico diretamente no estrato do solo obtido com solução Melhich-1. O protocolo dessas análises encontra-se em EMBRAPA (1997) e em Raij et al. (2001). A matéria orgânica foi determinada pelo método colorimétrico a partir da solução de ácido sulfúrico 5 mol.L⁻¹ (Cantarella et al. 2001). O P foi determinado por espectrofotometria a partir da reação do molibdato com ácido ascórbico (EMBRAPA 2009). Adicionalmente, calculamos a saturação de bases (V%) de todas as amostras por $V\% = 100.S/T$, onde S = soma de bases e T = capacidade de troca de cátions a pH 7. Com os valores médios obtidos de saturação de bases (V%) para cada área, nós determinamos o caráter eutrófico ($\geq 50\%$) ou distrófico ($< 50\%$), conforme critérios da EMBRAPA (2006).

2.3.2. Conteúdo de macronutrientes na serapilheira foliar produzida e em decomposição

Para ambas as áreas, as folhas obtidas nas amostragens dos coletores de serapilheira (produção acumulada mensal) e das bolsas de decomposição de cada tempo foram moídas, secadas (85 °C / 48 horas) e submetida a análises químicas no LABAS, para quantificarmos os teores de macronutrientes. O nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl (Tedesco et al. 1985), o P e o K foram determinados a partir de digestão nítrico-perclórica (Bataglia et al. 1983) e o P por colorimetria (EMBRAPA 1997). O Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Bataglia et al. 1983) e o S por turbidimetria (Tedesco et al. 1985). Os teores médios de macronutrientes da serapilheira foliar produzida foram multiplicados pela massa seca correspondente e representados em kg.ha⁻¹ nos níveis anual e mensal. Os teores médios de macronutrientes da serapilheira foliar em decomposição foram relacionados com a massa seca das amostras ao longo dos intervalos de tempo adotados.

2.4. Análises estatísticas

Para verificar se houve diferença significativa no estoque de cada macronutriente na serapilheira foliar entre as duas áreas ao longo dos meses do ano, não foi possível aplicar um teste que agrupasse os dados com dependência no tempo, pois por interferência de animais silvestres ou de intempéries ambientais sobre os coletores de serapilheira, nem todos os meses do ano apresentaram amostras balanceadas entre as áreas. Assim, nós verificamos se houve diferença significativa mês a mês, utilizando Teste T-Independente para meses em que os dados (forma original ou transformada) apresentaram distribuição normal e homoscedástica ou, Teste Mann-Whitney para meses em que os dados não foram normais e/ou foram heteroscedásticos. A normalidade e a homoscedasticidade na distribuição dos dados foram testadas, respectivamente, pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e de Levene sob $P < 0,05$.

A fim de verificar, em cada área, se houve correlação significativa entre a quantidade de massa seca da serapilheira foliar (das bolsas) e o teor de cada macronutriente ao longo da decomposição, nós aplicamos Teste de Correlação de

Spearman, após verificarmos a distribuição não normal (teste de Kolmogorov-Smirnov, $p < 0,05$) e/ou heteroscedástica (teste de Levene, $p < 0,05$) dos dados. Para todas análises, nós fixamos $\alpha = 0,05$.

3. Resultados

3.1. Características do solo

A fertilidade natural entre os dois cerrados diferiu - o “cerrado calcário” (área 1) apresentou caráter eutrófico, enquanto o “cerrado arenítico” (área 2) caráter distrófico. Os valores médios de saturação por bases (V%) obtidos nas amostragens da área 1 e da área 2 foram, respectivamente, 77 V% e 29 V%. Os valores médios de macronutrientes foram significativamente maiores no “cerrado calcário” (Figuras 2, 3, 4 e 5), assim como a matéria orgânica e o pH (Figuras 6 e 7). Além disso, não houve teor médio de alumínio no “cerrado calcário”, tal elemento não foi detectado pelo método utilizado que considera duas casas após a vírgula, diferentemente do teor médio alumínico no “cerrado arenítico” que foi de 1,28 cmolc/dm⁻³.

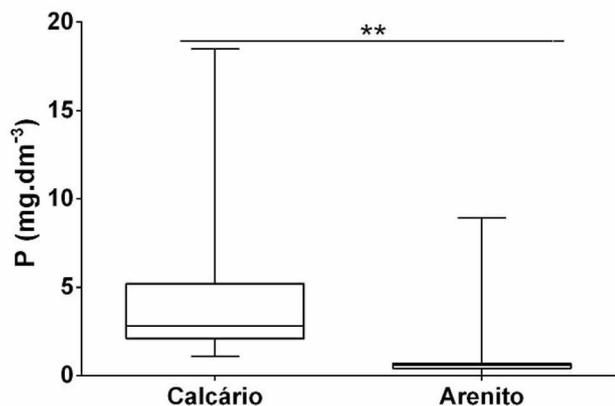


Figura 2: Teor de Fósforo (P) edáfico do “cerrado calcáreo” e do “cerrado arenítico.” Box plot: – indica mediana; colunas representam quartis (Q1 e Q3) e barras indicam valores extremos. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste Mann-Whitney, GL = 38, U = 0,00).

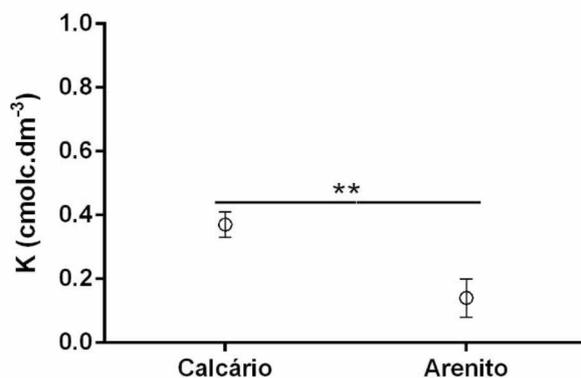


Figura 3: Teor de Potássio (K) edáfico do “cerrado calcáreo” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente, GL = 38, t = 13,61).

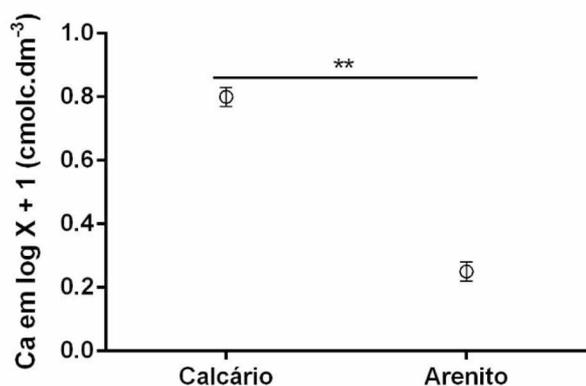


Figura 4: Teor de Cálcio (Ca em log X + 1) do “cerrado calcáreo” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente, GL = 38, t = 12,96).

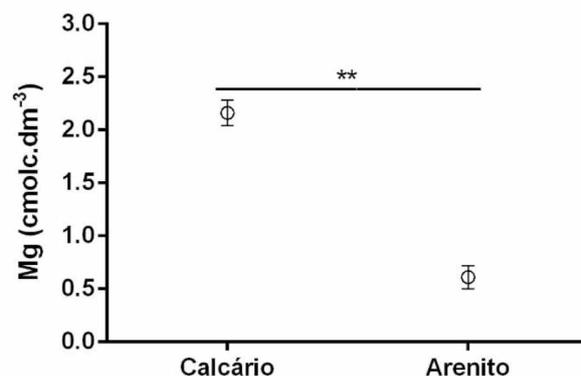


Figura 5: Teor de Magnésio (Mg) do “cerrado calcáreo” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente, GL = 38, t = 9,40).

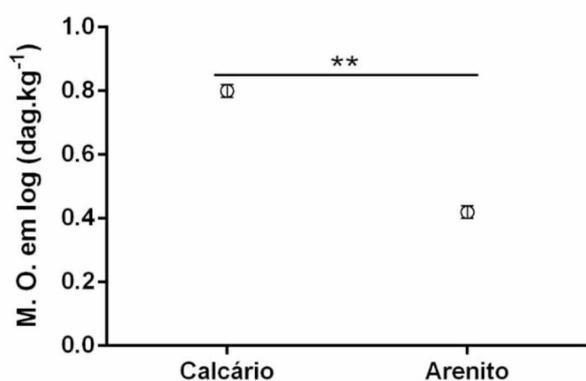


Figura 6: Matéria orgânica (M.O. em log) do “cerrado calcáreo” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente, GL = 38, t = 11,40).

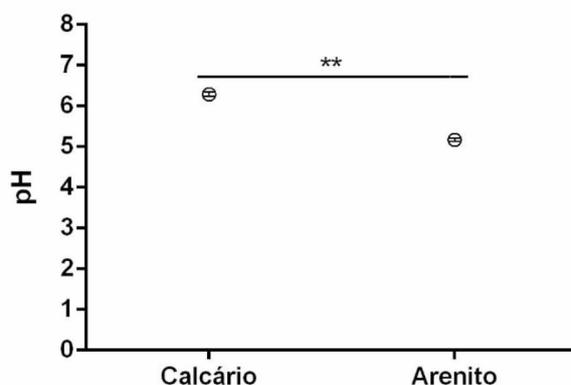


Figura 7: Valor de pH do “cerrado calcáreo” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente, GL = 38, t = 17,15).

3.2. Macronutrientes da serapilheira foliar produzida

Na área 1 os macronutrientes estocados por massa seca de serapilheira foliar seguiram a seguinte ordem decrescente: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$ -, enquanto que na área 2, a ordem decrescente apresentou apenas a inversão dos dois primeiros: $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$ (Tabela 1). Todos os macronutrientes foliares em ambas as áreas oscilaram ao longo do ano conforme a sazonalidade, no qual foram mensurados e estão ilustrados na Figura 8 A, B, C, D, E, F.

Tabela 1: Conteúdo total dos macronutrientes na massa seca da serapilheira foliar nas duas áreas de estudo. Estimativa em kilograma por hectare no ano de estudo. Notação: erro padrão (EP)

Estoque anual de macronutrientes (Média ± EP)	
"cerrado calcário"	
Ca	45,08 ± 0,43 kg.ha ⁻¹ .a ⁻¹
N	31,56 ± 0,17 kg. ha ⁻¹ .a ⁻¹
K	23,71 ± 0,14 kg. ha ⁻¹ .a ⁻¹
Mg	9,36 ± 0,03 kg. ha ⁻¹ .a ⁻¹
P	2,29 ± 00 kg. ha ⁻¹ .a ⁻¹
S	1,27 ± 00 kg. ha ⁻¹ .a ⁻¹
"cerrado arenítico"	
N	19,32 ± 0,25 kg. ha ⁻¹ .a ⁻¹
Ca	15,91 ± 0,27 kg. ha ⁻¹ .a ⁻¹
K	8,93 ± 0,13 kg. ha ⁻¹ .a ⁻¹
Mg	4,25 ± 0,03 kg. ha ⁻¹ .a ⁻¹
P	1,12 ± 00 kg. ha ⁻¹ .a ⁻¹
S	0,89 ± 00 kg. ha ⁻¹ .a ⁻¹

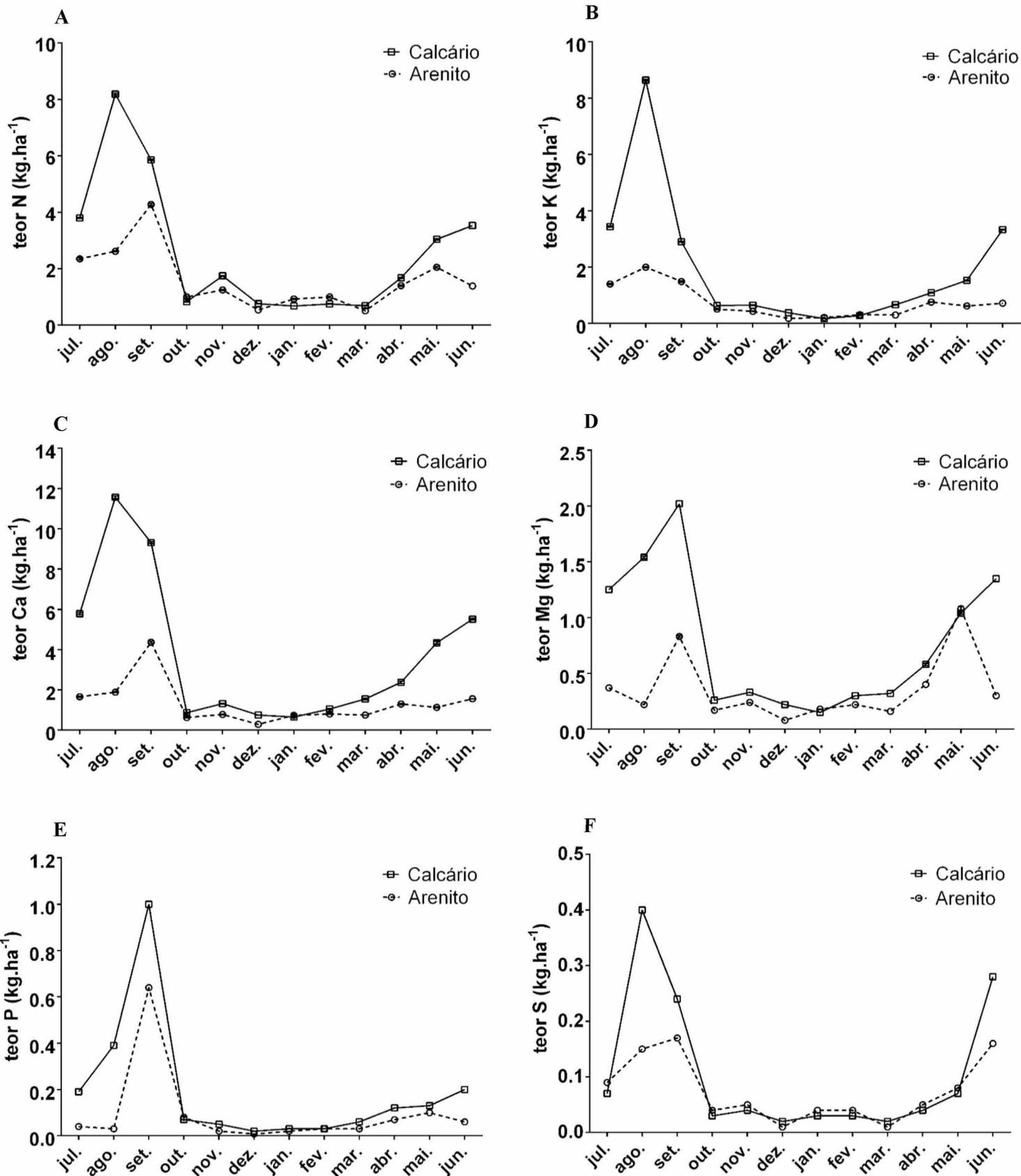


Figura 8: Teores mensais em hectare (A) de Nitrogênio, (B) de Potássio; (C) de Cálcio, (D) de Magnésio, (E) de Fósforo, (F) de Enxofre na serapilheira foliar do “cerrado calcáριο” (área 1) e do “cerrado arenítico” (área 2) com $\bar{x} \pm EP$ entre julho/2015 e junho/2016.

Durante todo o ano, a serapilheira foliar da área 1 apresentou teores significativamente maiores de Ca do que a área 2 (Figura 9 A, B). Durante quase todo o ano, os teores de K, Mg e P também foram significativamente maiores na serapilheira da área 1 (Figura 10; Figura 11 A, B, C; Figura 12 A, B). De modo oposto, o S apresentou teores significativamente maiores na serapilheira foliar da área 2 em meses da estação seca (Figura 13 A, B). O N apresentou teores significativamente maiores na serapilheira foliar da área 1 em dois meses chuvosos, mas teores significativamente maiores na serapilheira foliar da área 2 em um mês seco (Figura 14 A, B, C).

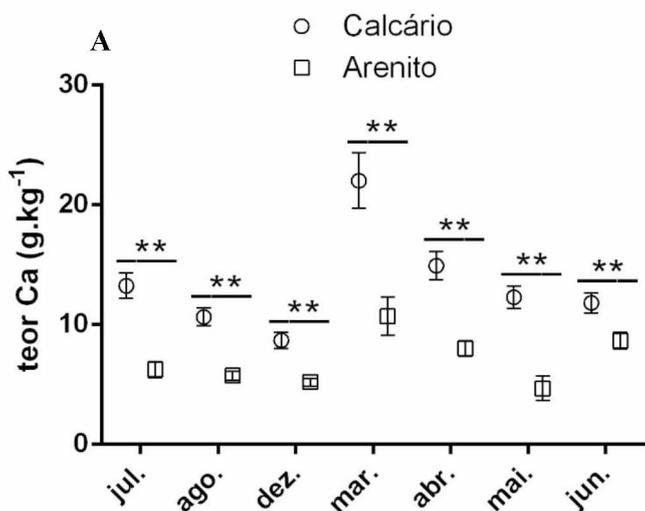


Figura 9 A: Teor de Cálcio (Ca) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 1C2 do Material Suplementar, p. 82.

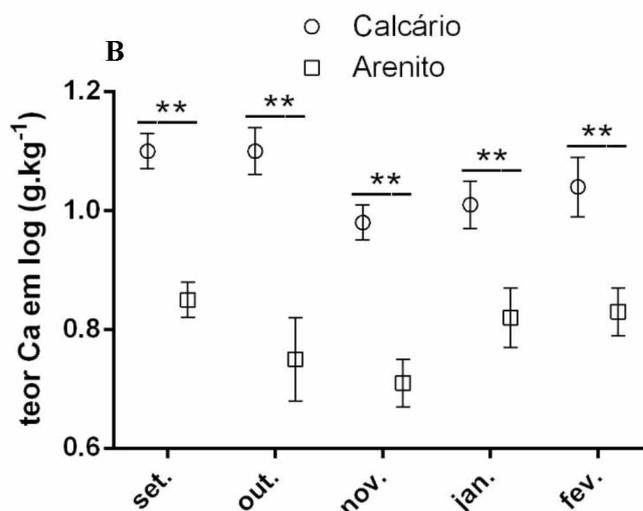


Figura 9 B: Teor de Cálcio (Ca em log) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 2C2 do Material Suplementar, p. 83.

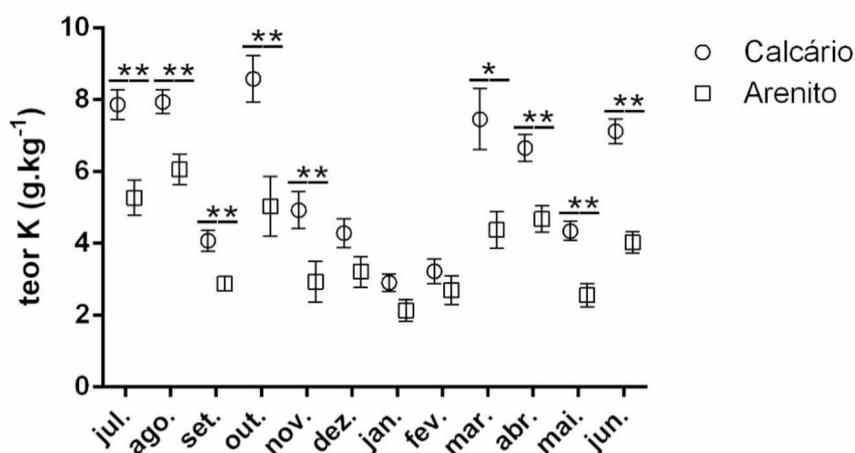


Figura 10: Teor de Potássio (K) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. * indica diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,05$; ** indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 3C2 do Material Suplementar, p. 83.

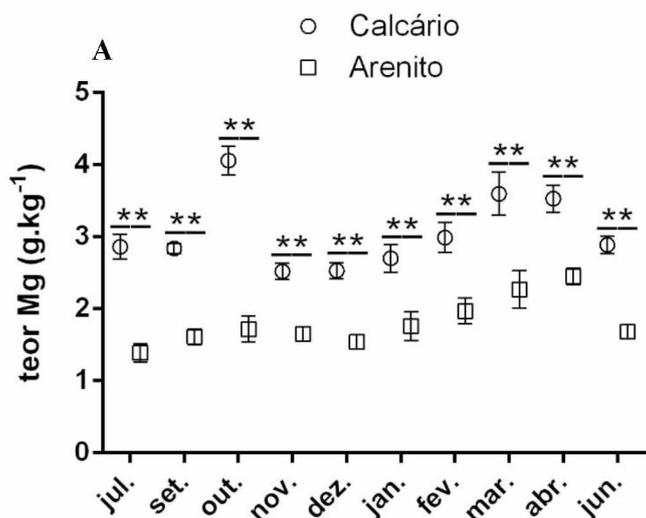


Figura 11 A: Teor de Magnésio (Mg) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 4C2 do Material Suplementar, p. 84.

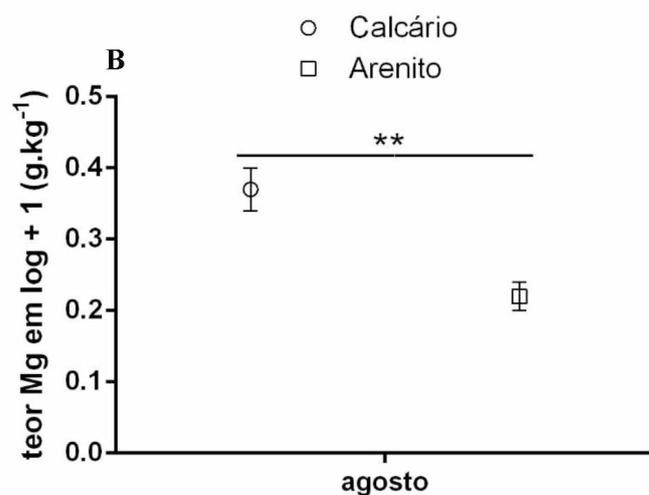


Figura 11 B: Teor de Magnésio (Mg em log X + 1) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente, GL = 35, t = 4,12).

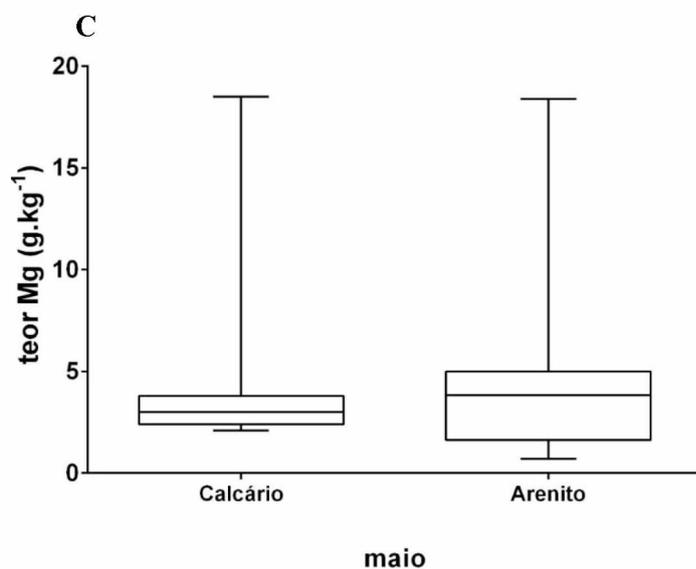


Figura 11 C: Teor de Magnésio (Mg) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Box plot: – indica mediana; colunas representam quartis (Q1 e Q3) e barras indicam valores extremos (Teste Mann-Whitney, p = 0,77, GL = 35, U = 179,50).

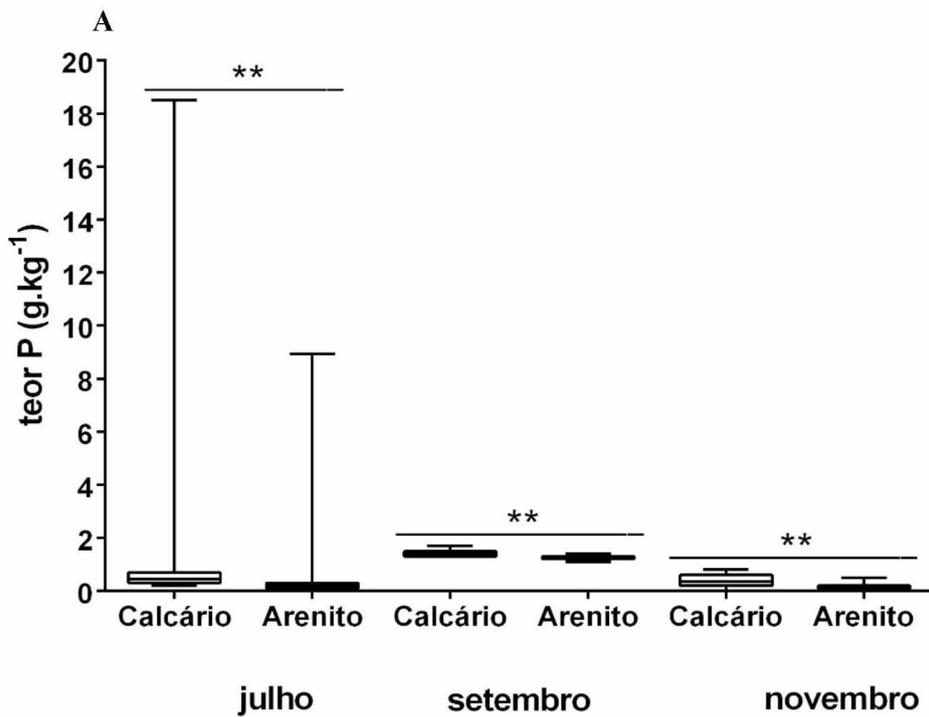


Figura 12 A: Teor de Fósforo (P) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Box plot: – indica mediana; colunas representam quartis (Q1 e Q3) e barras indicam valores extremos. ** indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste Mann-Whitney). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 5C2 do Material Suplementar, p. 84.

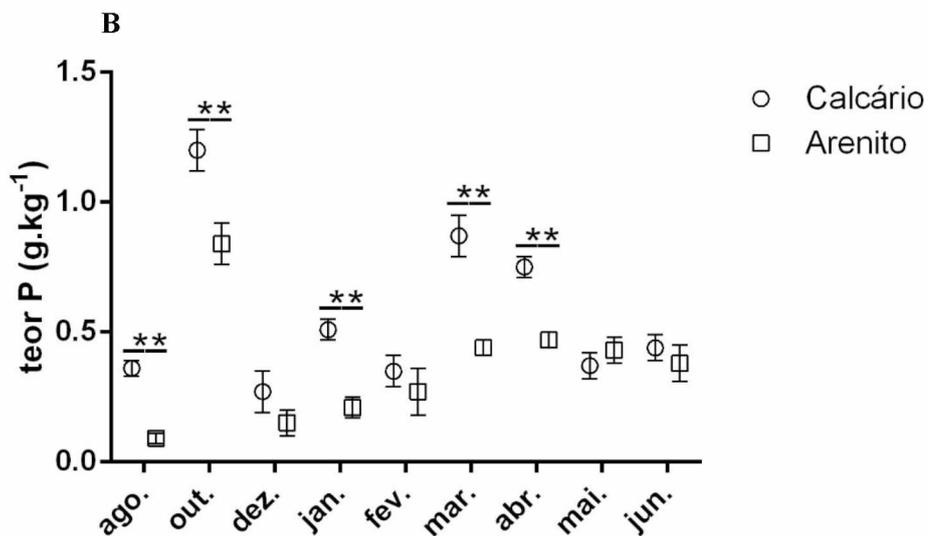


Figura 12 B: Teor de Fósforo (P) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 5C2 do Material Suplementar, p. 84.

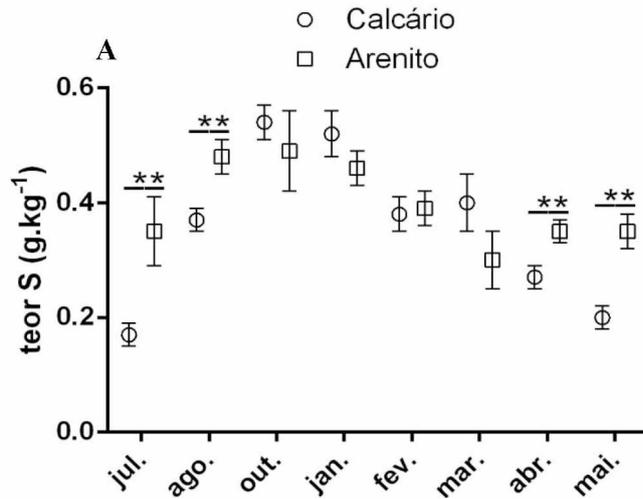


Figura 13 A: Teor de Enxofre (S) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferenças significativas entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 6C2 do Material Suplementar, p. 85.

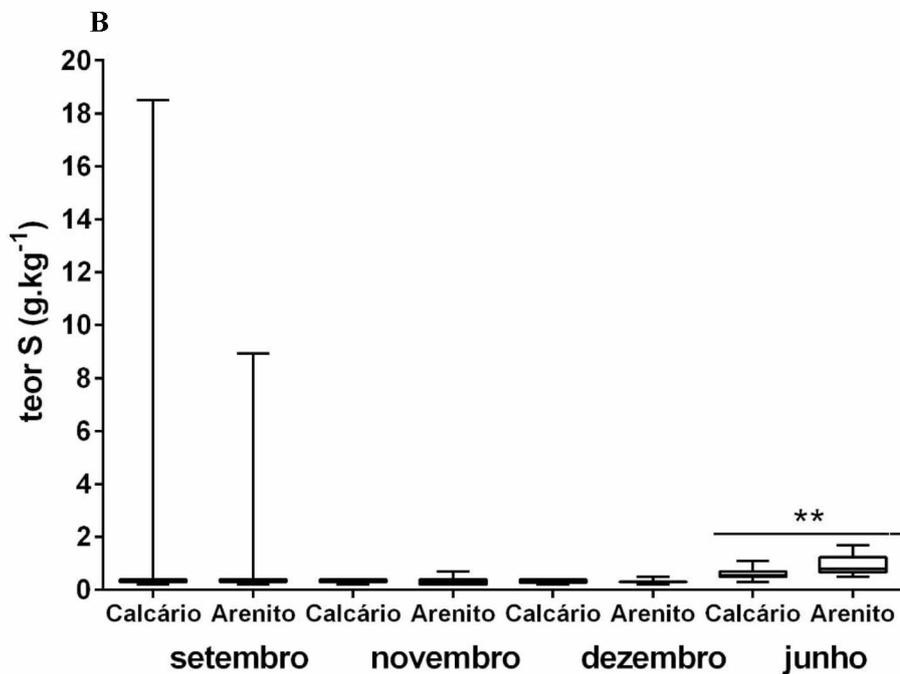


Figura 13 B: Teor de Enxofre (S) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Box plot: – indica mediana; colunas representam quartis (Q1 e Q3) e barras indicam valores extremos. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste Mann-Whitney). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 6C2 do Material Suplementar, p. 85.

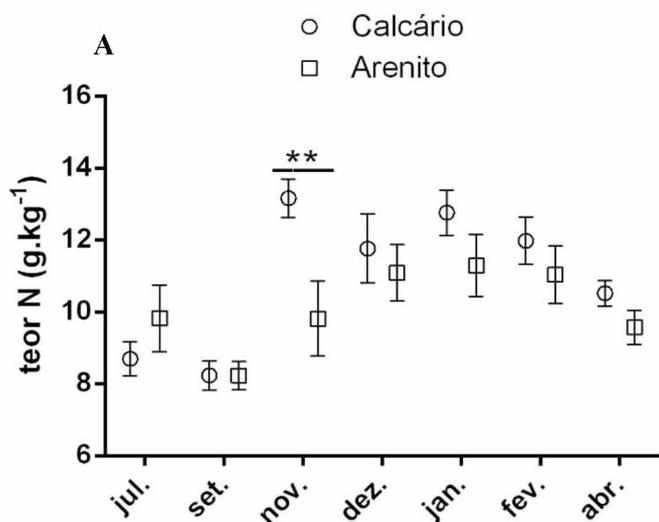


Figura 14 A: Teor de Nitrogênio (N) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. ** indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,01$ (Teste T Independente). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 7C2 do Material Suplementar, p. 85.

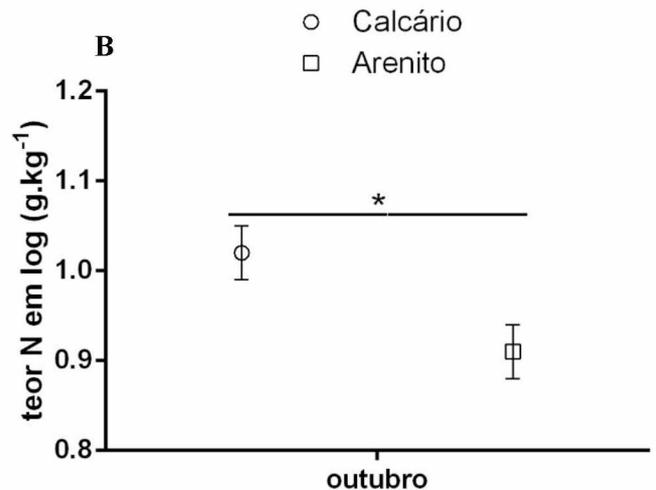


Figura 14 B: Teor de Nitrogênio (N em log) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Média \pm EP. * indica diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,05$ (Teste T Independente, GL = 34, $t = 2,22$).

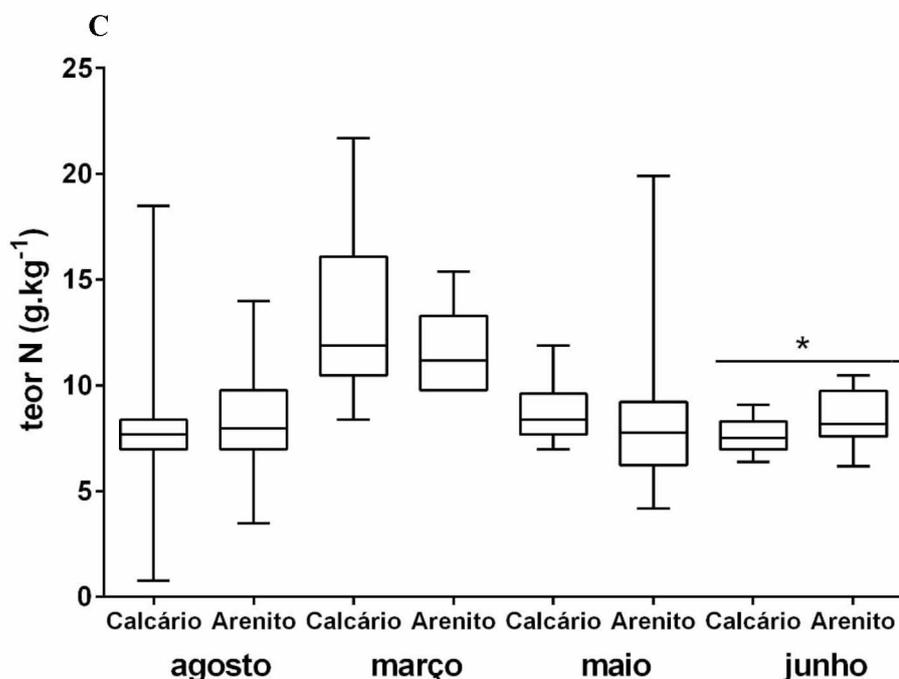


Figura 14 C: Teor de Nitrogênio (N) na serapilheira foliar do “cerrado calcário” e do “cerrado arenítico.” Box plot: – indica mediana; colunas representam quartis (Q1 e Q3) e barras indicam valores extremos. * indicam diferença significativa entre as áreas com $\alpha < 0,05$ (Teste Mann-Whitney). Para valores do GL e do teste, vide Tabela 7C2 do Material Suplementar, p. 85.

3.3. Macronutrientes da serapilheira foliar em decomposição

Dentre os macronutrientes, apenas a variação do K se correlacionou significativamente e positivamente com a quantidade de folhas, ou seja, sua concentração diminuiu à medida que o peso seco diminuiu ao longo da decomposição. Tal efeito ocorreu nos dois cerrados (Figura 15 A, B). Diferentemente, os demais macronutrientes - N, P, Ca, Mg, S - oscilaram irregularmente ao longo da decomposição (respectivamente, Figura 16 A, B; Figura 17 A, B; Figura 18 A, B; Figura 19 A, B; Figura 20 A, B) nas duas áreas.

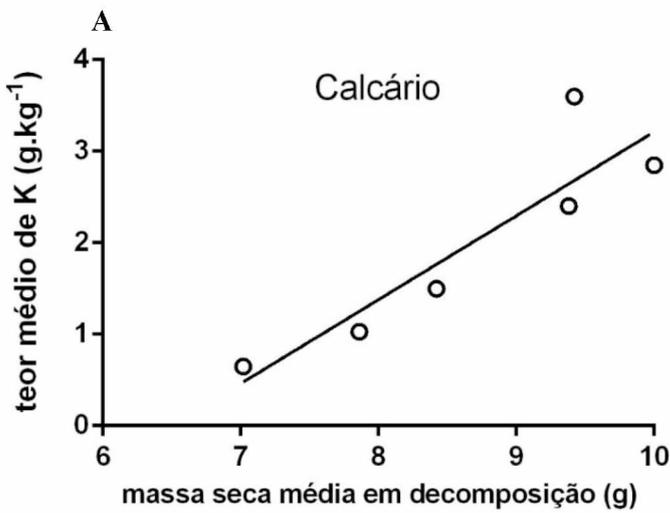


Figura 15 A: Análise de correlação entre a perda de peso seco da serapilheira foliar em decomposição e o teor de Potássio (K) no "cerrado calcário" (Correlação de Spearman, $p = 0,01$, $GL = 6$, $r_s = 0,94$).

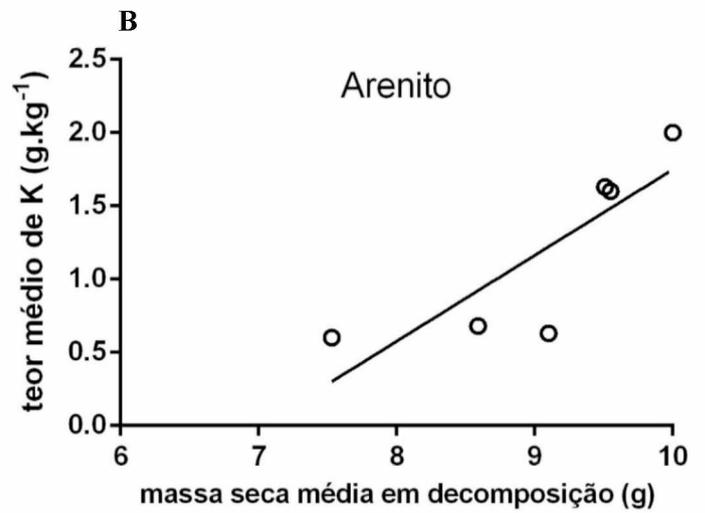


Figura 15 B: Análise de correlação entre a perda de peso seco da serapilheira foliar em decomposição e o teor de Potássio (K) no "cerrado arenítico" (Correlação de Spearman, $p = 0,03$, $GL = 6$, $r_s = 0,88$).

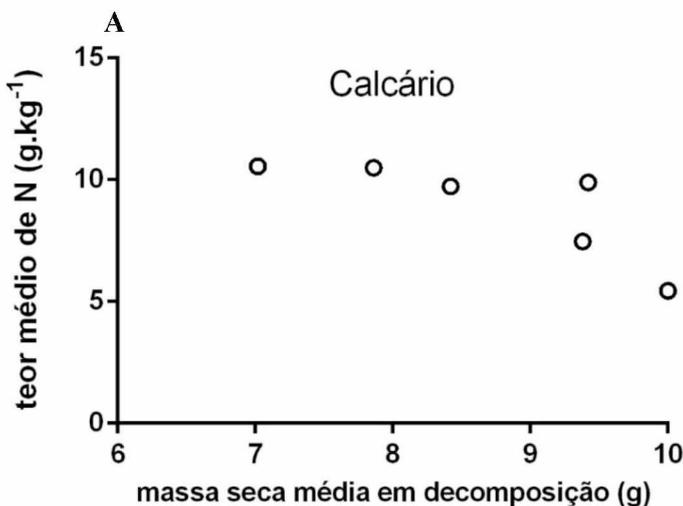


Figura 16 A: Análise de correlação entre a perda de peso seco da serapilheira foliar em decomposição e o teor de Nitrogênio (N) no "cerrado calcário" (Correlação de Spearman, $p = 0,06$, $GL = 6$, $r_s = -0,82$).

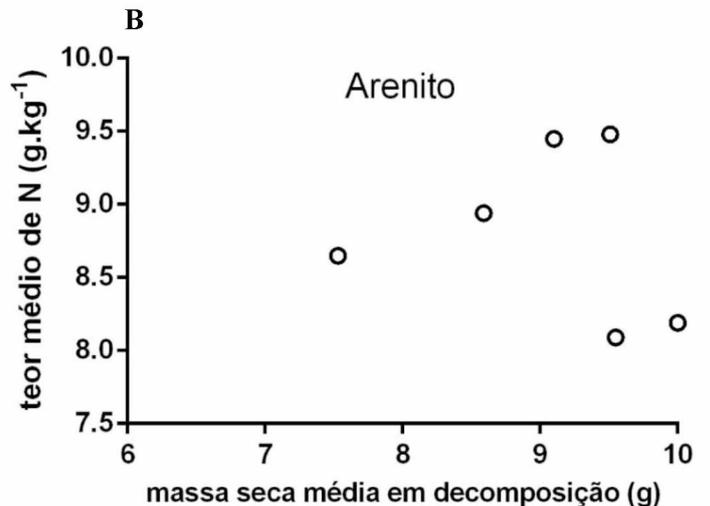


Figura 16 B: Análise de correlação entre a perda de peso seco da serapilheira foliar em decomposição e o teor de Nitrogênio (N) no "cerrado arenítico" (Correlação de Spearman, $p = 0,50$, $GL = 6$, $r_s = -0,37$).

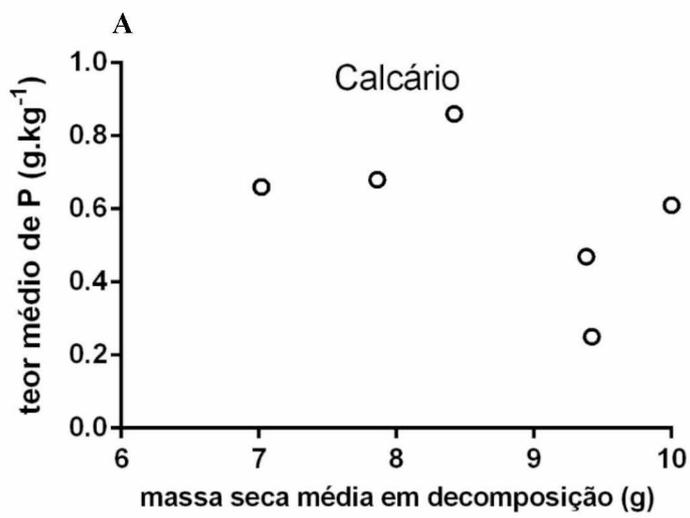


Figura 17 A: Análise de correlação entre a perda de peso seco da serapilheira foliar em decomposição e o teor de Fósforo (P) no “cerrado calcário” (Correlação de Spearman, $p = 0,24$, $GL = 6$, $r_s = -0,60$).

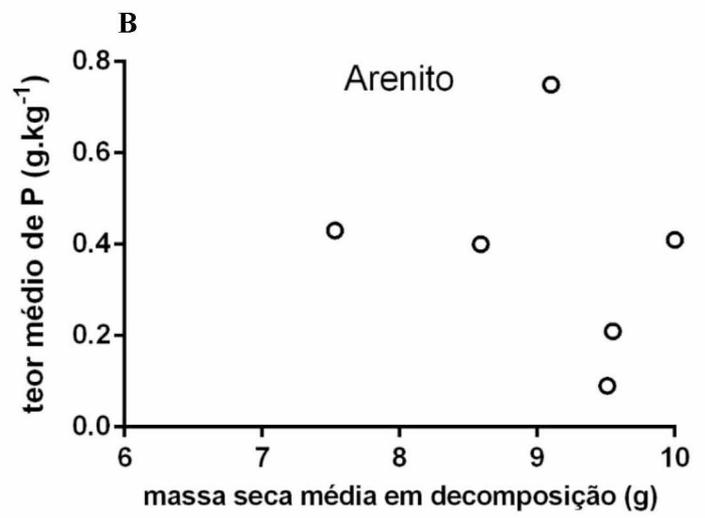


Figura 17 B: Análise de correlação entre a perda de peso seco da serapilheira foliar em decomposição e o teor de Fósforo (P) no “cerrado arenítico” (Correlação de Spearman, $p = 0,24$, $GL = 6$, $r_s = -0,60$).

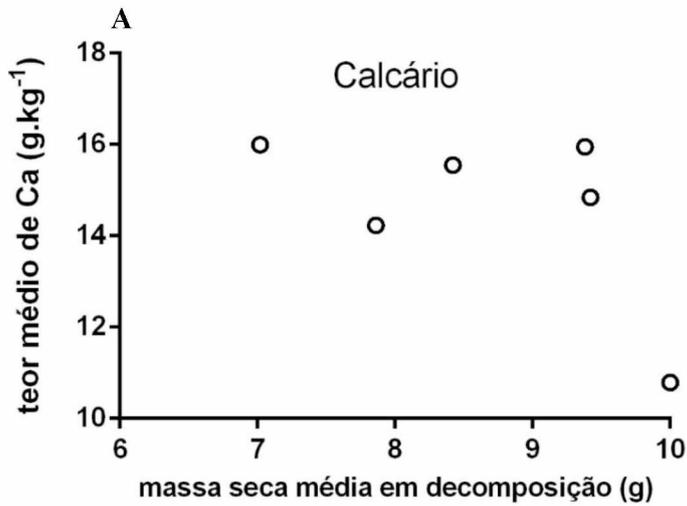


Figura 18 A: Análise de correlação entre a perda de peso seco da serapilheira foliar em decomposição e o teor de Cálcio (Ca) no “cerrado calcário” (Correlação de Spearman, $p = 0,24$, $GL = 6$, $r_s = -0,60$).

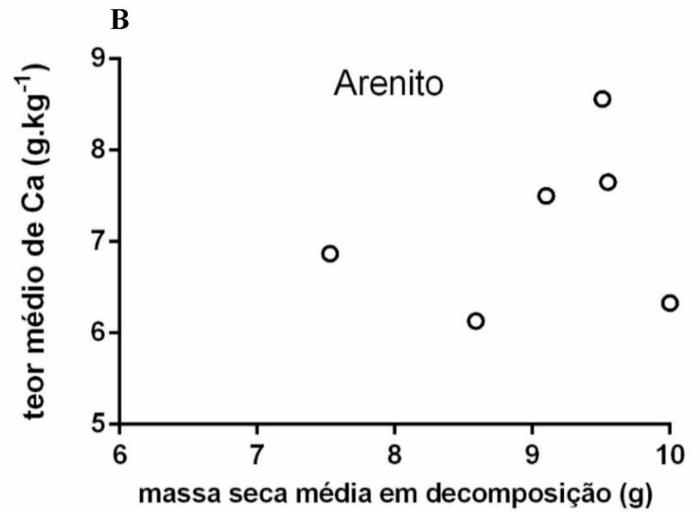


Figura 18 B: Análise de correlação entre a perda de peso seco da serapilheira foliar em decomposição e o teor de Cálcio (Ca) no “cerrado arenítico” (Correlação de Spearman, $p = 0,65$, $GL = 6$, $r_s = 0,25$).

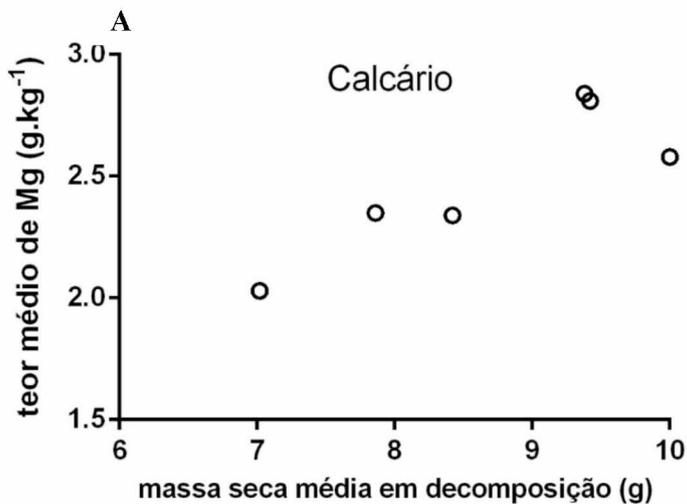


Figura 19 A: Análise de correlação entre a perda de peso seco da serapilheira foliar em decomposição e o teor de Magnésio (Mg) no “cerrado calcário” (Correlação de Spearman, $p = 0,13$, $GL = 6$, $r_s = 0,71$).

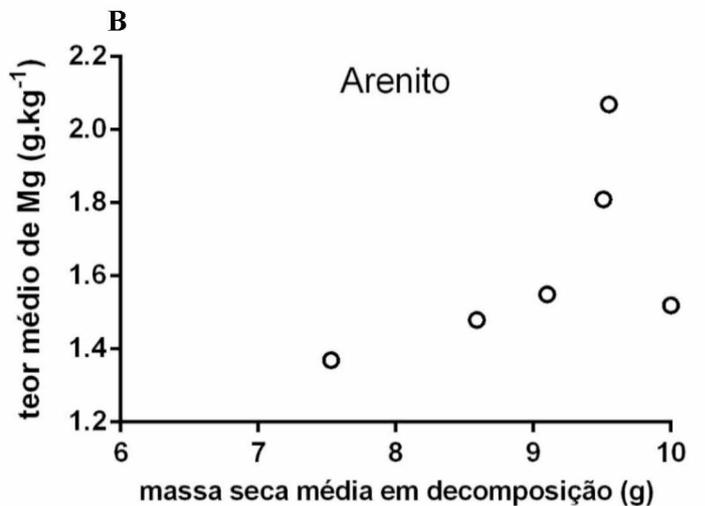


Figura 19 B: Análise de correlação entre a perda de peso seco da serapilheira foliar em decomposição e o teor de Magnésio (Mg) no “cerrado arenítico” (Correlação de Spearman, $p = 0,17$, $GL = 6$, $r_s = 0,65$).

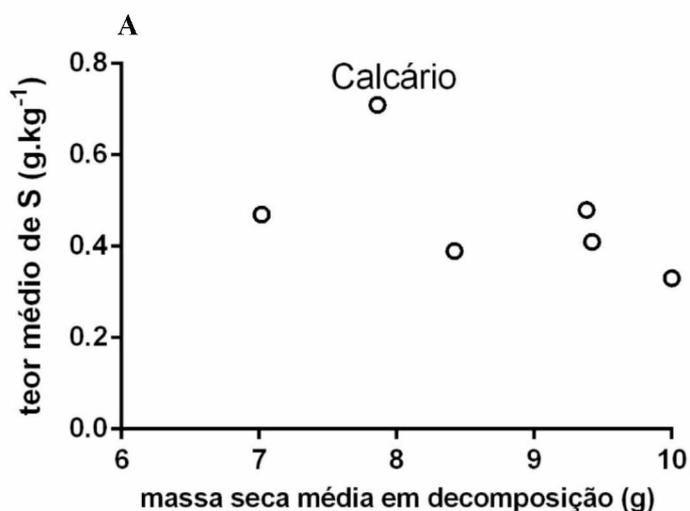


Figura 20 A: Análise de correlação entre a perda de peso seco da serapilheira foliar em decomposição e o teor de Enxofre (S) no “cerrado calcário” (Correlação de Spearman, $p = 0,24$, $GL = 6$, $r_s = -0,60$).

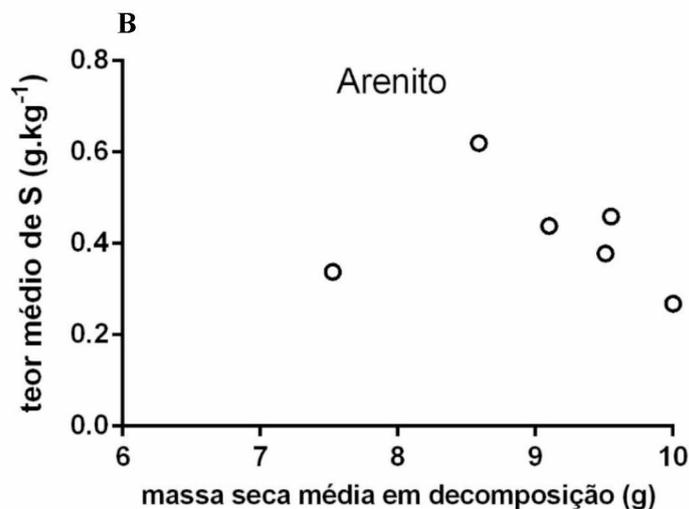


Figura 20 B: Análise de correlação entre a perda de peso seco da serapilheira foliar em decomposição e o teor de Enxofre (S) no “cerrado arenítico” (Correlação de Spearman, $p = 0,65$, $GL = 6$, $r_s = -0,25$).

4. Discussão

Aqui nós corroboramos experimentalmente que o “cerrado calcário” (área 1) difere do “cerrado arenítico” (área 2) em fertilidade edáfica e em qualidade química da serapilheira foliar. Em geral, esta diferença de qualidade parece não interferir na proporção entre os nutrientes liberados. A área 1 apresenta níveis de fertilidade do solo e de qualidade química da serapilheira foliar intermediários entre áreas de cerrado *sensu stricto* distróficas e de florestas estacionais decíduas do Brasil.

4.1. Fertilidade do solo

Nós confirmamos que a área 1 retém mais nutrientes no solo mais do que a área 2, o que deve ser influência da rocha calcária que é básica e mineralmente rica, aumentando o pH e reduzindo o Al. Segundo Allen (1964), maior pH e menos Al aumentam a disponibilidade de nutrientes. O aumento dos teores de Ca na área 1, provavelmente influenciado pela presença do mineral calcita, não só configurou um pH maior, como, conseqüentemente, reduziu os teores de Al a níveis muito baixos e

aumentou a disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, de modo que a área 1 e a área 2 se caracterizaram, respectivamente, como eutrófico e distrófico, conforme os valores médios de saturação por bases (V%) e os critérios da EMBRAPA (2006).

A característica aluminotóxica do solo é considerada como uma das principais causas da deficiência mineral no Cerrado (Goodland 1971; Gottsberger e Silberbauer-Gottsberger 2006), o que contribui para uma menor produtividade (Haridasan 2000). Relacionado a isso, observamos que na área 1, sem Al extraível e com maior disponibilidade de nutrientes no solo, houve maior acúmulo de matéria orgânica. Essa relação entre baixo teor de Al, maior capacidade de troca catiônica e acúmulo de matéria orgânica, também já foi observada em florestas de galeria no domínio do Cerrado (Moreno e Schiavini 2001). Outro fator relativo a altos teores de Al, é sua contribuição para o escleromorfismo das plantas do Cerrado (Goodland 1971). Tal hipótese pode ser ressaltada pela área 1 que não apresentou Al extraível, mas também possui uma fisionomia que pode ser definida como cerrado *sensu stricto*, onde é comum o escleromorfismo em plantas lenhosas (Furley e Ratter 1988).

A área 1 apresentou valores médios maiores em todos os atributos químicos do solo, exceto acidez, quando comparado com áreas de cerrado *sensu stricto* sobre Latossolos e com uma área de floresta decídua sobre Neossolo Eutrófico Basáltico (Tabela 2). Diferentemente da área 1, todas essas áreas não sofrem influência do calcário e, segundo Reatto et al. (1998), solos jovens com calcário em relevos acidentados (área 1) tendem a ser diferenciadamente ricos em bases. No entanto, comparações entre a área 1 e uma floresta decídua sobre o mesmo tipo edáfico (Neossolo Calcário), demonstraram maiores proporções da maioria dos atributos químicos na floresta (Tabela 2). Tais diferenças podem decorrer dos afloramentos rochosos calcários dessa floresta ainda serem muito desenvolvidos e formarem extensos e espessos blocos ao longo da área (Rossatto et al. 2015).

A área 2, por sua vez, com sua condição distrófica, apresentou valores médios para macronutrientes intermediários entre as áreas de cerrado *sensu stricto* distróficas (Latossolos) e florestas decíduas eutróficas (Tabela 2). O maior conteúdo nutritivo da área 2 em relação aos cerrados sobre Latossolos pode ser atribuído a diferenças de drenagem entre solos mais e menos desenvolvidos. Solos rasos são geralmente menos lixiviados e menos ácidos do que solos bem desenvolvidos (Guilherme et al. 2012), o que pode favorecer a retenção de nutrientes na camada superficial. Além disso, Rossatto

et al. (2015) afirmaram que solos jovens são ricos em macronutrientes, particularmente Ca, Mg, and P, apresentando elevada saturação de bases.

Tabela 2: Atributos químicos edáficos nas duas áreas do presente estudo e em outras áreas de cerrado *sensu stricto* (s.s.) e de floresta estacional decídua (e.d.).

Referência	Vegetação	Solo	P mg.dm ⁻³	K cmolc.dm ⁻³	Ca cmolc.dm ⁻³	Mg cmolc.dm ⁻³	M.O. dag.kg ⁻¹	pH H ₂ O
Franco 2013	cerrado s.s.	Neossolo Calcário	4,75	0,29	3,75	2,15	3,45	6,30
Rossatto et al. 2015	savana (cerrado s.s.)	Latosolo Vermelho	0,46	0,30	0,11	0,06	1,20	4,67
Rossatto et al. 2015	floresta e.d.	Neossolo Calcário	2,14	0,43	14,65	5,86	5,80	6,64
Valadão et al. 2016	cerrado s.s.	Latosolo Vermelho	-	0,07	0,03	0,20	1,23	4,86
Viera et al. 2010	floresta e.d.	Neossolo Eutrófico Basáltico	2,20	0,13	4,70	2,00	-	5,5
Presente estudo	cerrado s.s.	Neossolo Calcário	3,01	0,36	5,71	2,16	6,52	6,29
Presente estudo	cerrado s.s.	Neossolo Arenítico	0,53	0,15	0,88	0,61	2,71	5,17

4.2. Produção de macronutrientes na serapilheira foliar

A similaridade das áreas quanto à ordem decrescente nas médias anuais de macronutrientes da serapilheira foliar produzida nos coletores indica que a proporcionalidade entre os macronutrientes foliares de um cerrado *sensu stricto* não depende apenas da fertilidade edáfica. O fato do Ca nas folhas do “cerrado calcário” ter sido o macronutriente retornado em maior magnitude, trocando posição com o N, provavelmente decorreu da influência dos altos teores de Ca encontrados no solo dessa área. Sobre isso, Braun-Blanquet et al. (1932) afirmaram que rochas calcárias com o mineral calcita podem conter até 99% de carbonato de cálcio. A ordem decrescente nas médias anuais dos macronutrientes retornados na serapilheira foliar da área 2 também foi similar à de um cerrado *sensu stricto* sobre Latossolo (Nardoto et al. 2006), que também se iniciou com o N e só diferiu da sequência da área 2 quanto à inversão do S pelo P na última posição. Comparando a quantidade total estimada a nível anual de cada macronutriente retornado na serapilheira foliar, foi observado que todos os macronutrientes na área 1 apresentaram valores maiores, o que também pode ser explicado pelo efeito dos maiores teores de Ca que contribuem para diminuir a acidez do solo e determinar maior disponibilização de nutrientes para a vegetação (Allen 1964;

Vitti et al. 2015). Sobre isso, é conhecido que áreas com maior fertilidade natural podem refletir em maiores teores de nutrientes nas folhas (Haridasan 2000).

Ao longo do ano todos os macronutrientes estimados na massa seca apresentaram um padrão similar para cada área, já que os macronutrientes foram mensurados no componente foliar e seguiram a sazonalidade da queda foliar, que se concentrou em meses da estação seca. O maior retorno estimado de Ca, K, Mg e P na serapilheira foliar da área 1 está relacionado diretamente à maior concentração, uma vez que os valores desses macronutrientes foram significativamente maiores no ano todo ou em quase todo o ano. Isso pode estar atribuído à toxidez de Al, elemento químico observado apenas no solo da área 2, o que tende a diminuir a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Araújo e Haridasan 1988). Com relação à área 2, o menor conteúdo estimado de macronutrientes foliares também pode ser explicado pelo Al na solução do solo, responsável por inibir o crescimento das raízes e, assim, reduzir a capacidade das plantas em absorverem os nutrientes (Barker e Pilbeam 2006). Segundo Parron et al. (2011), no Cerrado as plantas em solos com maior fertilidade natural tendem a depositar mais nutrientes na serapilheira por unidade de biomassa produzida, quando em comparação com plantas de solos de menor fertilidade natural. A partir disso, depreendemos que as plantas da área 1, em solo eutrófico, perdem mais nutrientes, enquanto as plantas da área 2, em solo distrófico, reabsorvem e conservam melhor os nutrientes.

De modo oposto, nos meses secos a concentração do S em g/kg se apresentou significativamente maior na serapilheira foliar da área 2, onde o nível de Ca é muito menor do que na área 1. Relacionado a isso, é conhecido que níveis elevados de Ca podem causar a inibição de outros cátions, como o S (Ferri 1979). Além disso, cerca de 90% do S ocorre na forma orgânica (Ferri 1979) e pode ser escoado para outros locais junto com a água ou, ser exportado da solução do solo pela sua transformação para fase gasosa (Begon et al. 2007). Tais fatores podem tornar o S escasso na serapilheira foliar e dificultar a verificação de diferenças na concentração de S entre as áreas em meses da estação chuvosa.

As concentrações mensais do N na serapilheira acumulada, por sua vez, demonstraram maior variabilidade entre as áreas. Por um lado, a presença do calcário contribui para aumentar os nutrientes nas folhas e influenciando na concentração significativamente superior de N na área 1. Por outro lado, o N é primordial como fonte alimentar para os decompositores, já que está em compostos protéicos e vitamínicos

(Ferri 1979), sendo um dos principais elementos que determinam a taxa de decomposição a partir da relação C:N (Larcher 2000). Considerando que certos decompositores acessam as folhas acumuladas ao longo do mês nos coletores, inferimos que a decomposição já se inicia e que tende a ser mais acelerada na área 1, onde a concentração de N foliar é maior. Como a ação decompositora sobre os nutrientes foliares indisponibiliza-os nas folhas (Schiavini 1983), isso pode ter contribuído para a ausência de diferença de N entre as áreas ou mesmo, para concentração significativamente inferior de N na área 1. Adicionalmente, um dos coletores da área 2 apresentou, em alguns meses, altas concentrações de N em relação à média dos demais da área -, tal coletor acumulou folhas principalmente da espécie *Ouratea hexasperma* (A. St.-Hil.) Baill por ter indivíduos desta logo acima do coletor. Entretanto, a associação de um alto conteúdo de N à serapilheira foliar dessa espécie contrapõe Araújo e Haridasan (2007), que demonstraram que essa espécie típica de cerrado é sempre-verde e possui conteúdo relativamente baixo de N em suas folhas maduras. Assim, isso permanece para maiores investigações.

A partir de comparações entre as áreas 1 e 2, e as áreas de cerrado *sensu stricto* em Latossolos, nota-se que, excetuando o S, as concentrações foliares dos demais macronutrientes nas folhas (Tabela 3) sugerem que o calcário eleva a qualidade nutritiva da serapilheira foliar do cerrado, o que tende a acelerar sua decomposição (Dahlgren et al. 2003) com subsequente mineralização. Ao comparar as concentrações dos macronutrientes foliares da área 2 com as áreas de cerrado *sensu stricto* sobre Latossolos, destaca-se uma variação entre as proporções, dependendo de cada estudo comparado (Tabela 3). Como esses cerrados possuem a mesma condição distrófica, pode ser que as diferenças entre eles se deva mais a diferenças fitosociológicas entre as áreas, como, por exemplo, uma área ter mais indivíduos de espécies leguminosas do que a outra.

Tabela 3 Teores médios totais de macronutrientes da serapilheira (foliar) nas duas áreas do presente estudo, em outras áreas de cerrado *sensu stricto* (s. s.) e em áreas de floresta estacional decídua (e. d.).

Referência	Vegetação	Solo	N g.kg ⁻¹	K g.kg ⁻¹	Ca g.kg ⁻¹	Mg g.kg ⁻¹	P g.kg ⁻¹	S g.kg ⁻¹
Kozovits et al. 2007	cerrado s.s.	Latossolo Vermelho	8,48	-	-	-	-	-
Nardoto et al. 2006	cerrado s.s.	Latossolo Vermelho	7,30	1,30	2,70	1,10	0,20	0,40
Paiva et al. 2015	cerrado s.s.	Latossolo Vermelho	10,24	4,97	5,92	1,58	0,38	-
Rossatto et al. 2015*	floresta estac. d.	Neossolo Calcário	23,49	1,30	17,11	2,17	1,30	-
Viera et al. 2010**	floresta estac. d.	Neossolo Basáltico	20,50	1,70	19,50	2,40	0,70	1,10
Presente estudo	cerrado s.s.	Neossolo Calcário	10,41	5,78	12,75	2,90	0,61	0,37
Presente estudo	cerrado s.s.	Neossolo Arenítico	9,74	3,82	6,89	1,93	0,40	0,42

* Foi analisado um conjunto de folhas verdes e expandidas de espécies da floresta decídua calcária, mas não folhas secas abscisadas; ** não foi analisado apenas o componente foliar, mas também os gravetos.

A partir da comparação dos cerrados *sensu stricto* distróficos com as florestas decíduas, é possível notar que nestas as concentrações foliares de N, Ca, Mg e P são invariavelmente superiores (Tabela 3), corroborando com a hipótese de Bond (2010) sobre as florestas serem sustentadas por maior aporte de nutrientes do que as savanas. Entretanto, tal hipótese é refutada pelas concentrações foliares de K que foram superiores na maioria das áreas de cerrado, em comparação com as áreas de floresta decídua (Tabela 3), possivelmente por diferenças de lixiviação. Considerando apenas a comparação entre o a área 1 e as florestas decíduas eutróficas em questão, nota-se que a concentração do Mg foi maior na área 1 comparado às florestas decíduas. Uma plausível explicação para essa diferença é que o excesso de Ca pode exercer ação antagonista com o Mg para absorção, competindo por sítios de ligação em membranas celulares vegetais (Barker e Pilbeam 2006), reduzindo assim o conteúdo de Mg. Cabe ressaltar que a mensuração dos teores de macronutrientes dessas florestas estacionais decíduas deve estar acrescida pelos próprios métodos utilizados: no estudo de Rossatto et al. (2015) as concentrações foram medidas em folhas maduras fotossinteticamente ativas que foram mecanicamente extraídas e que provavelmente possuem mais nutrientes do que folhas secas naturalmente abscisadas (Miranda et al. 2002); no estudo de Viera et al. (2010) a serapilheira utilizada para as análises não foi constituída apenas do componente foliar, mas também dos gravetos.

4.3. Decomposição de macronutrientes na serapilheira foliar

Na decomposição a perda de massa seca foliar está relacionada diretamente, entre outros fatores, à perda (liberação) de nutrientes (Schiavini 1983; Berg e McClaugherty 2008). Entretanto, no presente estudo, apenas o K corroborou com esse padrão por meio de uma correlação positiva significativa nas duas áreas (Figura 15 A, B). Tal correlação observada para o K indicou que sua concentração diminuiu em função da perda de peso seco da serapilheira foliar, o que pode ser explicado por sua mobilidade e não necessariamente por sua assimilação pelos decompositores. Relacionado a isso, o K é considerado um elemento altamente móvel que pode ser solubilizado e lixiviado em alta extensão (Coleman et al. 2004; Berg e McClaugherty 2008), acompanhando mais facilmente o decaimento exponencial da massa seca ao longo da decomposição.

Independente da significância das correlações, a similaridade dos resultados entre as áreas demonstraram que a relação entre perda de massa seca e liberação de macronutrientes não é alterada apenas em função da diferença na qualidade química da serapilheira foliar. A ausência de correlação entre a massa seca e a maioria dos macronutrientes também reforça que outros fatores modulam a decomposição, como o conteúdo de lignina entre as espécies representadas nas bolsas (Gholz et al. 2000), a diversidade de decompositores entre os pontos amostrais ou as áreas (Seastadt 1984; Berg e McClaugherty 2008), a disponibilidade de água superficial para os decompositores que varia com a textura do solo (Coleman et al. 2004) e as condições microclimáticas (Gholz et al. 2000).

4.4. Conclusões

A partir dos dados disponíveis e comparáveis entre o presente estudo e a literatura, concluímos que o distinto e eutrófico cerrado *sensu stricto* sobre Neossolo calcário possui solo com maior retenção de nutrientes e, provavelmente, com melhor qualidade química de serapilheira foliar em comparação com o cerrado *sensu stricto* sobre Neossolo arenítico e outros cerrados *sensu stricto* sobre Latossolos, todos distróficos. Também concluímos que a liberação de nutrientes nem sempre se relaciona com a massa seca, podendo independe da qualidade química da serapilheira foliar.

Além disso, concluímos que a influência do calcário no cerrado pode elevar a qualidade nutritiva da serapilheira foliar, podendo superar até a de florestas decíduas do Brasil.

Referências

- Allen SE (1964) Chemical aspects of heather burning. *J Appl Ecol* 1:347-367. doi:10.2307/2401318
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2014) Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Z* 22:711-728. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507
- Araújo GM, Haridasan M (1988) A comparison of the nutritional status of two forest communities on mesotrophic and dystrophic soils in central Brazil. *Commun Soil Sci Plant Anal* 19:1075-1089. doi:10.1080/00103628809367996
- Araújo JF, Haridasan M (2007) Relação entre deciduidade e concentrações foliares de nutrientes em espécies lenhosas do cerrado. *Braz J Bot* 30:533-542. doi:10.1590/S0100-84042007000300017
- Arens K (1958) O cerrado como vegetação oligotrófica. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras* 57:59-77. doi:10.11606/issn.2318-5988.v15i0p59-77
- Barker AV, Pilbeam DJ (2006) *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press, Boca Raton-Londres-Nova York
- Bataglia OC, Furlani AMC, Teixeira JPF, Gallo JR (1983) Métodos de análises químicas de plantas. *Boletim* 78. IAC, Campinas
- Begon M, Harper JL, Townsend CR (2007) *Ecologia: De indivíduos a ecossistemas*. Artmed, Porto Alegre
- Benedetti MM, Curi N, Sparovek G, Carvalho Filho A, Silva SHG (2011) Updated Brazilian's georeferenced soil database: an improvement for international scientific information exchanging. In: Gungor ROE (ed) *Principles, Application and Assessment in Soil Science*. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, pp 307-330
- Berg B, McClaugherty C (2008) *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*. Springer, Berlin

- Braun-Blanquet J, Fuller GD, Conard HS (1932) *Plant Sociology: The study of plant communities*. McGraw-Hill, Londres e Nova York
- Bustamante MMC, Nardoto GB, Pinto AS, Resende JCF, Takahashi FSC, Vieira LCG (2012) Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Braz J Biol* 72:655-671. doi:10.1590/S1519-69842012000400005
- Campos EH, Alves RR, Serato DS, Rodrigues GSSC, Rodrigues SC (2008) Acúmulo de serrapilheira em fragmentos de mata mesofítica e cerrado stricto sensu em Uberlândia-MG. *Sociedade & Natureza* 20:189-203. doi:10.1590/S1982-45132008000100013
- Cantarella H, Quaggio JA, Raij B (2001) Determinação da matéria orgânica. In: Raij B, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (eds) *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. IAC, Campinas, pp 189-199
- Cianciaruso MV, Pires JSR, Delitti WBC, Silva EFLP (2006) Produção de serrapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. *Acta Bot Bras* 20:49-59. doi:10.1590/S0102-33062006000100006
- Coleman DC, Crossley Jr DA, Hendrix PF (2004) *Fundamentals of Soil Ecology*. Elsevier Academic Press, San Diego
- Dahlgren RA, Horwath WR, Tate KW, Camping TJ (2003) Blue oak enhance soil quality in California oak woodlands. *Calif Agric* 57:42-47. doi:10.3733/ca.v057n02p42
- D'Odorico P, Porporato A (2006) *Dryland Ecohydrology*. Springer, Dordrecht
- Eiten G (1972) The Cerrado Vegetation of Brazil. *Bot Rev* 38:201-341. doi:10.1007/BF02859158
- EMBRAPA (2009) *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*, 2ª ed. Fundação EMBRAPA, Brasília, DF
- EMBRAPA (1997) *Manual de métodos de análise de solo*, 2ªed. Fundação EMBRAPA, Rio de Janeiro
- EMBRAPA (2006) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, 2ª ed. Fundação EMBRAPA, Brasília, DF
- FAO (1998) *World reference base for soil resources. World Soil Resources Report*, FAO/ISRIC/ISSS, Rome

- Ferri MG (1979) Fisiologia Vegetal 1. Epu/Edusp, São Paulo
- Furley PA, Ratter JA (1988) Soil resources and plant communities of the central Brazilian cerrado and their development. *J Biogeogr* 15:97-108. doi:10.2307/2845050
- Gholz HL, Wedin DA, Smitherman SM, Harmon ME, Parton WJ (2000) Long-term dynamics of pine and hardwood litter in contrasting environments: toward a global model of decomposition. *Global Change Biol* 6:750-65. doi:10.1046/j.1365-2486.2000.00349.x
- Guilherme FAG, Ferreira TO, Assis MA, Torrado PV, Morellato LPC (2012) Soil profile, relief features and their relation to structure and distribution of Brazilian Atlantic rain forest trees. *Sci Agric* 69:61-69. doi:10.1590/S0103-90162012000100009
- Goodland R (1971) Oligotrofismo e alumínio no cerrado. In: Ferri MG (ed) III Simpósio sobre o Cerrado. Edgard Blücher, São Paulo, pp 44-60
- Gottsberger G, Silberbauer-Gottsberger I (2006) Life in the Cerrado: a South American Tropical Seasonal Vegetation. Origin, Structure, Dynamics and Plant Use. Reta Verlag, Ulm
- Haridasan M (2000) Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. *Rev Bras Fisiol Veg* 12:54-64
- Haridasan M (1988) Performance of *Miconia albicans* (Sw.) Triana, an aluminium accumulating species in acidic and calcareous soils. *Commun Soil Sci Plant Anal* 19:1091-1103. doi:10.1080/00103628809367997
- IBGE (1995) Manual técnico de geomorfologia. Fundação IBGE, Rio de Janeiro
- IBGE (2007) Manual técnico de pedologia. Fundação IBGE, Rio de Janeiro
- IBGE (2001) Mapa de solos do Brasil. Escala 1:5.000.000. Fundação IBGE, Rio de Janeiro
- Kozovits AR, Bustamante MMC, Garofalo CR, Bucci S, Franco AC, Goldstein G, Meinzer FC (2007) Nutrient resorption and patterns of litter production and decomposition in a Neotropical Savanna. *Funct Ecol* 21:1034-1043. doi:10.1111/j.1365-2435.2007.01325.x
- Larcher W (2000) Ecofisiologia vegetal. Rima, São Carlos

- Martins FP, Costa RA (2014) A compartimentação do relevo como subsídio aos estudos ambientais no município de Ituiutaba-MG. *Soc & Nat* 26:317-331. doi:10.1590/1982-451320140209
- Miranda HS, Bustamante MMC, Miranda AC (2002) The fire fator. In: Oliveira PS, Marquis RJ (eds) *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savana*. Columbia University Press, New York, pp 51-68
- Moreno MIC, Schiavini I (2001) Relação entre vegetação e solo em um gradiente florestal na Estação Ecológica do Panga, Uberlândia (MG). *Braz J Bot* 24:537-544. doi:10.1590/S0100-84042001000500008
- Moss B (2010) *Ecology of freshwaters: a view for the twenty-first century*. John Wiley & Sons, Oxford
- Nardoto GB, Bustamante MMC, Pinto AS, Klink CA (2006) Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil and impacts of fire. *J Trop Ecol* 22:191-201. doi:10.1017/S0266467405002865
- Paiva AO, Silva LCR, Haridasan M (2015) Productivity-efficiency tradeoffs in tropical gallery forest-savanna transitions: linking Plant Soil processes through litter input and composition. *Plant Ecol* 216:775-787. doi:10.1007/s11258-015-0466-8
- Parron LM, Bustamante MMC, Markewitz D (2011) Fluxes of nitrogen and phosphorus in a gallery forest in the Cerrado of central Brazil. *Biogeochemistry* 105:89-104. doi:10.1007/s10533-010-9537-z
- Peres JRR, Suhel AR, Vargas MAT, Drozdowicz A (1983) Litter production in areas of brazilian cerrados. *Pesqui Agropecu Bras* 18:1037-1043
- Proctor J (1983) Tropical forest litterfall. I. Problems of data comparison. In: Sutton SL, Whitmore TC, Chadwick AC (eds) *Tropical rain forest: ecology and management*. Blackweel, Oxford, pp 267-273
- Raffaelli DG, Frid CIJ (2010) The evolution of ecosystem ecology. In: Raffaelli DG, Frid CIJ (eds) *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 1-18
- Raij B, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. IAC, Campinas
- Reatto A, Correia JR, Spera ST (2008) Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: Sano SM, Almeida SP (eds) *Cerrado: ambiente e flora*. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, pp 47-86

- Rengel Z (2004) Aluminium cycling in the soil-plant-animal-human continuum. *Biometals* 17:669-689. doi:10.1007/s10534-004-1201-4
- Rossatto DR, Carvalho FA, Haridasan M (2015) Soil and leaf nutrient content of tree species support deciduous forests on limestone outcrops as a eutrophic ecosystem. *Acta Bot Bras* 29: 231-238. doi:0.1590/0102-33062014abb0039
- Schiavini I (1983) Alguns aspectos da ciclagem de nutrientes em uma área de cerrado (Brasília, DF): chuva, produção e decomposição de liter. Dissertação, Universidade de Brasília
- Seastadt TR (1984) The role of microarthropods in decomposition and mineralisation process. *Annu Rev Entomol* 29:25-46. doi:10.1146/annurev.en.29.010184.000325
- Silva CJ, Sanches L, Bleich ME, Lobo FA, Nogueira JS (2007) Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. *Acta Amaz* 37:543-548. doi:10.1590/S0044-59672007000400009
- Sutherland WJ, Armstrong-Brown S, Armsworth PR et al. (2006) The identification of 100 ecological questions of high policy relevance in the UK. *J Appl Ecol* 43:617-627. doi:10.1111/j.1365-2664.2006.01188.x
- Tedesco MJ, Volkweiss SJ, Bohnen H (1985) Análise de solo, plantas e outros materiais. Boletim técnico de solos n.º 5. Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre
- Valadão MBX, Junior BHM, Oliveira B, Lúcio NW, Souza MGR, Marimon BS (2016) Biomass hyperdynamics as a key modulator of forest self-maintenance in a dystrophic soil in the Amazonia-Cerrado transition. *Sci For* 44:475-485. doi:10.18671/scifor.v44n110.20
- Valenti MW, Cianciaruso MV, Batalha MA (2008) Seasonality of litterfall and leaf decomposition in a cerrado site. *Braz J Biol* 68:459-465. doi:10.1590/S1519-69842008000300002
- Viera M, Caldato SL, Rosa SF, Kanieski MR, Araldi DB, Santos SR, Schumacher MV (2010) Nutrientes na serrapilheira em um fragmento de floresta estacional decidual, Itaara, RS. *Ci Fl* 20:611-619. doi:10.5902/198050982419
- Villalobos-Vega R, Goldstein G, Haridasan M, Franco AC, Miralles-Wilhelm F, Scholz FG, Bucci SJ (2011) Leaf litter manipulations alter soil physicochemical

properties and tree growth in a Neotropical savana. *Plant Soil* 346:385-397.
doi:10.1007/s11104-011-0860-5

Vitti GC, Otto R, Saviato J (2015) Manejo do enxofre na agricultura, nº 152.
International Plant Nutrition Institute, Piracicaba

Material Suplementar

- Do capítulo 1 (C1):

Tabela 1C1: Resultados do Teste T Independente para verificar diferença na produção de serapilheira entre as áreas (meses testados com dados originais).

	GL	t
julho	35	2,66
setembro	38	1,58
outubro	37	-0,33
novembro	37	2,46
dezembro	38	2,13
fevereiro	37	1,37
junho	38	4,13

Tabela 2C1: Resultados do Teste T Independente para verificar diferença na produção de serapilheira entre as áreas (meses testados com dados em log + 1).

	GL	t
janeiro	38	1,40
março	38	2,76
abril	37	0,74
maio	36	1,41

Tabela 3C1: Resultados do Teste T Independente para verificar diferença na produção de folhas entre as áreas (meses testados com dados originais).

	GL	t
julho	35	2,91
agosto	37	7,33
setembro	38	1,54
novembro	37	0,57
março	38	1,13

Tabela 4C1: Resultados do Teste T Independente para verificar diferença na produção de folhas entre as áreas (meses testados com dados em $\log X + 1$).

	GL	t
outubro	37	-0,71
dezembro	38	0,73
janeiro	38	-0,55
fevereiro	37	0,58
abril	37	0,26
maio	36	1,23
junho	38	4,88



Figura 1C1: Padrão fenológico decíduo em diversas plantas da área 1 durante a estação seca

Tabela 1C2: Resultados do Teste T Independente para verificar diferença no teor de Cálcio da serapilheira foliar entre as áreas (meses testados com dados originais).

	GL	t
julho	32	5,22
agosto	35	5,76
dezembro	26	4,55
março	19	3,49
abril	34	4,94
maio	35	5,47
junho	36	2,81

Tabela 2C2: Resultados do Teste T Independente para verificar diferença no teor de Cálcio da serapilheira foliar entre as áreas (meses testados com dados em log).

	GL	t
setembro	38	6,52
outubro	31	4,76
novembro	33	5,63
janeiro	28	2,86
fevereiro	21	2,91

Tabela 3C2: Resultados do Teste T Independente para verificar diferença no teor de Potássio da serapilheira foliar entre as áreas (meses testados com dados originais).

	GL	t
julho	32	3,03
agosto	35	3,19
setembro	38	2,91
outubro	31	3,17
novembro	33	2,98
dezembro	26	1,55
janeiro	28	1,76
fevereiro	21	0,87
março	19	2,65
abril	34	3,43
maio	35	3,97
junho	36	6,07

Tabela 4C2: Resultados do Teste T Independente para verificar diferença no teor de Magnésio da serapilheira foliar entre as áreas (meses testados com dados originais).

	GL	t
julho	32	6,61
setembro	38	7,09
outubro	31	7,62
novembro	33	4,77
dezembro	26	6,74
janeiro	28	3,37
fevereiro	21	2,96
março	19	3,07
abril	34	4,63
junho	36	7,16

Tabela 5C2: Resultados do Teste T Independente ou do Teste Mann-Whitney para verificar diferença no teor de Fósforo da serapilheira foliar entre as áreas (meses testados com dados originais).

	GL	t	U
julho	32	-	17,00
agosto	35	7,74	-
setembro	38	-	17,50
outubro	31	3,13	-
novembro	33	-	67,50
dezembro	26	1,30	-
janeiro	28	4,95	-
fevereiro	21	0,95	-
março	19	4,26	-
abril	34	5,26	-
maio	35	-0,81	-
junho	36	0,67	-

Tabela 6C2: Resultados do Teste T Independente ou do Teste Mann-Whitney para verificar diferença no teor de Enxofre da serapilheira foliar entre as áreas (meses testados com dados originais).

	GL	t	U
julho	32	-3,27	-
agosto	35	-2,73	-
setembro	38	-	178,00
outubro	31	0,69	-
novembro	33	-	152,00
dezembro	26	-	94,00
janeiro	28	1,11	-
fevereiro	21	-0,11	-
março	19	1,37	-
abril	34	-2,62	-
maio	35	-4,88	-
junho	36	-	289,00

Tabela 7C2: Resultados do Teste T Independente ou do Teste Mann-Whitney para verificar diferença no teor de Nitrogênio da serapilheira foliar entre as áreas (meses testados com dados originais).

	GL	t	U
julho	34	-1,11	-
agosto	37	-	228,00
setembro	38	0,01	-
outubro	34	2,22	-
novembro	35	2,98	-
dezembro	35	0,53	-
janeiro	34	1,36	-
fevereiro	31	0,91	-
março	32	-	109,00
abril	36	1,57	-
maio	35	-	132,50
junho	38	-	277,50

Conclusões Gerais

Este é o primeiro estudo de ciclagem de nutrientes em áreas de cerrado *sensu stricto* sobre dois tipos de Neossolos na mesma escala espaço-temporal. A área 1 do presente estudo, com seus elevados níveis de macronutrientes no solo (eutrófico) sem Al edáfico extraível e principalmente com afloramento rochoso calcário, representa um cerrado com características próprias e com níveis de fertilidade edáfica intermediários entre cerrados *sensu stricto* sobre Latossolos e florestas decíduas sobre Neossolos do Brasil. Tal condição nutritiva diferenciada também reflete na serapilheira foliar. Assim, indicamos a importância de mais pesquisas que caracterizem as fisionomias savânicas de Cerrado sobre Neossolos na região do Triângulo Mineiro, sobretudo naquelas com influência de calcário, até então não descritas pela literatura.

Implicações para Conservação

Até o ano 2000 foi estimado que 20% da área original do Cerrado estava intacta, mas apenas 6,2% disso estava legalmente protegida (Myers et al. 2000). Segundo os mesmos autores, o Cerrado remanescente é um dos pontos prioritários para conservação do mundo por apresentarem excepcional concentração de endemismo (plantas e vertebrados) e excepcional perda de área. Além da megabiodiversidade que ainda caracteriza o Cerrado, este cobre três aquíferos (Guarani, Bambuí e Urucaia) responsáveis por alimentar os maiores rios do continente sul americano (Buller et al. 2015). No Brasil estima-se que o Cerrado representa 23% do território nacional (Ratter et al. 1997) e apenas parte disso tem sido conservada como Unidades de Conservação (SNUC n. 4.340 / 2002), como parte integrante de imóveis rurais na forma de Reservas Legais (Código Florestal Brasileiro n. 12.561/2012) ou, eventualmente, como Áreas de Preservação Permanente quando situada em áreas sensíveis à perturbação e essenciais para manutenção de espécies, como matas ciliares, topos de morro e outras (Código Florestal Brasileiro n. 12.561/2012).

Mais de 70% da extensão ocupada pelo Cerrado é composta por fisionomias savânicas, sendo considerado um bioma savânico (Coutinho 2006). Tais fisionomias savânicas na região do Triângulo Mineiro encontram-se ameaçadas pela expansão agropecuária, constituindo-se de fragmentos limitados a no máximo 100 ha (Cavalcanti e Joly 2002). Ainda sobre as fisionomias savânicas do Cerrado, é conhecido que somente 7,3% delas ocorrem sobre Neossolos (Reatto et al. 1998), como as do presente estudo o são e estão situadas no Triângulo Mineiro. Tais Neossolos por serem rasos, irregulares e com afloramentos rochosos são inaptos para agricultura (Reatto et al. 1998; Pinto et al. 2009), dificultando tanto a penetração do sistema radicular das plantas quanto a retenção hídrica (Reatto et al. 1998).

Outro fator a ser considerado são as mudanças climáticas projetadas até o fim do século para o Cerrado. Segundo Bustamante et al. (2012), poderá aumentar a temperatura em até 4 °C na maioria do bioma e, também, diminuir a precipitação entre 20% a 70% dependendo da região, o que poderá afetar processos como a ciclagem de nutrientes. Essas mudanças climáticas são atribuídas à crescente liberação de CO₂ na atmosfera que, em parte, é causada pelo desmatamento, contribuindo com algumas gigatoneladas de carbono anualmente (IPCC 2001 apud Berthelot et al. 2002). De acordo com o inventário brasileiro de gases estufa (Brasil 2010), as emissões de C

devido ao desmatamento no Cerrado tem aumentado alguns petagramas de C por ano. Ademais, em um estudo de Rocha et al. (2002) foi estimado que cada hectare de cerrado típico (*sensu stricto*) pode estocar em sua biomassa vegetal até 0,3 petagramas de C por ano.

Considerando todo esse contexto de relevância ecológica, de ameaça e de mudança climática do Cerrado, faz-se necessário resguardar suas fisionomias savânicas para fins de pesquisa e conservação. Relativo a isso, recomendamos atenção especial se essas se encontrarem sobre Neossolos e/ou se estiverem sob influência de calcário. O qual segundo o presente estudo, tende a configurar uma savana com biomassa e ciclagem de nutrientes diferenciadas das demais áreas ocupadas por fisionomias savânicas de Cerrado, o que destaca a importância de conservá-las em âmbito regional para o avanço do conhecimento científico e para a biodiversidade do Cerrado.

Referências

- Berthelot M, Friedlingstein P, Ciais P, Monfray P (2002) Global response of the terrestrial biosphere to CO₂ and climate change using a coupled climate-carbon cycle model. *Global Biogeochem Cy.* doi:10.1029/2001GB001827
- Brasil (2012) Código Florestal Brasileiro: Lei n. 12.651/2012. República, Brasília
- Brasil (2000) Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC: Lei n. 9.985/2000. República, Brasília
- Brasil - Ministério do Meio Ambiente (2010) Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa: Emissões de CO₂ pelo uso da terra, mudança do uso da terra e florestas. Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília
- Buller LS, Bergier I, Ortega E, Moraes A, Bayma-Silva G, Zanetti MR (2015) Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop–livestock systems: Case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil. *Agr Syst* 137:206-219. doi:10.1016/j.agsy.2014.11.0040308-521X

- Bustamante MMC, Nardoto GB, Pinto AS, Resende JCF, Takahashi FSC, Vieira LCG (2012) Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Braz J Biol* 72:655-671. doi:10.1590/S1519-69842012000400005
- Cavalcanti RB, Joly CA (2002). Biodiversity and Conservation Priorities in the Cerrado Region. In: Oliveira PS, Marquis RJ (eds) *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Columbia University Press, New York, pp 351-367
- Coutinho LM (2006) O conceito de bioma. *Acta Bot Bras* 20:13-23. doi:10.1590/S0102-33062006000100002
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GAB, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858. doi:10.1038/35002501
- Pinto JRR, Lenza E, Pinto AS (2009) Composição florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em um cerrado rupestre, Cocalzinho de Goiás, GO. *Braz J Bot* 32:1-10. doi:10.1590/S0100-84042009000100002
- Ratter JA, Ribeiro JF, Bridgewater S (1997) The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. *Ann Bot* 80:223-230. doi:10.1006/anbo.1997.0469
- Reatto A, Correia JR, Spera ST (1998) Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: Sano SM, Almeida SP (eds) *Cerrado: ambiente e flora*. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, pp 47-86
- Rocha HR, Freitas HC, Rosolem R, Juárez RIN, Tannus RN, Ligo MA, Cabral OMR, Dias MAFS (2002) Measurements of CO₂ exchange over a woodland savanna (Cerrado *Sensu stricto*) in southeast Brasil. *Biota Neotrop* 2:1-11. doi:10.1590/S1676-06032002000100009