

**GRACIELLE DE BRITO SALES**

**DINÂMICA DA SERAPILHEIRA E ESTOQUES DE NUTRIENTES,  
CARBONO E NITROGÊNIO EM SOLOS DE VEREDAS NA APA DO RIO  
PANDEIROS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Produção Vegetal, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Área de concentração: Produção Vegetal

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Leidivan Almeida Frazão

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Maria das Dores M. Veloso

Montes Claros  
2016

N754d  
2016

Sales, Gracielle de Brito.

Dinâmica da serapilheira e estoques de nutrientes, carbono e nitrogênio em solos de veredas na APA do Rio Pandeiros / Gracielle de Brito Sales. Montes Claros, MG: Instituto de Ciências Agrárias/UFMG, 2016.

95 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)  
Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Leidivan Almeida Frazão.

Banca examinadora: Maria das Dores Magalhães Veloso, Rodinei Facco Pegoraro, Fabiano de Carvalho Balieiro.

Referências: f: 90-94.

1. Serapilheira. 2. Cerrado. I. Frazão, Leidivan Almeida. II. Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, III. Título.

CDU: 631.53

GRACIELLE DE BRITO SALES

DINÂMICA DA SERAPILHEIRA E ESTOQUES DE NUTRIENTES,  
CARBONO E NITROGÊNIO EM SOLOS DE VEREDAS NA APA DO RIO  
PANDEIROS

---

Profª Drª Leidivan Almeida Frazão  
(Orientadora – ICA-UFMG)

Aprovada em 11 de Janeiro de 2016.

Montes Claros  
2016

## AGRADECIMENTOS

Nesta jornada, muitas pessoas passaram por minha vida e foram fundamentais para esta conquista. Contudo, foi principalmente em Deus que tive o maior apoio para enfrentar cada obstáculo. Por isso, antes de todos, é a Ele que devo a minha gratidão, pela vida e pela a chance de concluir mais uma etapa da minha caminhada.

Algumas pessoas aparecem em nossas vidas para nos tornar melhores. Hoje posso dizer que uma dessas pessoas é o meu amigo, companheiro de profissão e de vida, meu namorado, Jonathan, a quem agradeço por todos os momentos felizes, pela força, pelo carinho e por me confortar nos momentos mais difíceis.

À minha mãe sou eternamente grata, por sempre estar ao meu lado, independentemente das minhas decisões. A ela devo o que sou hoje e dedico esta vitória.

À “grande família Brito Sales”, pelo o apoio e carinho. Tenho muito orgulho de cada um de vocês.

À Profª Leidivan, pela orientação, disposição, paciência, ensinamentos e amizade, que tornaram possível realizar este trabalho.

À professora Dora, pela coorientação e disposição, que foram essenciais para execução deste projeto.

À equipe que se formou ao longo da caminhada, especialmente aos companheiros Taynan, Jaqueline, Laila e Nayara Cristina, que batalharam de forma inestimável para execução deste projeto. Nessa lista, não poderia deixar de constar os motoristas Robert, da Unimontes, e Cleyton, do ICA, que sempre estiveram à disposição para nos servir da melhor maneira possível.

Aos amigos Isley, Leticia, Rubens e Luiz Henrique, pelos os momentos divertidos e descontraídos.

Aos professores, especialmente Dr. Yuri Zinm e Drª Maria Lígia, do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, pela recepção e pelo aprendizado durante a temporada que passei na instituição.

A todos do Laboratório de Propagação Vegetal da Unimontes, pela disponibilização da estrutura para execução da pesquisa.

Ao Ministério Público de Minas Gerais (MPMG), pelo apoio financeiro, através do “Programa Vereda Viva”.

À Universidade Federal de Minas Gerais, sobretudo ao Instituto de Ciências Agrárias e à Fundação Mendes Pimentel, que contribuíram para esta realização.

Muito obrigada!

*“Todo aquele que se dedica ao estudo da ciência chega a convencer-se de que nas leis do Universo se manifesta um Espírito sumamente superior ao do homem, e perante o qual nós, com os nossos poderes limitados, devemos humilhar-nos.”*

*(ALBERT EINSTEIN)*

## RESUMO

Dentre os diversos tipos fisionômicos de vegetação do bioma Cerrado, existem as veredas, ecossistemas úmidos associados à exsudação do lençol freático e às comunidades higrófilas, que desempenham papel fundamental no equilíbrio hidrológico. Já os ambientes adjacentes às veredas, denominados cerrados do entorno, cumprem um importante papel para proteção e manutenção de todo o ecossistema. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a dinâmica de produção, acúmulo e decomposição da serapilheira no cerrado do entorno das veredas, assim como estimar os estoques de nutrientes, carbono, nitrogênio dos solos do ecossistema vereda com diferentes estágios de degradação. Foram selecionadas três áreas na APA (Área de Preservação Ambiental) do Rio Pandeiros, localizada no Norte do Estado de Minas Gerais, classificadas como preservada (Vereda Água Doce), em estágio intermediário (Vereda Capivara) e estágio avançado de degradação (Vereda Buriti Grosso). Para a coleta da serapilheira produzida, foram dispostos aleatoriamente 10 coletores na faixa intermediária entre cerrado e vereda e para a coleta da serapilheira acumulada no solo, foi usado um gabarito vazado. As coletas foram realizadas mensalmente, durante um ano para estimar a taxa de decomposição. Amostras de serapilheira foram selecionadas aleatoriamente nos meses secos e chuvosos, para análises quanto aos atributos químicos. A amostragem do solo foi realizada por meio de trincheiras, abertas nas bordas das veredas e em faixa paralela, nos respectivos cerrados do entorno. As amostras de solo foram retiradas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30, 30-40, 40-50, 50-75 e 75-100 cm de profundidade para determinação da densidade do solo, dos atributos físico-químicos e dos estoques de carbono e nitrogênio no solo. A maior produção de serapilheira ocorreu no período seco e o maior acúmulo no solo ocorreu no período chuvoso. De modo geral, as taxas de decomposição da serapilheira dos cerrados do entorno de Água Doce, Capivara e Buriti Grosso foram baixas, com valores de 0,60, 0,53 e 0,41 respectivamente. Esses resultados podem ser atribuídos à qualidade da serapilheira. Dentre as três áreas, o cerrado preservado (Água Doce) foi aquele que apresentou a taxa de decomposição

mais elevada, resultado atribuído à maior biodiversidade de organismos decompositores do solo nessa área. Os teores de nutrientes na serapilheira produzida e acumulada no solo nas duas estações foram decrescentes, na seguinte ordem: Ca > K > Mg > P. A área mais preservada (Água Doce) apresentou os menores teores de carbono, nitrogênio e menor relação C/N no solo, tanto na vereda quanto no cerrado de entorno. Esses estoques no solo variaram de 33,37 a 124,03 Mg ha<sup>-1</sup> e de 3,94 a 10,54 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e dentre as três áreas os maiores valores foram encontrados nas Capivara e Buriti Grosso. Esses resultados foram atribuídos às intervenções antrópicas que elevaram temporalmente os valores nas áreas que atualmente se encontram mais degradadas.

**Palavras-chave:** Ambientes úmidos. Ciclagem de nutrientes. Matéria orgânica.

## **DYNAMICS OF THE LITTER AND NUTRIENTS STOCKS, CARBON AND NITROGEN IN VEREDAS SOIL EPA IN THE PANDEIROS RIVER**

### **ABSTRACT**

Among the different physiognomic types of Cerrado vegetation there are the Veredas, wetland ecosystem associated with exudation of the water table and hygrophilous communities, which play a key role in the hydrological balance. Already, the adjacent environments to the veredas, called Cerrado environment, play an important role for the protection and maintenance of the entire ecosystem. In this sense, the objective of this study was to evaluate the dynamics of production, accumulation and decomposition of litter in the vicinity of the closed paths, as well as estimate the stocks of nutrients, carbon, and nitrogen of the soil ecosystem path with different stages of degradation. Three areas were selected in the EPA (Environmental Protection Area) of the Pandeiros River, located in the North of Minas Gerais, classified as preserved AD (Vereda água doce), with intermediate stage (Vereda Capivara) and advanced degradation (Vereda Buriti Grosso). For the collection of litter produced were randomly arranged 10 collectors in the intermediate range between savanna and palm swamp, and for the collection of litter accumulated on the ground was used a leaked feedback. Samples were collected monthly for a year to estimated rate of decomposition. Litter samples were randomly selected in the dry and rainy months for analysis as to chemical attributes. Soil sampling was carried out through trenches, open the edges of paths and parallel track in their surrounding savannas. Soil samples were taken at 0-10, 10-20 and 20-30, 30-40, 40-50, 50-75 and 75-100 cm depth to determine soil density, physical-chemical properties and carbon and nitrogen stocks in the soil. Most litter production during the dry season and the biggest accumulation in the soil occurred in the rainy season. Generally the litter decomposition rates of savanna environment of Freshwater, Capybara and Buriti Grosso were low, with values of 0.60, 0.53 and 0.41. These results can be attributed to the quality of the litter. Of the three areas, the preserved cerrado (Água Doce) was the one that had the highest decomposition rate, attributable to greater biodiversity decomposing soil organisms in this area. The nutrient content in produced and

accumulated litter on the ground in both seasons was decreasing in the following order: Ca > K > Mg > P. The most preserved area (Água Doce) showed the lowest carbon, nitrogen and C/N ratio in soil, both in the path and in the surrounding savannah. These stocks in the soil varied from 33.37 to 124.03 Mg ha<sup>-1</sup> and 3.94 to 10.54 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively, and the highest values among areas were found in Capivara and Buriti Grosso. These results occur due to human interventions that temporarily raised the values in areas that currently are more degraded.

**Keywords:** humid environments. Cycling of nutrients. Organic matter.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AD – Água Doce
- APA – Área de Preservação Ambiental
- APP – Área de Preservação Permanente
- BG – Buriti Grosso
- C – Cerrado
- CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura
- COT – Carbono orgânico total
- CV – Capivara
- DCS – Departamento de Ciências do Solo
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- ENS-C – Estoque de nutrientes no solo do cerrado
- ENS-V – Estoque de nutrientes no solo de vereda
- FIG. – Figura
- GRAF. – Gráfico
- I – Imobilizado
- ICA – Instituto de Ciências Agrárias
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- K – Coeficiente de decomposição
- M – Mineralizado
- MOS – Matéria orgânica no solo
- N – Nitrogênio
- PAS – Produção anual de serapilheira
- PTS – Produção temporal de serapilheira
- SMA – Serapilheira média acumulada
- SMSC – Serapilheira média período seco e chuvoso
- TAB. – Tabela.
- UFPA – Universidade Federal de Lavras
- UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
- USP – Universidade de São Paulo
- V – Vereda
- ZEE/MG – Zoneamento ecológico econômico de Minas Gerais.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –	Esquema de distribuição da vegetação e solos ao longo das faixas de umidade no ecossistema vereda.....	20
FIGURA 2 –	Localização das áreas de estudo situadas nos municípios de Januária e Bonito de Minas localizadas na APA do Rio Pandeiros/MG.....	35
FIGURA 3 –	Representação das zonais funcionais do ecossistema veredas e a alocação das parcelas (trincheiras) nas vereda e cerrado do entorno nas áreas de estudos localizadas APA do Rio Pandeiros.....	38
FIGURA 4 –	Coletores da serapilheira produzida instalados em campo (a) e (b) e molde de PVC para coletar a serapilheira acumulada no solo (c) e (d) nas áreas de estudos localizadas APA do Rio Pandeiros.....	53

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 –	Médias mensais históricas de precipitação (mm) e temperatura (°C) da região de Januária e Bonito de Minas no período de 1985 a 2015 na APA do Rio Pandeiros.....	37
GRÁFICO 2 – (a) e (b)	Produção Anual (PAS) e Produção Temporal de Serapilheira (PTS) na estação seca e chuvosa, nos cerrados do entorno das veredas (b) nas áreas de estudos localizadas APA do Rio Pandeiros.....	57
GRÁFICO 3 – (a) e (b)	Serapilheira média acumulada no solo (a) e acumulada na estação seca e chuvosa (b) nos cerrados do entorno das veredas nas áreas de estudos localizadas APA do Rio Pandeiros.....	59
GRÁFICOS 4 –	Teores de P, K, Ca e Mg da serapilheira produzida (esquerda) e acumulada no solo (à direita) para a estação seca e chuvosa nas áreas de estudo localizadas na APA do Rio Pandeiros.....	63
GRÁFICO 5 –	Estoque de carbono C (a) e de N (b) no solo até um metro de profundidade nas áreas de vereda e cerrado de entorno na APA do Rio Pandeiros.....	72

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	Relação C/N dos resíduos orgânicos do solo e taxas de imobilização e mineralização.....	30
TABELA 2 –	Frações granulométricas (areia, silte, argila) e densidade aparente do solo do solo nos ambientes de vereda e seus respectivos cerrados do entorno localizadas na APA do Rio Pandeiros – MG.....	41
TABELA 3 –	Valores de pH, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC potencial (T), saturação por Al (m%) e saturação por bases (V%) do solo nos ambientes de vereda e seus respectivos cerrados do entorno localizadas na APA do Rio Pandeiros – MG.....	42
TABELA 4 –	Acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC potencial (T), saturação por Al (m%) e saturação por bases (V%) do solo nos ambientes de vereda e seus respectivos cerrados do entorno localizadas na APA do Rio Pandeiros – MG.....	44
TABELA 5 –	Estoque de nutrientes no solo até um metro de profundidade das veredas e cerrados do entorno para as três áreas de estudo localizadas na APA do Rio Pandeiros.....	46
TABELA 6 –	Taxa de decomposição (k) e tempos necessários para a decomposição de 50% e 95% da serapilheira nas áreas de estudos localizadas APA do Rio Pandeiros.....	60
TABELA 7 –	Estoque médio anual de nutrientes aportados na serapilheira produzida e acumulada no solo nas três áreas do cerrado do entorno localizadas na APA do Rio Pandeiros.....	66
TABELA 8 –	Teor de C, N e relação C/N no solo dos ambientes de veredas e entorno nas áreas de estudos localizadas APA do Rio Pandeiros.....	68

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
1.1	<b>Introdução geral.....</b>	<b>16</b>
1.2	Veredas.....	18
1.3	Impactos ambientais nas veredas.....	21
1.4	Produção de serapilheira.....	22
1.5	Dinâmica da matéria orgânica do solo.....	24
1.6	Ciclagem de nutrientes.....	26
1.7	Estoques de carbono e nitrogênio no solo.....	28
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS DO SOLO DO ECOSSISTEMA VEREDA NA APA DO RIO DO PANDEIROS/MG.....</b>	<b>31</b>
2.1	<b>Introdução.....</b>	<b>33</b>
2.2	<b>Material e Métodos.....</b>	<b>35</b>
2.2.1	<i>Caracterização das áreas de estudo.....</i>	<i>35</i>
2.2.2	<i>Amostragem de solo.....</i>	<i>37</i>
2.2.3	<i>Determinação dos atributos do solo.....</i>	<i>38</i>
2.2.4	<i>Análise de dados.....</i>	<i>39</i>
2.3	<b>Resultados e discussão.....</b>	<b>40</b>
2.4	<b>Conclusão.....</b>	<b>48</b>
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 3 - DINÂMICA DA SERAPILHEIRA E ESTOQUES DE CARBONO NO CERRADO ENO ECOSSISTEMA VEREDA, NA APA DO RIO PANDEIROS/MG.....</b>	<b>49</b>
3.1	<b>Introdução.....</b>	<b>51</b>
3.2	<b>Material e Métodos.....</b>	<b>53</b>
3.2.1	<i>Coleta da serapilheira produzida e acumulada no solo.....</i>	<i>53</i>
3.2.2	<i>Taxa de decomposição da serapilheira.....</i>	<i>54</i>
3.2.3	<i>Análise química da serapilheira.....</i>	<i>55</i>
3.2.4	<i>Amostragem de solo e estimativa do estoque de carbono no solo.....</i>	<i>55</i>
3.2.5	<i>Análise estatística.....</i>	<i>56</i>
<b>3.3</b>	<b>Resultados e discussão.....</b>	<b>57</b>
3.3.1	<i>Produção de serapilheira.....</i>	<i>57</i>
3.3.2	<i>Aporte temporal de nutrientes na serapilheira.....</i>	<i>62</i>
3.3.3	<i>Teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo.....</i>	<i>67</i>
3.4	<b>Conclusão.....</b>	<b>74</b>
	<b>Referências.....</b>	<b>75</b>

## CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 INTRODUÇÃO GERAL

O cerrado brasileiro abrange uma área de aproximadamente 2 milhões de km<sup>2</sup>, que inclui dez estados federativos e faz limite com todos os demais grandes biomas brasileiros (CARVALHO et al., 2008; EITEN, 1994; RATTER *et. al.*, 1997). Trata-se de um bioma de grande biodiversidade, com ambientes associados à ocorrência de eventos temporais, como os aspectos físico-químicos do solo, clima, relevo e topografia (RIBEIRO; WALTER, 1998). Embora no cerrado predominem fitofisionomias associadas a solos bem drenados e de baixa fertilidade, também ocorrem áreas úmidas com solos diferenciados, como os campos úmidos, matas de galeria inundáveis e as veredas. As veredas são ecossistemas naturais do cerrado onde ocorrem inundações periódicas ou permanentes e as condições ambientais são determinadas por tal regime hídrico (TINER, 1991; KEDDY, 2000).

Esse ecossistema úmido do cerrado está associado a solos hidromórficos e ao afloramento do lençol freático, sendo muito importante para a manutenção do equilíbrio dos processos biogeoquímicos no cerrado. Assim, as veredas são responsáveis por manter a disponibilidade e a qualidade da água, que garante a regularização da vazão dos rios do cerrado durante os períodos mais secos do ano. Além da importância ecológica e hidrológica das veredas, estas também se destacam por seu valor social nas pequenas comunidades rurais, que exploram sustentavelmente a palmeira buriti em suas diversas atividades. Entretanto, esse ecossistema é extremamente sensível às intervenções antrópicas, sobretudo por possuir pouca capacidade regenerativa quando perturbado (CARVALHO, 1991).

As veredas são conectadas aos ambientes de seu entorno, que são formados por vegetação típica de alguma das variações do cerrado. A supressão do cerrado de entorno promove o assoreamento das veredas, que comumente estão localizadas nas partes mais baixas. A consequência desse impacto é a descaracterização de tal ecossistema, acarretado pela perda de

funções ambientais, devido às modificações do solo (GUIMARÃES et al., 2002; CARVALHO, 1991).

Os impactos ambientais nas veredas são sempre muito intensos devido a interação solo-vegetação, à qual é de suma importância em solos pobres como de tal ecossistema (ABER; MELILLO, 1991). A manutenção dessas áreas depende da ciclagem de nutrientes provenientes do aporte de serapilheira, e a ruptura desta relação causa, nas veredas, modificações ainda pouco estudadas. É a partir da decomposição da serapilheira que se garante a principal via de entrada de nutrientes no solo. Assim, o cerrado de entorno garante o equilíbrio ecológico das veredas, e o rompimento dessa relação, principalmente devido ao desmatamento e às queimadas, causa alterações significativas no ecossistema.

Estima-se que, além de boa parte dos nutrientes do solo, o carbono e nitrogênio estocados também são provenientes da serapilheira. Entretanto, todos esses ciclos são complexos e de difícil compreensão em ecossistemas naturais como as veredas (ADUAN, 2003). Atualmente existem muitos estudos sobre o bioma cerrado, mas sobre o ecossistema veredas há poucos trabalhos, especialmente pesquisas para averiguar e caracterizar os efeitos da degradação ambiental sobre os atributos do solo. Dentre as poucas pesquisas sobre esse ecossistema, destacam as desenvolvidas por Guimarães *et. al.* (2002), Souza (2013), Ramos et al. (2006), que analisaram a influência das atividades agropecuária e agrícola nos solos e na água de veredas e no cerrado do entorno. Entretanto, ainda são insuficientes para explicar diversos aspectos de tal ecossistema, principalmente para auxiliar em projetos de recuperação ambiental e preservação das veredas.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a dinâmica de produção e decomposição da serapilheira no cerrado de entorno das veredas, assim como estimar os estoques de nutrientes, carbono e nitrogênio dos solos com diferentes estágios de degradação, na APA do Rio Pandeiros, localizada na região Norte do Estado de Minas Gerais.

## 1.2 Veredas - Ecossistema do cerrado

Uma das primeiras descrições das veredas foi feita pelo o escritor Guimarães Rosa em 1956, que as descrevia como caminhos utilizados nas extensas jornadas, pelos viajantes, os quais, procurando se livrar do cerrado denso, desviavam-se para uma vegetação de gramíneas e terreno aplainado, em que as condições para o deslocamento eram melhores (FERREIRA, 2008). Atualmente o termo “vereda” é usado para descrever o ecossistema úmido do cerrado, que tem como característica marcante os solos hidromórficos e as comunidades da palmeira arbórea (*Mauritia flexuosa*), popularmente conhecida como buriti (BOAVENTURA, 2007). A formação desse ambiente está condicionada ao afloramento do lençol freático, decorrente da alternância de camadas do solo de diferentes permeabilidades (CARVALHO, 1991; RIBEIRO; WALTER, 1998).

No aspecto fitogeográfico, as veredas estão incluídas como parte da formação savânica do bioma cerrado (RIBEIRO; WALTER, 1998). Assim, ocorrem em boa parte todo território brasileiro, abrangendo várias regiões do país. De acordo com Boaventura, (2007) e Rizzini, (1997), o cerrado é um dos únicos biomas que fazem limite com todas as demais fitofisionomias brasileiras, fator que contribui para uma maior biodiversidade.

Segundo Barbosa (1967), a grande relevância das veredas decorre de essas áreas constituírem espaços de concentração de água dentro de extensas regiões secas, como as semiáridas do Norte de Minas Gerais. Aguiar; Camargo (2004) ressaltam que esses locais funcionam como vias de drenagem, que colaboram para a perenidade e a regularidade de cursos d’água, basicamente atuando como bacias coletoras no bioma cerrado. De acordo com Castro (1980), uma das principais funções das veredas é promover o equilíbrio geocológico do bioma cerrado e a proteção das nascentes. Para Ferreira (2008), esse é um importante ecossistema do cerrado, de significado ecológico e socioeconômico regional, por constituir refúgios florísticos de espécies dependentes desse ambiente.

Em função da importância das veredas, estas são consideradas áreas de preservação permanente previstas no Código Florestal (Lei nº 12.651 de 25/05/2012), sendo definidas como a “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012).

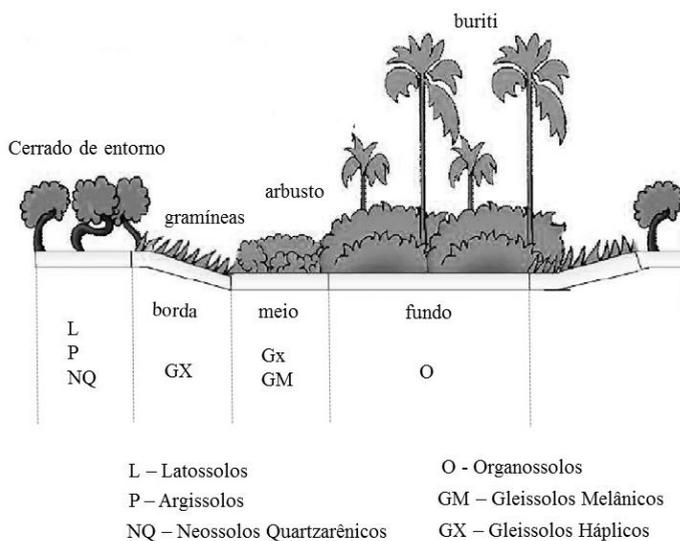
Quanto aos tipos de veredas, Boaventura (2007) os agrupa em pelo menos três classes conforme a geomorfologia:

- i) Vereda de superfície aplainada: as nascentes se encontram em solo argiloso, turfoso, rico em matéria orgânica, nas zonas encharcadas e arenosas, nas zonas menos úmidas e com matas de galeria;
- ii) Vereda de encosta: há predominantemente solos arenosos (raramente argilosos) e uma cobertura herbácea; costuma ocorrer sob a forma de meia lua, em bordas de chapadas e declives pouco acentuados;
- iii) Vereda-várzea: a nascente ocorre em transição com a área de acumulação de sedimentos aluviais. Localiza-se em planícies de inundação, com vegetação transicional de herbáceas para buritizais.

Em relação à vegetação, as veredas são formadas basicamente por dois estratos: um herbáceo-gramíneo e outro arbustivo-arbóreo (RIBEIRO; WALTER, 1998). Nas bordas das veredas, ocorre a mata de galeria ou cerrado de entorno, cuja função é proteger a parte do ecossistema onde se formam os solos alagados e turfosos (COSTA; OLSZEVSKI, 2008). Os diferentes substratos vegetais das veredas seguem um padrão transversal em função da disponibilidade hídrica (MAILLARD et al., 2009). Esse fato ocorre devido à altura do lençol freático, o qual se distribui a partir do cerrado de entorno e aflora na calha (nascentes dentro das veredas), constituindo diferentes zonas funcionais associadas ao tipo de solo formado. Segundo Neves (2011), no fundo das veredas ocorrem as comunidades higrófilas, representadas pelos buritis (*Mauritia flexuosa*), dispostos em agrupamentos ou alinhados com a faixa do solo mais turfoso. No entorno das áreas mais pantanosas, conforme a

umidade diminui, ocorre o estrato de plantas herbáceas, fazendo limite com o cerrado (BAHIA et al., 2009; DRUMMOND et al., 2005). Souza (2013) nomeia essas diferentes zonas como terço inferior, terço médio e terço superior. Essa mesma divisão equivale à descrição relatada por Ramos (2004) como fundo, meio e borda (FIG.1).

**FIGURA 1** – Esquema de distribuição da vegetação e solos ao longo das faixas de umidade no ecossistema vereda.



Fonte: Adaptado de Ramos, 2004; Ribeiro e Walter, 2008.

Assim, onde o lençol freático se encontra mais próximo à superfície, ocorre maior hidromorfismo (Organossolos), e, à medida que o lençol freático fica mais profundo, aparecem os Gleissolos e suas variações, já fazendo limite com o cerrado do entorno (RAMOS, 2004). Já nos solos do cerrado de entorno das veredas predominam as classes mais expressivas do bioma cerrado, como os Latossolos, Argissolos e Neossolos Quartzarênicos (EMBRAPA, 2006). De acordo com Carvalho (1991), essas diferenciações do solo nas veredas também ocorrem devido à topografia e à alternância de camadas do solo com diferentes permeabilidades.

### 1.3 Impactos ambientais nas veredas

Nas últimas décadas, o acelerado processo de expansão agrícola na região do bioma cerrado tem prejudicado a sustentabilidade dos ecossistemas ligados a esse bioma, causando desequilíbrios ambientais como erosão do solo e diminuição dos mananciais. Assim, o desconhecimento do potencial de uso dos recursos naturais, o desrespeito às leis de proteção ambiental e a intensidade de exploração agrícola têm provocado prejuízos irreparáveis ao solo, à fauna, à flora e aos recursos hídricos (SILVA et al., 2009).

Nesse contexto, assim como em todo o cerrado, as veredas sofrem fortes antropizações, através da sua exploração para diversos fins, dentro os quais se destacam a pecuária e a agricultura, que acarretam grandes problemas ambientais, alterando as funções bióticas e descaracterizando o ecossistema. As características mais favoráveis às atividades agrícolas das veredas fazem com que estas sejam amplamente exploradas, o que acaba provocando mudanças nas características naturais do solo e contaminando a água pelo uso de corretivos de solo, fertilizantes e agrotóxicos (OLIVEIRA; FERREIRA, 2007). Já a pecuária extensiva causa a compactação do solo com o pisoteio de animais e promove a supressão da vegetação herbácea e gramíneas nativas, desencadeando, assim, todo um processo de degradação (RAMOS et al., 2006). O principal impacto gerado por todas essas ações é o assoreamento das áreas mais baixas, onde se situam as calhas das veredas, o qual altera os atributos do solo, acarreta o soterramento de nascentes, que culmina nas perdas das funções ambientais do ecossistema (GUIMARÃES, 2001).

Segundo Guimarães e Araújo (2002), a descaracterização das veredas é intensificada com a construção de barragens, a supressão da vegetação, as construções de estradas sem planejamento, a utilização das suas várzeas como estradas naturais e a drenagem do solo para a plantação de culturas agrícolas, como é caso do arroz. Os mesmos autores ressaltam que, em muitas veredas, é comum encontrar plantações de eucalipto, principalmente

nas áreas de recarga situadas nos cerrados de entorno. Muitos desses impactos ambientais foram decorrentes de projetos financiados pelo governo, como a drenagem das veredas, na década de 1960, para o projeto Pró-várzea (NUNES et al., 2009). Esses impactos podem influenciar na fertilidade do solo; conseqüentemente, na comunidade vegetal e no regime hídrico dos cursos d'água (GUIMARÃES et al., 2002; BAHIA et al., 2009).

O uso de queimadas é outro grande problema que ameaça as veredas, pois essas áreas não apresentam resistência ao calor como o cerrado, que resiste aos incêndios florestais através de adaptações especiais da vegetação pirófitas. No cerrado, as temperaturas raramente ultrapassam 50°C nos primeiros 5 cm abaixo da superfície, de modo que provocam poucos efeitos sobre os solos (MIRANDA et al., 1993). Já nas veredas, o acúmulo de matéria orgânica facilita o alastramento do fogo com maior rapidez, causando a destruição da flora e da fauna. A queima do material turfoso, com o tempo, causa o empobrecimento do solo pela perda de seus nutrientes e de carbono, por meio da volatilização e pela destruição da microbiota existente (BOND; WILGEN, 1996). Guimarães et al. (2001) ressaltam que esse ecossistema é extremamente sensível às alterações ambientais, principalmente por possuir baixa resiliência.

#### **1.4 Produção de serapilheira**

A serapilheira consiste na camada de resíduos orgânicos que se forma sobre o solo dos ecossistemas naturais ou agrícolas, sendo constituída por folhas, gravetos, ramos, caules, frutos, flores, sementes, além de dejetos de animais (OLSON, 1963). A grande importância desse material é por constituir a principal fonte de matéria orgânica no solo (MOS), que cumpre papel essencial na manutenção dos ecossistemas naturais (DELITTI, 1984; KÖNIG et al., 2002). Assim, a serapilheira desempenha duas das mais importantes funções para equilíbrio dos ecossistemas: primeiro, ela é parte essencial no ciclo de nutrientes; e segundo, a mesma forma uma camada protetora na superfície do solo que regula as condições microclimáticas (SAYER, 2005;

CALDEIRA et al., 2010; CALDEIRA; SCHUMACHER, 2013). Nas florestas tropicais em que predominam as cadeias tróficas de detritos, as transformações associadas à ciclagem de nutrientes ocorrem no compartimento da serapilheira, onde se concentra a maior parcela da energia que flui no sistema como importante reservatório de nutrientes (GOLLEY et al., 1978).

Nesse sentido, a quantidade de serapilheira aportada e/ou acumulada no solo é fundamental para avaliar os processos que envolvem o sistema planta-solo. Entretanto, a sua quantidade e qualidade variam principalmente em função da tipologia vegetal e das condições climáticas (CORREIA; ANDRADE, 2008). Além desses dois fatores, vários outros parâmetros afetam a quantidade de resíduos que caem da parte aérea das plantas. Dentre esses, destacam-se o solo, as características genéticas das plantas, a idade, o estágio de sucessão ecológico e a densidade de plantas (CORREIA; ANDRADE, 2008). Outros fatores bióticos e abióticos também influenciam na deposição da serapilheira, destacando-se a latitude, a altitude, a temperatura, a precipitação, o estágio sucessional, a disponibilidade hídrica, o estoque de nutrientes no solo, a umidade do solo e o vento (BRUN *et al.*, 2001; CALDEIRA et al., 2008; FIGUEIREDO FILHO et al., 2003).

A produção de serapilheira pode ser determinada, em uma escala mais ampla, pela distribuição das chuvas, a qual influencia a disponibilidade de água no solo, e numa escala mais restrita, pela disponibilidade de nutrientes (VITOSOUK et al., 1996). Os padrões de produção e acúmulo apresentam uma ampla heterogeneidade temporal e espacial, conforme a estrutura e a dinâmica da comunidade vegetal (FACELLI; PICKETT, 1991).

A deposição de serapilheira é maior em regiões tropicais do que em regiões temperadas (CORREIA; ANDRADE, 2008). Em geral, a nutrição da planta é melhor em regiões onde a disponibilidade de água é maior e mais contínua, em razão do melhor transporte dos nutrientes no solo por fluxo de massa e, em especial, por difusão (NOVAIS; BARROS, 1996).

Por outro lado, florestas sobre solos de baixa fertilidade, em geral, retornam menor aporte de serapilheira em relação a solos mais férteis. Em

média, ambientes tropicais sobre solos de baixa fertilidade apresentam aproximadamente  $7,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de matéria seca em forma de resíduos orgânicos que formam a serapilheira. Já em solos de fertilidade média, essa produção é de  $10,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e, nas áreas montanhosas, de  $6,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (CORREIA; ANDRADE, 2008).

As condições ambientais das áreas com elevados graus de perturbação possuem uma maior quantidade de espécies pioneiras de crescimento rápido e normalmente investem mais em produção de biomassa, produzindo maior quantidade de serapilheira (MARTINS; RODRIGUES, 1999) A situação é diferente em áreas menos perturbadas, devido a menor presença de espécies secundárias tardias, que produzem menos biomassa, apresentando, porém, maior longevidade (ARAÚJO et al., 2005).

### **1.5 Dinâmica da matéria orgânica do solo**

A matéria orgânica do solo (MOS) é composta por todo o carbono (C) orgânico presente no solo, considerando-se três reservatórios: a MOS transitória, composta por resíduos de plantas e organismos de fácil decomposição; a MOS humificada, composta por materiais recalcitrantes, os quais passaram por um processo intenso de transformação de materiais carbonizados; e a biomassa formada pela meso e macrofauna, além da microbiota do solo (ROSCOE et al., 2006).

A matéria orgânica contém cerca de 58% de C e é um dos indicadores da qualidade do solo, pois interage com os aspectos físicos, químicos e biológicos do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). A importância da MOS nas propriedades físicas do solo está relacionada à participação desta como agente cimentante de agregação do solo, que influencia na retenção de água, na penetração das raízes e na resistência à erosão (JIAO; WHALEN; HENDERSHOT, 2006). No aspecto químico, a MOS é responsável por prover as cargas negativas, reter os cátions no solo, fontes de carbono, energia para os microrganismos e complexação de substâncias tóxicas e micronutrientes (WORF; SNYDER, 2003). Embora, a MOS seja apenas pequena parte da

massa total dos solos, ela é componente essencial nos diversos processos químicos, físicos e biológicos de ecossistemas terrestres naturais (PICCOLO, 1996; CHRISTENSEN, 2000; CARTER, 2001).

Em ambientes tropicais, os processos de degradação dos solos encontram-se intimamente relacionados à dinâmica da matéria orgânica (FELLER; BEARE, 1997), por esta ser essencial para os ciclos biogeoquímicos. A MOS tem um importante papel na produtividade, pois domina a reserva de nutrientes (N, P, S, como cátions básicos, Ca, Mg, K e Na), melhora a capacidade de reter água, influencia no pH do solo, possui alta capacidade de troca catiônica (CTC), evitando a lixiviação de cátions metais (ZECH et al., 1997). No caso das veredas, é a matéria orgânica que garante as funções básicas do ambiente. A perturbação dos sistemas nativos nos trópicos geralmente resulta em uma rápida perda de C orgânico, em virtude da combinação de altas temperaturas e umidade (SCHOLES; BREEMEN, 1997). De acordo com Roscoe et al. (2006), os teores totais de MOS são importantes para o entendimento dos processos de degradação do solo.

Em solos alagados ocorrem as menores taxas de reações de decomposição e, assim, uma série de compostos intermediários são formados, alterando toda a dinâmica da MOS no sistema (PONNAMPERUMA, 1972; CAMARGO et al., 1993). Nos ambientes úmidos, como as veredas, o material mal decomposto garante o acúmulo de grande quantidade de material orgânico. Neves (2011) ressalta que nas veredas a palmeira buriti é a principal via de entrada de carbono no solo, devido à capacidade dessa espécie em produzir grande quantidade de biomassa, e, além disso, por suas folhas serem ricas em material fibroso de difícil decomposição.

Na região em interface com cerrado, a matéria orgânica é proveniente basicamente do estrato gramíneo e dos pequenos arbustos que migram do cerrado para dentro do ambiente de veredas. As alterações dos teores de MOS podem ter efeitos negativos nos ecossistemas naturais (SAGGAR et al., 2001). Desta forma, a perda deste compartimento e de suas funções eleva a perda da qualidade do solo (SANCHEZ et al., 2003).

## 1.6 Ciclagem de nutrientes

Em ecossistemas naturais, a ciclagem de nutrientes envolve o processo de transferência dos minerais aportados na biomassa vegetal para o solo. A decomposição da biomassa possibilita a liberação dos nutrientes que posteriormente são reabsorvidos pelas plantas (TOLEDO; PEREIRA, 2004). A ciclagem de nutrientes em florestas pode ser analisada através da compartimentalização da biomassa acumulada nos diferentes estratos; da quantificação das taxas de nutrientes que movimentam entre seus compartimentos, através da produção, acúmulo de serapilheira no solo, decomposição e lixiviação (ALVES et al., 2006). Desse modo, o compartimento formado pela serapilheira no solo é o sítio de todas as etapas de decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (SCHEER, 2008).

De acordo com Gama-Rodrigues (2004), o processo de ciclagem de nutrientes pode ser avaliado conforme o objetivo do estudo e pode ser composto também pelo ciclo biogeoquímico. Este inicia-se com o processo de absorção e acúmulo do nutriente na biomassa, sua alocação nos diferentes compartimentos da planta e renovação de raízes. A incorporação do material orgânico no solo ocorre mediante a decomposição da serapilheira acumulada e conclui-se com a reabsorção do nutriente pela planta (GAMA-RODRIGUES, 2004). Dentre os ciclos biogeoquímicos, estão o da água, do nitrogênio (N), do fósforo (P), do C e do enxofre (S). As variações nas suas concentrações de nutrientes na serapilheira são indicadoras da intensidade da ciclagem biogeoquímica dos nutrientes da serapilheira (CUNHA et al., 2009).

Os estudos da ciclagem de nutrientes desempenham um papel importante no conhecimento das condições e da dinâmica dos processos internos dos ecossistemas naturais, que auxiliam no entendimento das rápidas mudanças provocadas pela exploração florestal no meio ambiente (VOGEL et al., 2007). A ciclagem de nutrientes constitui uma via importante do ciclo biogeoquímico, especialmente em solos altamente intemperizados, nos quais a biomassa vegetal é o principal reservatório de nutrientes (VITOUSEK, 1986). Um de seus processos mais importantes é a decomposição (MONTAGNINI;

JORDAN, 2002), que além de regular a disponibilidade de nutrientes para as plantas, quando está em estágio avançado forma os húmus, matéria orgânica escurecida, homogênea e muito rica em polifenóis e N. Sendo assim, a decomposição representa um processo-chave na manutenção da fertilidade do solo (SILVER; MIYA, 2001) e é um dos fatores limitantes no estabelecimento e desenvolvimento de ecossistemas florestais (VITOUSEK; SANFORD, 1986).

O processo de decomposição constitui um processo biológico básico, no qual o C é reciclado para a atmosfera na forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o N pode se tornar disponível nas formas dos íons amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), e outros elementos, como P, cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e vários micronutrientes, podem se transformar em formas requeridas pelas plantas superiores (MARTINS, 2010).

Por outro lado, a heterogeneidade vertical da serapilheira, ou seja, sua diferenciação em camadas, é decorrente da velocidade de decomposição que, por sua vez, é determinada por fatores climáticos, edáficos e biológicos. De acordo com Cole (1980), o tempo de permanência dos nutrientes estocados na serapilheira depende da velocidade de decomposição desse material, a qual varia de acordo com a cobertura vegetal. A celulose, dentre os polímeros, é a que mais influencia nos padrões de mineralização de C e N (MTAMBANENGWE; KIRCHMANN, 1995). A qualidade dos compostos orgânicos tem sido definida, principalmente, por meio de sua composição química, como os teores de carbono, nitrogênio, lignina, celulose, hemicelulose, polifenóis e pelas razões C/N e C/P (SWIFT et al., 1979).

Esses atributos químicos afetam a atividade microbiana, influenciando os processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, o fornecimento de nutrientes às plantas (PARTON et. al., 2007). Os componentes químicos dos resíduos possuem total influência no processo de mineralização do N no solo, permitem estimar a reserva de nutrientes e funcionam como indicadores do estado real do solo. Em ecossistemas tropicais, a serapilheira e os seus nutrientes têm menor tempo de permanência do que em florestas coníferas e boreais. Em geral, o K é o nutriente de mais rápida liberação da serapilheira em todos os ecossistemas

(GAMA-RODRIGUES, 1997). A dinâmica desse processo depende, entre outros fatores, das características de cada componente da serapilheira, tais como teor de lignina e nutrientes, resistência, componentes secundários, massa e tamanho do material (ABER; MELILO, 1978).

Dos componentes da serapilheira, as folhas, em geral, estão em maior proporção e apresentam a maior taxa de decomposição (FASSBENDER, 1993). Existe, porém, uma fração delas de difícil decomposição, com muitas estruturas lignificadas, que representam em torno de 30 a 40% da serapilheira (ANDERSON; SWIFT, 1983).

Há dois principais métodos para medir a decomposição da camada de serapilheira, sendo o valor de K, que relaciona a quantidade de material que cai do dossel (“litterfall”) e a que está depositada sobre o solo (serapilheira), e o método direto, por meio de medidas da perda de massa em sacos de tela para o estudo da decomposição – “litterbags” – (ANDERSON; SWIFT, 1983). De acordo com Kolm e Poggiani (2003), em florestas decíduas típicas, o período de queda da serapilheira total é restrito e a decomposição pode ser facilmente estudada em intervalos regulares após a queda do material. Esses métodos citados apresentam variações, mas, segundo o autor, a escolha depende do objetivo da pesquisa a ser realizada.

## **1.7 Estoques de carbono e nitrogênio no solo**

O estoque de carbono (C) distribui-se em quatro principais reservatórios no globo: os oceanos, a atmosfera, os ecossistemas terrestres e as formações geológicas, que contêm C fóssil e mineral, os quais estão em equilíbrio (LAL et al., 2004). O solo é o compartimento com maior reservatório de carbono da superfície terrestre, com valores cerca de duas a três vezes superiores à acumulada na biomassa (BATJES, 1996). Assim, a atmosfera é aproximadamente duas vezes mais sensível às alterações que provocam o desequilíbrio de carbono entre o sistema solo-atmosfera (PITOMBO, 2011).

A maior parte desse carbono do solo pode ser orgânico, dependendo do material de origem do solo e do balanço entre a adição de materiais,

decomposição e mobilização destes no solo (BATJES, 1996). Já do total do nitrogênio orgânico terrestre, cerca de 96% estão na MOS morta e apenas 4% nos organismos vivos, sendo que o N na matéria viva se encontra predominantemente nas plantas (94%), microbiota (4%) e animais (2%) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). As quantidades de C e N orgânicos num determinado solo são o resultado principalmente do balanço entre adições e remoções ocasionadas por processos como decomposição, mineralização ou erosão (GREGORICH et al., 1997). Daí a importância do conhecimento sobre os estoques de carbono e nitrogênio em diferentes classes de solos para avaliar o que pode ser perdido ou aportado com o uso e a mudança da terra, assim como o manejo mais adequado para manter o carbono por mais tempo no solo (LAL, 2004).

Globalmente, as florestas são os maiores sumidouros de carbono, uma vez que as plantas e o solo, este em maior percentual, são os grandes sequestradores e armazenadores de carbono (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003; CUNHA et al., 2009; SILVEIRA et al., 2008). A distribuição de carbono pode ser diferente nas diferentes profundidades do solo, podendo estar associadas principalmente ao tipo de fisionomia (LAL, 2008; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 1999; MORAIS et al., 2013; ZHERNG et al., 2008).

Dentre os ambientes com maior capacidade de armazenamento de carbono no solo estão as florestas e savanas tropicais (cerrado), com cerca de 158 a 146 gigatoneladas de C (GtC) até 3 metros de profundidade (JOBAGY; JACKSON, 2000). Entretanto, segundo Aduan, Vilela e Klink (2003), pouco ainda se sabe sobre a forma de ciclagem, a velocidade dos fluxos e o estoque de carbono em ecossistemas, devido à falta de dados pontuais. Sabe-se que os solos do cerrado são responsáveis por armazenar mais de 90% do carbono abaixo da serapilheira (PAIVA; FARIA, 2007). Morais et. al. (2013a), em estudos no Cerradão do Norte de Minas Gerais, determinaram que o solo tem 64,8% de contribuição do estoque de carbono total. Entretanto, os impactos ambientais, como a supressão da cobertura edáfica natural, refletem em mudanças consideráveis nas quantidades totais de C e N orgânicos presentes no solo (GREGORICH et al., 1997).

Já a relação C/N é um indicador importante da decomposição da matéria orgânica do solo, dando informação sobre o estado de humificação. O equilíbrio entre as taxas de mineralização e imobilização depende da qualidade e quantidade de C no resíduo e da relação entre carbono e nitrogênio (TAB. 1). Os tecidos microbianos possuem uma relação C/N entre 20 e 30. Valores abaixo de 20 são considerados baixos, tendo a imobilização. A relação C/N afeta a disponibilidade de nitrogênio disponível no solo (RAIJ, 1983).

**TABELA 1-** Relação C/N nos resíduos orgânicos do solo e as taxas de imobilização e mineralização.

Relação C/N	Imobilização (I)/Mineralização(M)	Disponibilidade N
> 30	$I > M$	Diminuída
20 – 30	$I = M$	Não alterada
< 20	$I < M$	Aumentada

Fonte: Moreira e Siqueira, 2006.

Em geral, a relação C/N é mais baixa em solos de zonas áridas do que em zonas úmidas, quando as condições de temperatura são semelhantes (LUCHESE et al., 2002). As florestas tropicais normalmente são mais ricas em N do que os ambientes temperados, devido a uma maior ciclagem desse elemento (MARTINELLI et al., 1999). Assim as taxas de mineralização e nitrificação são mais elevadas nas florestas tropicais e são consideradas importantes indicadores de suprimento de N-mineral no solo que pode afetar a absorção pelas plantas, sobretudo após distúrbios (NALDELHOFFER; ABER; MELILLO, 1983).

## **CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS DO SOLO DO ECOSISTEMA VEREDA NA APA DO RIO DO PANDEIROS/MG**

### **RESUMO**

O objetivo desta pesquisa foi caracterizar os solos do ecossistema vereda e de seus respectivos cerrados de entorno, em diferentes estágios de degradação, na APA do Rio Pandeiros/MG. Para isso, foram analisados os atributos químicos, a granulometria, a densidade aparente e os estoques de nutrientes no solo. Foram selecionadas três áreas de veredas e seus respectivos cerrados de entorno: Vereda Água Doce- preservada; Vereda Capivara-degradação intermediária; Vereda Buriti Grosso - degradação avançada. As amostragens de solo foram realizadas a partir de aberturas de trincheiras nas bordas das veredas e nos respectivos cerrados de entorno. As amostragens de solo foram feitas nas camadas de 0–5, 5–10, 10–20, 20–30, 30-50, 50-75 e 75-100 cm de profundidade. As amostras foram analisadas no Laboratório de Solos do ICA/UFMG. Os solos dos dois ambientes (veredas e cerrados de entorno) foram classificados como arenosos e com elevada densidade aparente. Em ambas as áreas, o pH apresentou caráter ácido, com soma de bases, Al e CTC muito baixos nos dois ambientes característico de solos do Cerrado. O potássio foi o elemento que apresentou maior variação entre as áreas, com maiores valores na área mais degradada (vereda Buriti Grosso), entretanto não foi possível inferir a relação desse elemento com as intervenções antrópicas. Os estoques de nutrientes apresentaram valores maiores nos ambientes de cerrado, e para as três áreas de estudo a sequência foi decrescente na seguinte ordem: K>Ca>Mg>P tanto no ambiente de vereda como no cerrado do entorno

**Palavras-chave:** Cerrado. Estoques de nutrientes. Fertilidade do Solo.

## CHAPTER 2 –SOIL ATTRIBUTES OF VEREDA ECOSYSTEM IN THE EPA OF PANDEIROS RIVER

### ABSTRACT

The aim of this study was to characterize the soils of the path ecosystem and their surrounding savannas, in different stages of degradation, the APA Pandeiros River. For this, the chemical attributes were analyzed, the particle size, bulk density and nutrient stocks in the soil. Three areas of their path and closed the surroundings were selected: Vereda Água Doce (AD) - preserved; Vereda Capivara (CV) - intermediate degradation; Vereda Buriti Grosso (BG) advanced degradation. The soil samples were taken from trenches openings on the edges of paths and their surrounding savannas. Soil samples were collected in layers of 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-75 and 75-100 cm deep. The samples were analyzed in the ICA/UFMG Soils Laboratory. The two environments soils (paths and surrounding savannahs) are classified as sandy and with high density. In both areas, the pH had acidic character, with sum of Al and CTC very low base in both environments Cerrado soil characteristics. Potassium was the element that showed greater variation between areas, with higher values in the most degraded (Buriti Grosso), however it was not possible to infer the relationship of this element with the human interventions. Nutrient stocks showed higher values in closed environments and descending sequence follows the following order  $K > Ca > Mg > P$ , in all three areas both in the path environment as in the surrounding cerrado.

**Keywords:** Cerrado. nutrients stocks. Soil fertility.

## 2.1 INTRODUÇÃO

As intervenções antrópicas nos ecossistemas naturais podem provocar alterações significativas nas propriedades do solo, sobretudo nos seus atributos físicos e químicos. Esse fato está associado principalmente ao desconhecimento do potencial de uso dos recursos naturais, conjuntamente com o desrespeito às leis de proteção ambiental e a intensidade de exploração agrícola (SILVA et al., 2001). Essas ações têm provocado prejuízos irreparáveis ao solo, à fauna, à flora e aos recursos hídricos. Portanto, preocupar-se com o uso e o manejo do solo, assim como manter e/ou promover sua qualidade, torna-se imprescindível para a redução dos impactos ambientais.

O bioma Cerrado foi responsável pela expansão agrícola do Brasil, promovendo diversas mudanças no uso do solo e, conseqüentemente, atingindo seus ecossistemas mais frágeis. Assim, muitos ecossistemas desse bioma, que se localizam em áreas mais propícias às alterações do solo, têm perdido muitas das suas características. Dentre esses casos, estão as veredas e as margens de cursos d'água, as quais têm a sua vegetação original (nativa) suprimida e substituída por atividades agropecuárias, principalmente para implantação de pastagens e cultivos agrícolas.

A substituição da cobertura vegetal natural por atividades agropastoris, associada ao emprego de práticas de manejo inadequadas, pode causar a redução expressiva dos estoques de MOS e, conseqüentemente, a perda de algumas propriedades do solo (GUO; GIFFORD, 2002; MACHADO, 2005; WENDLING et al., 2011). Além disso, as alterações na dinâmica da matéria orgânica afetam diretamente a temperatura, a umidade e a diversidade de microrganismos do solo, que são responsáveis pelo processo de ciclagem de nutrientes – processo essencial para a manutenção dos ecossistemas naturais.

No caso das veredas, os impactos ambientais que promovem modificações de propriedades do solo e das funções ecológicas desse ecossistema são provenientes não somente da utilização direta dessas áreas,

mas também do uso das terras adjacentes (BURBRIDGE, 1994; HOULAHAN et al., 2006). Essas alterações afetam, sobretudo, a MOS, e podem promover a descaracterização do ambiente, com perdas consideradas irreversíveis.

Embora os atributos físico-químicos, como fertilidade, textura e estrutura, modifiquem muito lentamente, são amplamente utilizados para avaliações qualitativas e estudos que visam entender o comportamento do ecossistema em função da intensidade antrópica (PASCUAL et al., 2000). O estudo dessas propriedades do solo é de suma importância para definir a qualidade do solo, bem como as estratégias mais adequadas para o seu manejo e recuperação de áreas degradadas. Assim sendo, a avaliação das propriedades físicas, bem como dos impactos dos sistemas de uso e manejo do solo, é de grande importância para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis e para a manutenção de ecossistemas naturais (ARAÚJO et al., 2004; VIANA et al., 2011).

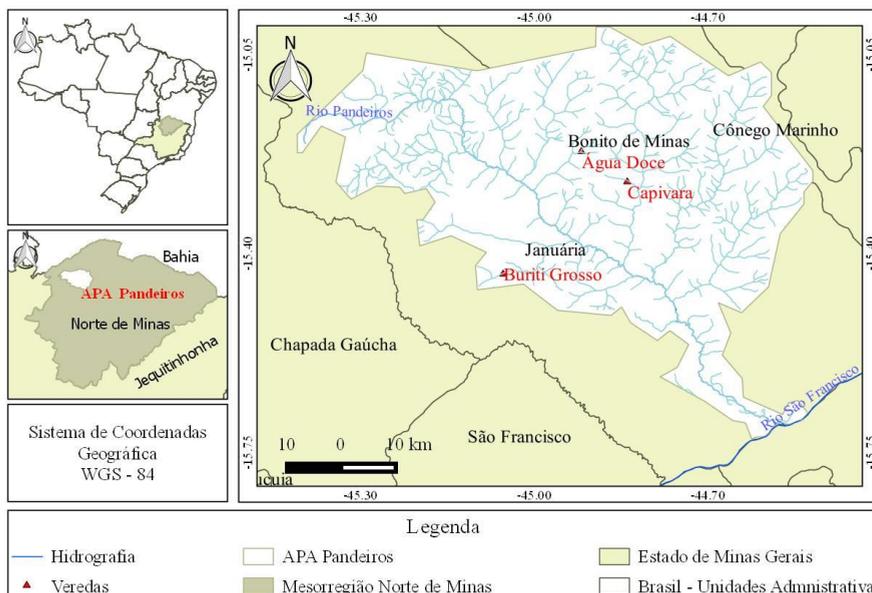
Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa foi caracterizar e avaliar os atributos do solo dos ecossistemas vereda e de seus respectivos cerrados de entorno, com diferentes estágios de degradação, na APA do Rio Pandeiros/MG.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Caracterização das áreas de estudo

As áreas de estudo estão localizadas na APA (Área de Preservação Ambiental) do Rio Pandeiros, situada na região Norte do Estado de Minas Gerais, nos municípios de Bonito de Minas e Januária (FIG. 2). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado e os tratamentos utilizados neste estudo consistem em três áreas de veredas e seus respectivos cerrados de entorno (constituindo seis ambientes - três veredas e três cerrados), em diferentes estágios de degradação: uma conservada, uma em fase inicial de degradação e outra com amplo histórico de degradação. As referidas áreas são conhecidas, respectivamente, como Água Doce ( $15^{\circ}20' 03.1''$  S,  $44^{\circ}51' 00.0''$  W), Capivara ( $15^{\circ}16' 10.23''$  S,  $44^{\circ}51' 13.6''$  W) e Buriti Grosso ( $15^{\circ}26' 26.6''$  S,  $45^{\circ}3'55''$  W).

**FIGURA 2** - Localização das áreas de estudo situadas nos municípios de Januária e Bonito de Minas localizadas na APA do Rio Pandeiros/MG.



Fonte: Adaptado; ZEE/MG (2009)

A vereda conservada, denominada de Água Doce, é uma das poucas áreas nessa condição em toda a região, apesar de frequentemente ocorrer queimadas naturais, sobretudo no cerrado de entorno. Todo o ambiente da vereda encontra-se bastante preservado, com suas espécies de vegetação típica e as zonas de formação dos solos hidromórficos bem definidas. O cerrado do entorno da vereda também se encontra preservado, com espécies mais adaptadas.

A Vereda Capivara passou por intervenções antrópicas que acarretaram impactos considerados irreversíveis; como o assoreamento das partes mais baixas. As ações antrópicas são provenientes principalmente da pecuária extensiva, das queimadas anuais e do desmatamento do cerrado de entorno, que contribuíram para a descaracterização do ambiente. Os solos próximos à calha da vereda sofreram processos de pedoturbação, com grandes variações ao longo do perfil avaliado.

A Vereda Buriti Grosso atualmente encontra-se inserida em Reservas Particulares de Patrimônio Natural – RPPNs da empresa RIMA. Entretanto, apresenta um amplo histórico de intervenções antrópicas pela exploração a partir da década de 1960, em virtude dos grandes projetos de drenagem financiados com recurso público (Pró-Várzea). Além da prática de agricultura de subsistência, a plantação de arroz nos solos hidromórficos e de eucalipto nas áreas de recarga também contribuíram para o intenso processo de degradação da área. Nessa área, já é possível observar a mortalidade de espécies da palmeira buriti, o que é considerado um importante indicativo dos fortes impactos ambientais.

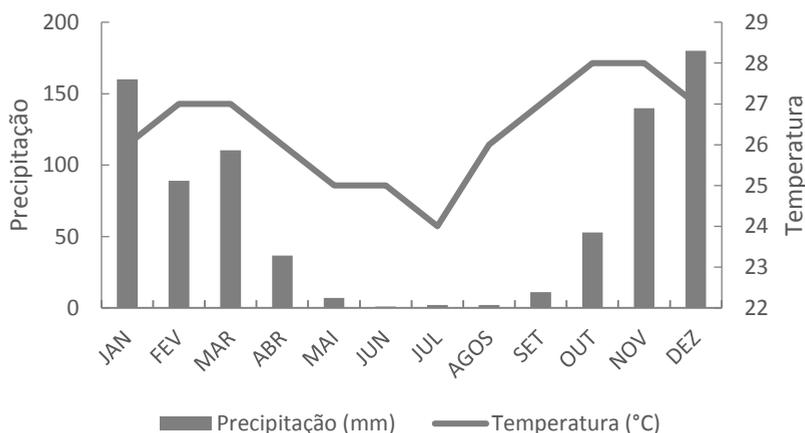
O clima da região é tropical semiárido (tipo Bhs, na classificação de Köppen) com marcante estacionalidade no regime de precipitação (GRAF. 1).

As estações chuvosas (primavera e verão) e secas (outono e inverno) (CPRM, 2001) têm as chuvas concentradas predominantemente entre os meses de outubro e abril.

O clima (precipitação e temperatura) nas três áreas de estudo é semelhante. As áreas se situam entre as altitudes 485 e 515 m e o relevo da região é caracterizado como plano a suave ondulado. De acordo com a

topografia, as áreas estudadas são classificadas como aplainadas, ou seja, existe declividade entre o ambiente do entorno e o fundo da vereda (FIG. 1, p. 20).

**GRÁFICO 1-** Médias mensais históricas de precipitação (mm) e temperatura (°C) da região de Januária e Bonito de Minas no período de 1985 a 2015 na APA do Rio Pandeiros.



Fonte: INMET

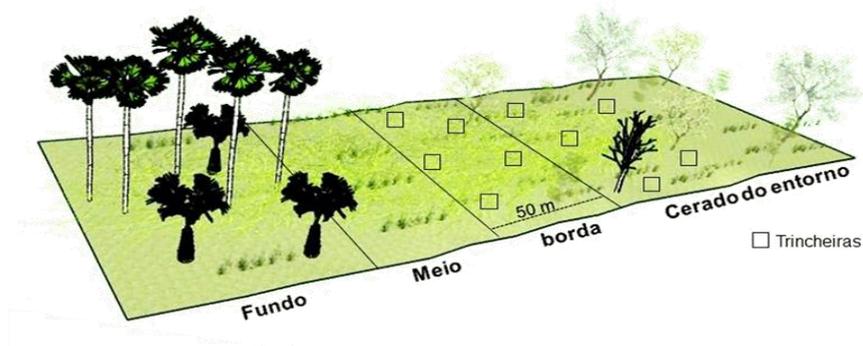
A vegetação das três áreas de entorno das veredas é classificada como Cerrado *stricto sensu*. Os solos do fundo das veredas foram classificados como Organossolos e, no meio e bordas, variando entre Gleissolos Háplicos e Melânicos. Já no cerrado de entorno das veredas os solos foram classificados como Neossolos Quartzarênicos para as três áreas (EMBRAPA, 2006).

## 2.2.2 Amostragem de solo

A amostragem de solo foi realizada nos seis ambientes: nas três bordas das veredas e nos três respectivos cerrados de entorno. Para coleta de solo foram abertas cinco trincheiras (repetições) em cada local, com as dimensões 100x100x100cm (FIG. 3). Toda a amostragem de solo foi constituída de amostras simples e realizadas nas paredes das trincheiras até um metro de

profundidade. As coletas foram feitas em seis profundidades que correspondem às camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-75 e 75-100 cm, totalizando 180 amostras nos seis ambientes avaliados. Essas amostras foram secas ao ar, homogeneizadas e passadas por peneira com malha de 2 mm para separação do material vegetal não decomposto. Com essas amostras, foi feita a determinação da granulometria e dos atributos químicos do solo.

**FIGURA 3** – Representação das zonais funcionais do ecossistema veredas e a alocação das parcelas (trincheiras) nas vereda e cerrado do entorno nas áreas de estudos localizadas APA do Rio Pandeiros.



Fonte: Da autora

A densidade aparente do solo foi determinada em amostras indeformadas, usando anel volumétrico de aço ou anel de Kopecky. As embalagens contendo as amostras indeformadas com umidade de campo foram secas em estufa a 105°C e, após 24 a 48 horas e posteriormente, foram pesadas. O volume dos anéis foi determinado usando a fórmula do volume do cilindro, em que as medidas dos anéis foram obtidas com auxílio de um paquímetro.

### 2.2.3 Determinação dos atributos do solo

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, tendo como princípio a Lei de Stokes sobre a sedimentação de partículas. Para esse

tipo de análise, utilizou-se uma solução de hexametáfosfato de sódio tamponada com carbonato de sódio, para dispersão total das partículas, conforme descritas na metodologia da Embrapa (1997). As frações do solo determinadas foram argila, silte, areia fina e areia grossa.

Para a determinação de atributos químicos do solo utilizou-se a metodologia proposta por Embrapa (1997). O pH foi determinado em água, o Ca, o Mg e o Al foram extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, o P e o K extraídos pelo Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol/L) e a acidez potencial (H+Al) determinada pelo método do acetato de cálcio. Os teores de P e S foram determinados por fotolorimetria, o teor de K por fotometria de chama, e os teores de Ca, Mg e Al por espectrofotometria de absorção atômica. A acidez potencial do solo foi determinada pelo método da Embrapa (1979). A capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V%) foram calculadas. Todas essas análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG.

Os cálculos dos estoques dos nutrientes P, K, Ca e Mg (Mg ha<sup>-1</sup>) foram calculados conforme descrito na equação 1:

$$\text{Estoque } \mu = d \times \mu \times e \quad (1)$$

Onde:

*Estoque*  $\mu$  = estoque de nutrientes (Mg ha<sup>-1</sup>) ou nutriente (kg ha<sup>-1</sup>) no solo;

*d* = densidade aparente do solo na camada amostrada (g cm<sup>-3</sup>);

$\mu$  = teor de C ou nutriente no solo (%);

*e* = espessura da camada de solo amostrada (cm).

#### 2.2.4 Análise de dados

Os resultados obtidos de todas as variáveis analisadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com o propósito de conhecer as diferenças significativas entre as áreas estudadas. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do Programa R, versão 3.2.1.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de areia das duas classes de solo para os seis ambientes (três veredas e os três respectivos cerrados do entorno) foram todos superiores a 90 dag kg<sup>-1</sup> e os teores de argila de até 60 dag kg<sup>-1</sup> (TAB. 2). Baseado na classificação do triângulo textural de Atterberg, os solos das áreas são enquadrados como muito arenosos. Houve uma pequena variação da textura apenas na vereda da área CV, onde os teores de argila foram ligeiramente superiores em comparação aos das demais áreas analisadas.

Quanto à densidade aparente do solo, os valores médios encontrados foram de 1,45 g cm<sup>-3</sup>. Nos cerrados do entorno, a densidade foi ligeiramente maior do que nos ambientes de vereda, embora esses valores não tenham sido significativamente diferentes entre as áreas (TAB. 5). A densidade aparente do solo é considerada uma das propriedades físicas fortemente influenciadas pelo manejo e intervenções no solo (LEAL FILHO et al., 2013), assim a mudança de uso do solo pode promover alterações ao longo do tempo.

Como os Gleissolos normalmente apresentam maior quantidade de material orgânico, como verificado nas bordas das veredas, espera-se que a densidade nesse solo fosse menor como ocorreu. De acordo com Braidá et al. (2006), o maior acúmulo de matéria orgânica neste tipo de solo pode reduzir sua densidade original temporariamente, uma vez que o material orgânico é eficiente para absorver parte da energia que promove a compactação como as provenientes de pisoteio de animais e de trânsito de máquinas.

Os resultados mostram que os processos degradadores podem ter afetado a densidade do solo nas áreas em que há um maior histórico de intervenções antrópicas. Já nas demais áreas, as ações não parecem ter sido suficientes para exercer mudança na estrutura do solo que alterasse a sua densidade.

**TABELA 2** – Frações granulométricas (areia, silte, argila) e densidade aparente do solo do solo nos ambientes de vereda e seus respectivos cerrados do entorno localizadas na APA do Rio Pandeiros – MG.

Prof (cm)	Areia (dag kg <sup>-1</sup> )					
	Água Doce (AD)		Capivara (CV)		Buriti Grosso (BG)	
	Vereda	Cerrado	Vereda	Cerrado	Vereda	Cerrado
0-10	940 aA	920 aA	900 bA	920 aA	920 aA	920 aA
10-20	940 aA	920 aA	900 bA	920 aA	920 aA	920 aA
20-30	936 aA	920 aA	912 aB	924 aA	918 aB	920 aA
30-50	940 aA	920 aA	910 aA	920 bB	918 bB	920 aA
50-75	936 aA	920 aA	924 aA	920 aA	920 aB	920 aA
75-100	933 aA	920 aA	924 aA	920 aA	920 aB	920 aA
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )						
0-10	34 bA	48 bB	60 aA	48 bA	40 bA	48 bA
10- 20	34 bB	48 bB	60 aA	48 bA	40 bB	48 bA
20-30	36 bB	48 bA	52 aA	44 bA	40 bB	52 aA
30-50	36 aB	48 bA	52 aA	48 bA	42 bA	52 aA
50-75	40 bB	48 bA	40 bB	48 bA	40 bB	48 bA
75-100	40 bB	48 bA	40 bB	44 bA	40 bB	48 bA
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )						
0-10	26 bA	32 bA	40 bA	32bB	40 bA	32 aA
10-20	26 bA	32 aA	40 bA	32 bB	40 bA	32 bA
20-30	28 bA	32 bA	36 aA	32 bA	40 aA	28 aA
30-50	24 bA	32 bA	38 aA	32 bA	40 aA	28 aA
50-75	24 bA	32 bA	36 aA	32 bA	40 aA	32 aA
75-100	27 bA	32 bA	36 aA	36 bA	40 aA	32 Aa
Densidade (g cm <sup>-3</sup> )						
0-10	1,48 bA	1,50 bA	1,43 bA	1,47 bB	1,40 bA	1,49 aA
10 20	1,48 bA	1,50 aA	1,43 bA	1,48 bB	1,40 bA	1,49 bA
20-30	1,51 aA	1,56 aA	1,49 bA	1,51 bA	1,49 bA	1,55 aA
30-50	1,54 aA	1,56 aA	1,50 bA	1,53 aA	1,55 aA	1,56 aA
50-75	1,55 aA	1,60 aA	1,51 bA	1,60 aA	1,57 aA	1,63 aA
75-100	1,57 aA	1,62 aA	1,53 aA	1,58 aA	1,60 aA	1,65 aA

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0.05$ ). As letras maiúsculas comparam os ambientes de veredas e cerrados do entorno entre si em cada área, e as letras minúsculas comparam os três ambientes de vereda e os três cerrados de entorno)

\*\*AD: Água Doce; CV: Capivara; BG: Buriti Grosso; V: vereda; C: cerrado.

Fonte: Da autora.

O pH e os teores dos macronutrientes P, K, Ca e Mg apresentaram poucas variações entre os dois tipos de solos nas áreas (TAB. 3).

**TABELA 3** - Valores de pH, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC potencial (T), saturação por Al (m%) e saturação por bases (V%) do solo nos ambientes de vereda e seus respectivos cerrados do entorno localizadas na APA do Rio Pandeiros – MG.

Prof (cm)	pH em H <sub>2</sub> O					
	Água Doce (AD)		Capivara (CV)		Buriti Grosso (BG)	
	Vereda	Cerrado	Vereda	Cerrado	Vereda	Cerrado
0-10	4,32 aB	4,40 aB	4,06 bB	4,16 bB	4,62 aA	4,32 aB
10-20	5,60 aA	4,94 aA	4,38 aA	4,58 aA	4,78 aA	4,28 aB
20-30	5,76 aA	4,84 aA	4,66 aA	4,74 aA	4,84 aA	4,36 aA
30-50	5,32 aA	4,76 aA	4,78 aA	4,80 aA	4,82 aA	4,64 aA
50-75	5,20 aA	4,75 aA	4,74 aA	4,74 aA	4,86 aA	4,70 aA
75-100	5,21aA	4,88 aA	4,83 aA	4,56 aA	4,90 aA	4,80 aA
	P (mg dm <sup>-3</sup> )					
0-10	2,13 aA	1,05 bB	4,91 aA	2,65 bA	2,87 aA	2,04 aA
10-20	0,78 bB	0,26 bB	0,91 bB	1,13 aB	1,39 aB	1,60 aA
20-30	0,65 bB	0,31bB	0,47 bB	0,52 bB	1,05 aA	0,79 bB
30-50	0,61 bB	0,12 bB	0,33 bB	0,61 bB	0,73 bB	1,23 bA
50-75	0,34 bB	0,15bB	0,75 bB	0,50 bB	0,83 bB	1,05 aA
75-100	0,69 aB	0,15bB	0,15 bB	0,65 bB	0,69 bB	0,84 bB
	K (mg dm <sup>-3</sup> )					
0-10	15,0 bB	30,8 abA	29,8 abB	117,4 aA	23,0 bB	56,7 bA
10-20	18,0 bB	10,0 cC	50,8 aB	128,2 aA	17,0 bB	22,5 bB
20-30	16,0 bB	19,0 bB	20,0 bB	103,4 aA	15,0 bB	16,0 bB
30-50	16,0 bB	46,8 aA	17,0 bB	130,4 aA	18,0 aB	21,0 bB
50-75	14,0 bB	10,0 cC	20,0 aB	88,60 aA	11,0 cC	13,0 bB
75-100	10,0 bC	16,0 bB	24,0 aB	119,4 aA	14,0 cB	26,0 bB
	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					
0-10	0,14 aB	0,20 aA	0,10 bB	0,20 aA	0,16 aA	0,18 aA
10-20	0,14 aB	0,10 bB	0,10 bB	0,10 bB	0,10 bB	0,10 bB
20-30	0,14 aB	0,20 aA	0,10 bB	0,10 bB	0,10 bB	0,10 bB
30-50	0,14 aB	0,20 aA	0,10 bB	0,10 bB	0,10 bB	0,10 bB
50-75	0,14 aB	0,20 aA	0,10 bB	0,10 bB	0,10 bB	0,10 bB
75-100	0,14 aB	0,20 aA	0,10 bB	0,10 bB	0,10 bB	0,10 bB
	Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )					
0-10	0,10 bA	0,10 aA	0,10 bB	0,14 aA	1,16 aA	0,12 aB
10-20	0,10 bA	0,10 aA	0,10 bA	0,10 aA	0,82 aA	0,10 aB
20-30	0,10 bA	0,10 aA	0,10 bA	0,10 aA	0,66 aA	0,10 aB
30-50	0,10 bA	0,10 aA	0,10 bA	0,10 aA	0,58 aA	0,10 aB
50-75	0,10 bA	0,10 aA	0,10 bA	0,10 aA	0,60 aA	0,10 aB
75-100	0,10 bA	0,10 aA	0,10 bA	0,10 aA	0,50 aA	0,10 AB

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $p < 0.05$ ). As letras maiúsculas comparam os ambientes de veredas e cerrados do entorno entre si em cada área, e as letras minúsculas comparam os três ambientes de vereda e os três cerrados de entorno).

Fonte: Da autora

Nas três áreas (AD, CV e BG), em condições naturais, o solo apresentou uma baixa fertilidade, com teores elevados de acidez ativa, ou seja, baixos valores de pH em água, elevados valores de alumínio trocável e baixa disponibilidade de fósforo (TAB. 3). O pH não variou entre o ambiente de vereda e seu respectivo cerrado de entorno. Entretanto, foi possível observar acidez menor na área em que a vereda é preservada (AD-V) e um aumento gradativo conforme se acentua o estágio degradador do ambiente de vereda.

Os valores de P foram baixos em todas as áreas, resultado esperado em função do tipo de solo da região. Os solos de regiões tropicais como das áreas de estudo se caracterizam pelo elevado grau de intemperismo e baixos teores de fósforo na forma disponível às plantas (BONSER et al., 1996; ROCHA et al., 2005).

O K foi o elemento que apresentou as maiores variações entre as classes de solo, as áreas e as profundidades avaliadas. O ambiente de vereda da área CV foi a que apresentou os maiores valores em relação às áreas AD e BG, mostrando assim um caso atípico para os solos de ecossistemas do bioma Cerrado. Esses valores elevados poderiam ser reflexo das intervenções antrópicas; contudo, esse elemento é rapidamente perdido no sistema planta-solo, uma vez que pode ter influenciado nos resultados. A partir desses resultados, a hipótese mais aceitável seria que há presença de minerais primários que elevaram esses valores de K nas diferentes profundidades nessa área. Os valores de Ca foram superiores na AD-C e o Mg apresentou maiores teores na BG-V em relação à área CV. Para as demais áreas, não houve diferenças entre a classe de solo e as profundidades, não sendo possível também fazer inferências a respeito dos efeitos da degradação dos ambientes.

A diferença entre os dois solos está em função da posição no relevo e da umidade que afeta a disponibilidade de matéria orgânica. Como as áreas onde se encontram os dois solos estão em diferentes estágios de degradação, não foi possível fazer inferências em relação a alguns atributos avaliados.

**TABELA 4** - Acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC potencial (T), saturação por Al (m%) e saturação por bases (V%) do solo nos ambientes de vereda e seus respectivos cerrados do entorno localizadas na APA do Rio Pandeiros – MG.

Prof (cm)	H + Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )					
	Água Doce (AD)		Capivara (CV)		Buriti Grosso (BG)	
	Vereda	Cerrado	Vereda	Cerrado	Vereda	Vereda
0-10	2,07 aB	2,15 ab	5,15 aA	3,68 ab	4,75 aA	3,10 aA
10- 20	1,57 bB	1,52 bB	3,89 aA	1,94 bB	2,21 aA	3,32 aA
20-30	1,41 bB	1,47 bB	2,13 aA	1,62 bB	1,72 bB	1,61 bB
30-50	1,35 bB	1,31 bB	1,58 bB	1,58 bB	1,71 bB	1,16 bB
50-75	1,28 bB	1,28 bB	1,97 bB	1,38 bB	1,39 bB	1,37 bB
75-100	1,45 bB	1,30 bB	1,18 bB	1,40 bA	1,47 bB	1,42 bB
SB (cmolc dm <sup>-3</sup> )						
0-10	0,28 bB	0,38 aA	0,28 bB	0,64 aA	0,32 bA	0,43 aA
10-20	0,29 bB	0,33 bA	0,28 bB	0,50 aA	0,24 bB	0,24 bB
20-30	0,27 bB	0,35 aA	0,29 bB	0,46 aA	0,24 bB	0,24 bB
30-50	0,28 bB	0,42 aA	0,29 bB	0,53 aA	0,25 bB	0,25 bB
50-75	0,50 aA	0,33 bA	0,25 bB	0,43 aA	0,23 bB	0,23 bB
75-100	0,63 aA	0,34 aA	0,25 bB	0,51 aA	0,24 bB	0,27 bB
m%						
0-10	68 bA	61 bB	79 aA	64 bB	75 aA	62 bB
10 20	66 bA	58 bB	76 aA	63 bB	76 aA	61 bB
20-30	67 bA	56 bB	77 aA	62 bB	74 aA	58 bB
30-50	66 bB	57 bA	75 aA	63 bB	73 aA	56 bB
50-75	65 bA	59 bB	74 aA	62 bB	74 aA	61 bB
75-100	66 bA	57 bA	72 aA	61 bB	72 aA	59 bB
V%						
0-10	12,6 bB	15,4 aA	5,40 bB	16,2 aA	9,20 bB	15,0 aA
10-20	15,4 aA	18,0 aA	8,20 bB	21,2 aA	12,6 bB	9,40 bB
20-30	16,4 aA	19,2 aA	13,6 aA	21,8 aA	12,4 bB	13,0 bA
30-50	17,6 aA	23,6 aA	13,8 aA	24,8 aA	13,4 bA	18,0 aA
50-75	17,8 aA	20,6 aA	11,8 bB	23,6 aA	14,2 aA	14,4 aA
75-100	14,6 aA	10,8 bA	18,0 aA	26,2 aA	13,8 bA	16,8 aA
T (cmolc dm <sup>-3</sup> )						
0-10	2,06 bA	2,69 bA	5,43 aA	4,32 aA	5,07 aA	3,53 aA
10 20	1,61 bB	1,84 bA	4,22 aA	2,46 bA	2,49 bA	3,57 aA
20-30	1,20 bB	1,82 bA	2,38 bA	2,08 bA	1,96 bA	1,85 bA
30-50	1,20 bB	1,74 bA	1,83 bA	2,11 bA	1,96 bA	1,41 bB
50-75	1,37 bB	1,61 bA	2,22 bA	1,81 bA	1,62 bA	1,61 bA
75-100	1,71 bA	1,65 bA	1,44 bB	1,90 bA	1,70 bA	1,69 bA

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula e minúscula não diferem entre si pelo o Teste de Tukey ( $p < 0.05$ ). As letras maiúsculas comparam os ambientes de veredas e cerrados do entorno entre si em cada área, e as letras minúsculas comparam os três ambientes de vereda e os três cerrados de entorno). \*\*AD: Água Doce; CV: Capivara; BG: Buriti Grosso; V: vereda; C: cerrado.

Fonte: Da autora.

A partir dos valores de Ca, Mg, K, Al e H+Al, a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions potencial (T) e a saturação por bases (V%) foram calculadas (TAB. 4). Os atributos químicos do solo, de modo geral, apresentaram uma semelhança muito grande entre os Gleissolos das bordas das veredas e os Neossolos Quartzarênicos do cerrado de entorno. Esses resultados são explicados pelo tipo de solo que predomina em toda a região, com a presença do quartzo predominante nas frações de areia e baixo teor de matéria orgânica. Segundo Portugal et al. (2010), os íons H<sup>+</sup> liberados pela matéria orgânica aumentam a acidez potencial do solo, pelo deslocamento do alumínio trocável adsorvido a fração argila. Como o ambiente de vereda da área preservada (AD-V) fica saturado por água boa parte do tempo, o processo de decomposição da matéria orgânica é lento, o que diminui esse processo, fato que não foi observado nas áreas CV e BG. A acidez potencial foi mais elevada na profundidade de 0-10 cm. Esse fato pode ocorrer devido aos maiores teores de material orgânico nessa camada, sobretudo na vereda.

A saturação por bases (V%) apresentou valores muito inferiores a 50 %, e a saturação por Al (m%), maior que 50 %, caracterizando os solos como distróficos e álicos. O teor de P também foi baixo, semelhante aos encontrados por Silva et al. (2010) em Neossolo Quartzarênico na região de cerrado.

No solo, os maiores estoques de nutrientes ocorreram no cerrado, com exceção do P (TAB. 5). Os estoques de nutrientes apresentam grandes variações, comportamento comum em ecossistemas naturais, sobretudo nos ambientes tropicais (SIQUEIRA; MOREIRA, 2006). Além da baixa disponibilidade natural de P no solo, sua absorção ainda é dificultada em função da complexação com outros elementos (NOVAIS et al., 2007). De modo geral, os baixos estoques de P no solo podem estar vinculados ao predomínio da fração areia na composição do solo, o que condicionou menor adsorção e retenção dos nutrientes nos colóides, além do baixo aporte via serapilheira. No cerrado de entorno das veredas, a baixa disponibilidade desse elemento no solo pode estar associada à alta concentração de alumínio (Al) trocável que, na forma de óxido, conduz a uma severa fixação de P (DIAS FILHO; SERRÃO, 1987).

**TABELA 5** – Estoque de nutrientes no solo até um metro de profundidade das veredas e cerrados do entorno para as três áreas de estudo localizadas na APA do Rio Pandeiros.

Áreas	P		K		Ca		Mg	
	V	C	V	C	V	C	V	C
	Kg ha <sup>-1</sup>							
AD	10,7 aA	4,10 cB	212,7 bB	359,4 cA	280 aB	397 aA	122 **	123
CV	14,1 aA	11,7abA	391,1 aC	1768 aA	200 bA	187 bA	120	126
BG	16,3 aA	19,5 aA	240,1 bC	1819 aA	212 bA	226 bA	121	123

\*As médias seguidas de mesmas letras (minúscula entre as três áreas e maiúscula entre os solos das veredas e cerrados de entorno) não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

\*\* Não significativo.

V: vereda; C: cerrado; AD: Água Doce; CV: Capivara; BG: Buriti Grosso.

Fonte: Da autora.

Os menores estoques de P nos ambientes de veredas podem ser explicados por mais de 50% do P total ocorrer na forma orgânica nos solos que passam por hidromorfismo (SAH; MIKKELSEN; HAFEZ, 1989). Fato que ainda é evidenciado na área preservada, em que ocorre exsudação do lençol freático em determinadas épocas do ano, comportamento não recorrente nas áreas antropizadas. No solo, os componentes orgânicos representam parte considerável do conteúdo disponível de P (TURNER et al., 2003). Entre as áreas, o P foi o único que apresentou maiores valores nas veredas, enquanto os dos demais nutrientes foram maiores nos solos de cerrado (TAB. 5). Quanto aos estágios de degradação, os menores valores ocorreram na área preservada e os maiores nas áreas degradadas.

No solo, o K é proveniente da decomposição do material orgânico que é liberado lentamente com a decomposição. Nas duas áreas degradadas, os valores de estoques de K no solo do cerrado foram bastante superiores em comparação aos da área preservada em outros ecossistemas naturais. As queimadas também promovem a liberação de K, porém esses altos valores ocorrem ao longo do perfil do solo, até um metro. Além disso, esse elemento possui uma alta mobilidade no ciclo biogeoquímico que poderia ser

rapidamente mineralizado, já que as queimadas também aceleram esse processo.

Os estoques de Ca foram altos no cerrado, possivelmente porque no local de coleta de solo nas veredas predominam gramíneas ou espécies invasoras ainda recentes que tem baixos teores de Cálcio. Assim, o aporte desse elemento via serapilheira é bastante inferior ao da serapilheira proveniente de espécies do cerrado. Esse comportamento pode ser justificado pelo fato de que boa parte do estoque de Ca está concentrada na biomassa de troncos, e mais imobilizada na forma de oxalato de cálcio ou fosfato de cálcio (MCGRANT, 2001). Assim, o tipo de vegetação e as alterações, como o desmatamento e as queimadas, refletem no maior aporte desse nutriente.

De modo geral, os aportes de nutrientes na serapilheira produzida e acumulada são semelhantes nas áreas AD e CV e os menores valores estão na área BG, fato que pode ser devido à menor produção de serapilheira nessa área, constatando, assim, a relação direta do aporte de nutriente via serapilheira com a produção anual. Essa relação só não foi verificada para o P em que os estoques foram maiores nas áreas degradadas, resultado que pode estar associado às ações antrópicas que promoveram o desequilíbrio nos teores de carbono e, conseqüentemente, nos desse elemento.

A principal entrada de Ca e Mg no solo é via intemperismo de silicatos e carbonatos. Como os solos estudados são altamente intemperizados, essa é uma fonte pouco significativa na contribuição desses elementos. O Ca é limitante da produtividade e ciclagem de outros nutrientes e também da taxa de mineralização de nitrogênio (MARRS, 1991). Assim, esse nutriente tem maior sensibilidade a pequenas variações, sendo mais facilmente percebida dentro dos ecossistemas naturais.

## 2.4 CONCLUSÃO

De modo geral, os atributos químicos do solo não apresentaram grandes diferenças entre as áreas estudadas (ambientes de vereda e cerrado), de modo que não foi possível inferir uma relação direta com os diferentes estágios de degradação dos ecossistemas.

Os teores de K foi o que mais variou, apresentando valores muito superiores apenas no cerrado de entorno do Buriti Grosso, área que apresenta-se mais degradada. Entretanto, não foi possível afirmar se esses valores têm relação direta com as ações antrópicas nesse ecossistema.

Os estoques de nutrientes foram maiores nos solos dos ambientes de cerrado de entorno, onde os elementos analisados seguiram a sequência decrescente  $K > Ca > Mg > P$  para as três áreas avaliadas atributos do solo não apresentaram grandes diferenças entre as áreas estudadas (ambientes de vereda e cerrado).

### **CAPÍTULO 3 - DINÂMICA DA SERAPILHEIRA E ESTOQUES DE CARBONO NO CERRADO E NO ECOSISTEMA VEREDA, NA APA DO RIO PANDEIROS/MG**

#### **RESUMO**

A serapilheira é a principal via de transferência de nutrientes para o solo, de forma que garante a manutenção dos sistemas naturais. Assim, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a dinâmica da serapilheira e os estoques de carbono em veredas e em seus respectivos cerrados de entorno, em diferentes estágios de degradação. Para quantificar a serapilheira produzida anualmente, foram instalados dez coletores em três áreas de cerrado de entorno das veredas Água Doce, Capivara e Buriti Grosso, localizadas na APA do Rio Pandeiros/MG. Coletas mensais da serapilheira aérea e acumulada no solo foram realizadas entre os meses de outubro de 2014 e setembro de 2015. A triagem de cada amostra foi realizada separando-se três compartimentos: folhas, caules e aparelhos reprodutivos. Cada fração foi pesada em balança analítica, e posteriormente foi realizado o cálculo das taxas de decomposição. Cinco amostras da serapilheira aérea e acumulada de cada área no período seco e úmido foram moídas e foi realizada a análise química de macronutrientes. A amostragem de solo foi realizada em seis profundidades para obtenção dos teores de C e N. Para estimar os estoques de C e N, os teores desses elementos foram multiplicados pela densidade do solo e profundidade de solo amostrada. A maior produção e taxas de decomposição ocorreram na área preservada, mostrando uma relação direta com o equilíbrio ecológico do ambiente. O nutriente mais aportado na serapilheira foi o Ca, coincidindo com a área de maior porte e com plantas mais adaptadas às condições climáticas da região da área preservada. As áreas degradadas (Capivara e Buriti Grosso) apresentaram os maiores teores de carbono e nitrogênio, relação C/N e estoques de C e N do solo, tanto na vereda quanto no cerrado de entorno, devido as intervenções antrópicas.

**Palavras-chave:** Aporte de nutrientes. Fertilidade do Solo. Macronutrientes.

### **CHAPTER 3 –DYNAMIC OF LITTER AND SOIL CARBON STOCKS IN CERRADO AND VEREDAS ECOSYSTEMS, IN THE EPA OF PANDEIROS RIVER/MG**

#### **ABSTRACT**

The litter is the major route of transfer of nutrients into the soil, so that guarantees the maintenance of natural systems. Thus, this research aims to evaluate the dynamics of litter and carbon stocks in paths and their surrounding savannas, in different stages of degradation. To quantify litter produced annually ten collectors were installed in three surrounding savanna areas of paths Água Doce, Capivara and Buriti Grosso, located in the EPA Pandeiros River/MG. Monthly collections of air and litter accumulated in the soil were carried out between the months of October 2014 and September 2015. The screening of each sample was performed separating three compartments: leaves, stems and reproductive apparatus. Each fraction was weighed on an analytical balance, and was later performed the calculation of decay rates. Five samples of air and litter accumulated in each area in the dry and wet period were ground and was carried out chemical analysis of macronutrients. The soil sampling was performed in six depths to obtain the C and N contents to estimate the stocks of C and N, the levels of these elements were multiplied by soil density and depth of soil sampled. The higher production and decomposition rates were in the preserved area, showing a direct relationship with the ecological balance of the environment. The most contributed in litter nutrient was Ca, coinciding with the larger area and more plants adapted to the climatic conditions of the area preserved region. Degraded areas (Capivara and Buriti Grosso) showed the highest levels of carbon and nitrogen, C / N and C and N stocks in soil, both in the path and in the surrounding savannah, due to human interventions.

**Keywords:** Nutrient input. soil fertility. Macronutrients.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A serapilheira forma um compartimento ativo e vivo, que mantém os ecossistemas naturais através do processo de ciclagem de nutrientes. Esse compartimento consiste em todo material orgânico depositado no solo como as folhas, os caules, os frutos, as sementes e as raízes. Por esse motivo, a produção de serapilheira constitui um dos mais importantes processos de controle e equilíbrio dos ambientes tropicais.

O material depositado no solo forma o reservatório de matéria orgânica e de nutrientes que influencia e regula boa parte dos processos funcionais nos ecossistemas naturais. Assim, a produção de serapilheira é considerada uma das mais importantes rotas do ciclo do carbono no solo. Por essa via ocorre a movimentação de nutrientes da vegetação para o solo, onde podem se acumular nos horizontes orgânicos ou serem incorporados ao solo mineral e, assim, podem ser reaproveitados pela vegetação (DELITTI, 1984; KÖNIG et al., 2002).

Desse modo, cada ecossistema tem sua forma de armazenar e de reciclar os nutrientes conforme o tipo de espécie, a cobertura florestal, o estágio sucessional, a idade, a época da coleta e o local. Além disso, a velocidade de ciclagem dos nutrientes depende fortemente das condições climáticas e fenológicas, assim como da quantidade do material depositado ao longo de um ano (BRAY; GORHAN, 1974 *apud* ALVES et al., 2006). A velocidade de decomposição da serapilheira dependerá da facilidade com que o material orgânico original pode ser decomposto, de suas características químicas e do pH do meio, bem como dos fatores climáticos (HAAG, 1985).

A serapilheira mal decomposta promove a formação de uma espessa camada de material orgânico nas veredas, garantindo que esse ambiente armazene água proveniente das camadas altamente permeáveis dos solos arenosos do cerrado no entorno (DRUMMOND et al., 2005). Esse processo ocorre principalmente devido à palmeira buriti, espécie típica desse ambiente que produz grande quantidade de biomassa de difícil de decomposição (NEVES, 2011).

Entretanto, acredita-se que o cerrado contido no entorno das veredas, além de protegê-las, cumpre o papel de mantenedor do ecossistema, através da contribuição da serapilheira proveniente dele. Desse modo, é importante entender tanto a dinâmica da serapilheira no cerrado como os estoques de carbono e nitrogênio no solo dos dois ambientes interligados.

Trabalhos relacionados com a produção e acúmulo de serapilheira fornecem subsídios para um melhor entendimento da dinâmica dos nutrientes e estoques de carbono no solo. Além disso, permitem a geração de informações sobre a quantidade e da qualidade da serapilheira produzida, quando suas características químicas e físicas forem relevantes para a melhoria do solo e da cadeia alimentar resultante dos detritos por elas gerados (CALDEIRA et al., 2008). No caso do cerrado de entorno do ecossistema vereda, a serapilheira cumpre papel fundamental para manutenção da qualidade do solo.

Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo estimar a produção, o acúmulo e a taxa de decomposição da serapilheira do cerrado de entorno das veredas, assim como determinar os estoques de carbono e nitrogênio do solo em três ecossistemas de veredas com diferentes estágios de degradação.

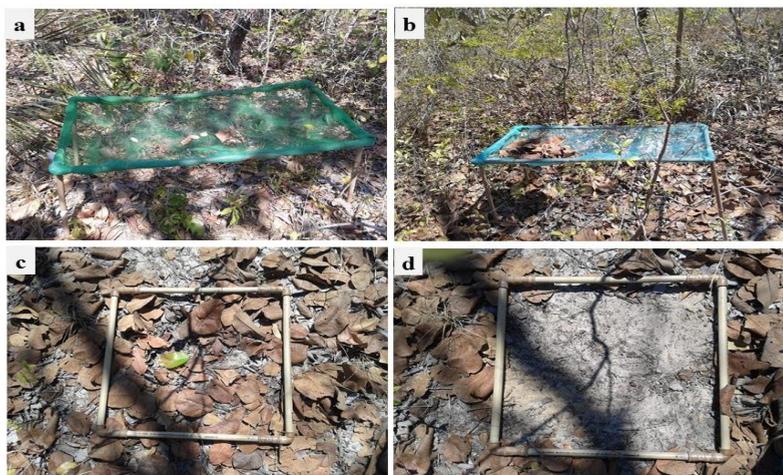
## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa abrange áreas do ecossistema vereda (V) e seus respectivos cerrados do entorno (C). Os tratamentos consistem em três ambientes de vereda denominados de AD-V (Água Doce), CV-V (Capivara) e BG-V (Buriti Grosso) e os Cerrados AD-C, CV-C e BG-C, conforme esquematizado na (FIG.2 do CAP. 1).

### 3.2.1 Coleta da serapilheira produzida e acumulada no solo

Para a coleta da serapilheira produzida mensalmente, foram confeccionados coletores em estrutura de PVC e tela de nylon de 1 mm, na dimensão de 50 x 100 cm (FIG. 4). Dez desses coletores foram distribuídos aleatoriamente em cada um dos cerrados de entorno das áreas de vereda (nas três áreas).

**FIGURA 4** – Coletores da serapilheira produzida instalados em campo (a) e (b) e molde de PVC para coletar a serapilheira acumulada no solo (c) e (d) nas áreas de estudos localizadas APA do Rio Pandeiros.



Fonte: Da autora

Para a coleta da serapilheira acumulada no solo foram utilizados gabaritos de PVC (45 x 48 cm), aleatoriamente lançados próximo aos

coletores, dos quais posteriormente é feita a retirada do material e a armazenagem em sacos de papel. Ambas as coletas foram realizadas mensalmente durante um ano, entre os meses de outubro de 2014 a setembro de 2015.

Após a coleta da serapilheira produzida e acumulada no solo, as amostras foram identificadas e, em seguida, encaminhadas ao laboratório para processamento (triagem e análises). No laboratório, as amostras foram levadas à estufa a 65°C por 24 horas, até atingir o peso constante. Na sequência, os materiais foram separados em frações de acordo com a sua composição anatômica (folhas, caules, materiais reprodutivos e outros). Em seguida, cada fração do material foi pesada para obtenção da massa seca em unidades gramas (g). A pesagem do material foi feita em balança semi-analítica.

### 3.2.2 Taxa de decomposição da serapilheira

A taxa de decomposição da serapilheira foi calculada pela relação entre a massa de serapilheira produzida e a massa de serapilheira acumulada. A taxa de decomposição foi estimada por meio da equação 1, proposta por Olson (1963):

$$k = L/X_{ss} \quad (1)$$

Onde:

$k$  = constante de decomposição;

$L$  = produção anual de serapilheira ( $\text{g m}^{-2}$ );

$X_{ss}$  = média anual da serapilheira acumulada sobre o solo ( $\text{g m}^{-2}$ )

A partir do valor de  $k$  foi calculado o tempo médio em anos para que ocorra a decomposição de 50% ( $t_{0,5}$ ) e 95% ( $t_{0,05}$ ), estimados por meio das equações 2 e 3:

$$t_{0,5} = \ln 2/k = 0,693/k \quad (2)$$

$$t_{0,05} = 3/k \quad (3)$$

### 3.2.3 Análise química da serapilheira

Nessa etapa, foram selecionadas aleatoriamente cinco amostras da fração folha da serapilheira produzida e acumulada no solo de cada área, referentes aos meses de outubro, janeiro (estação chuvosa), abril e julho (estação seca). Essas amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, em seguida levadas novamente à estufa e secas a 50 °C, para posterior análise química dos macronutrientes: fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). As análises químicas da serapilheira foram por digestão nítrico-perclórica, através da metodologia padronizada (EMBRAPA, 1997).

Esses nutrientes foram determinados por fotolorimetria e espectrofotometria de absorção atômica no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciências do Solo da UFLA (DCS/UFLA). As estimativas dos estoques de nutrientes da serapilheira foram realizadas baseadas na metodologia proposta por Vitousek (1982), multiplicando a massa seca produzida ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pela concentração média dos nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ). Foram calculados os conteúdos de nutrientes ou estoque de nutrientes da serapilheira pela equação 4, posteriormente transformando os valores para  $\text{kg ha}^{-1}$ .

$$C_e = t_e \times T_s / 1000 \quad (4)$$

Onde;

$C_e$  = Conteúdo do elemento em (kg);

$t_e$  = Teor do elemento e na serapilheira ( $\text{g kg}^{-1}$ )

$T_s$  = Quantidade total ou fração de serapilheira (kg).

### 3.2.4 Amostragem de solo e estimativa do estoque de carbono no solo

As amostras de solo foram coletadas em trincheiras distribuídas aleatoriamente nos dois ambientes (borda das veredas e cerrado de entorno) das três áreas. As coletas foram feitas nas paredes das trincheiras com o auxílio de uma espátula e nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-75 e 75-100 cm, constituindo amostras simples para cada profundidade e área.

Os solos das áreas de vereda foram classificados como Gleissolo Háplico e Melânico, que compreende a classe de solos minerais, hidromórficos, pouco desenvolvidos, apresentando horizonte glei. Já os solos do cerrado do entorno das veredas foram classificados como Neossolos Quartzarênico, solo mineral, com predominância do mineral quartzo e bem drenado (EMBRAPA, 1999).

Para determinação dos teores de C orgânico e nitrogênio total do solo, cerca de 5 g de cada amostra foram maceradas em gral de porcelana, com o uso do pistilo, e passadas por peneiras de malha de 0,150 mm. As análises foram processadas no laboratório de bioquímica ambiental do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da USP (CENA-USP).

Posteriormente, realizaram-se os cálculos do estoque de C e N do solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), conforme descrito na equação 5:

$$\text{Estoque } \mu = d \times \mu \times e \quad (5)$$

Onde:

*Estoque*  $\mu$  = estoque de C e N ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) no solo;  
*d* = densidade aparente do solo na camada amostrada ( $\text{g cm}^{-3}$ );  
 $\mu$  = teor de C no solo (%);  
*e* = espessura da camada de solo amostrada (cm);

### 3.2.5 Análise estatística

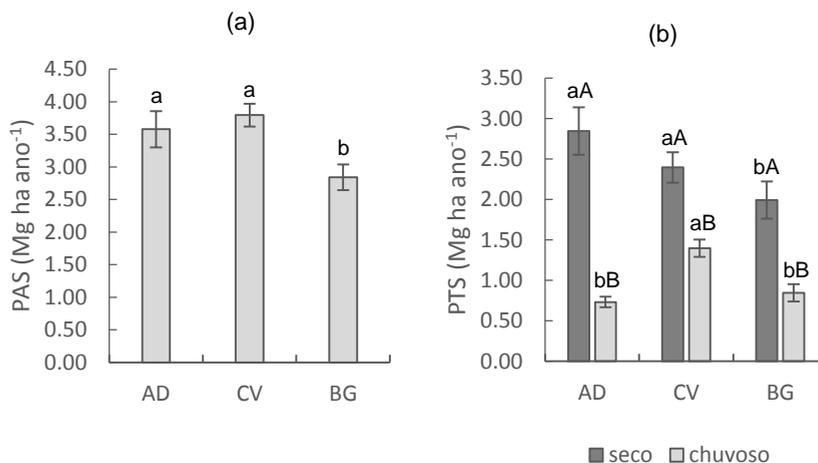
Os resultados obtidos de todas as variáveis analisadas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com o propósito de conhecer as diferenças significativas entre as áreas estudadas. As médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do Programa R, versão 3.2.1.

## 3.2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1 Produção de serapilheira

A produção anual de serapilheira foi de 3,58, 3,79 e 2,84  $\text{Mg}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  para Água Doce, Capivara e Buriti Grosso, respectivamente, com valores maiores nas áreas duas primeiras áreas (GRAF. 2a). Segundo Andrade *et. al.* (1999), a produção de serapilheira anual pode variar entre 3,6 e 12,4  $\text{Mg}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  em florestas tropicais. Porém, os valores encontrados no presente estudo corroboram com outros trabalhos. Barreto *et. al.* (2007), em estudos no Cerrado e Cerradão, obtiveram valores de 0,622 e 1,06  $\text{Mg}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ . Já Santana (2005) obteve valores de 2,06 e 3,25  $\text{Mg}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  em caatinga típica e caatinga arbustiva densa.

**GRÁFICO 2** – Produção Anual (PAS) e Produção Temporal de Serapilheira (PTS) na estação seca e chuvosa, nos cerrados de entorno das veredas (b) nas áreas de estudos localizadas APA do Rio Pandeiros.



\*As médias seguidas de mesmas letras (minúscula entre as três áreas na mesma estação do ano e maiúsculas em cada área para os as duas estações) não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

\*\*PAS: Produção Anual Serapilheira; PTS: Produção Temporal Serapilheira.

Fonte: Da autora

A maior produção de serapilheira ocorreu na estação seca nas três áreas, chegando a valores duas vezes maiores em relação à estação chuvosa (GRAF. 2b). Em cada uma das áreas, os resultados foram estatisticamente diferentes entre a estação seca e a chuvosa. As áreas AD e CV apresentaram valores significativamente maiores nas estações seca e chuvosa, respectivamente. As maiores produções de serapilheira ocorreram nos meses de setembro e outubro, que correspondem aos últimos meses do período mais seco do ano. Segundo Golley (1983) e Meguro *et. al.* (1979), nas fisionomias tropicais, a produção de serapilheira, ao longo do ano, tende a ser constante, entretanto, é comum os picos máximos nas estações mais secas. Essa maior produção está diretamente relacionada à diminuição do fotoperíodo e aos períodos de deficiência hídrica (BRAY; GORHAM, 1964) – condições climáticas observadas na região de estudo, que passa por longos períodos secos no ano.

A perda das folhas de espécies do cerrado consiste em um mecanismo de defesa para minimizar os efeitos da escassez hídrica, reduzindo, assim, a perda de água por transpiração. Vários estudos de produção de serapilheira também obtiveram a máxima produção de serapilheira anual na estação mais seca do ano (LUIZÃO; SCHUBART, 1987; BOINSKIS, 1989; DANTAS; PHILLIPSSON, 1989; MORELLATO; LEITÃO FILHO, 1995; RODRIGUES *et al.*, 2000; VITAL *et al.*, 2004).

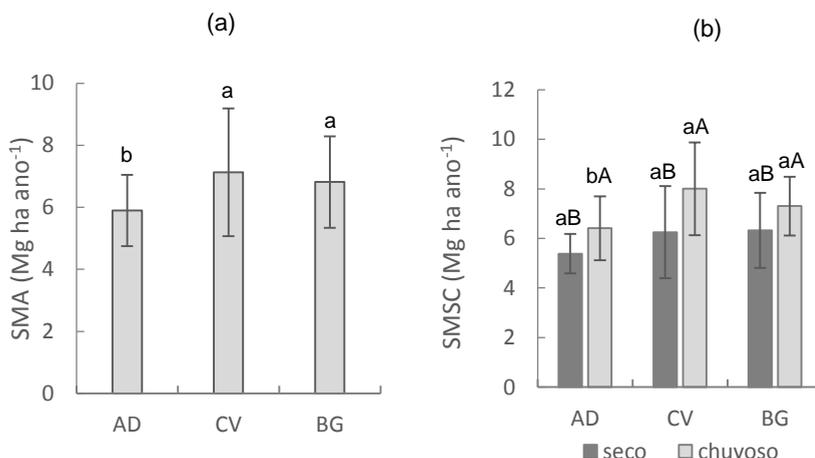
Embora a variação de produção de serapilheira seja pequena entre as áreas, essa diferença é reflexo dos diferentes estágios sucessionais, devido às intervenções antrópicas. Nesse sentido, é possível observar que as áreas AD e CV apresentaram valores maiores da produção de serapilheira no período seco. Esses resultados podem ser justificados pelos estágios de sucessão ecológica mais próximos a clímax, em que a vegetação é mais adaptada às condições climáticas, perdendo mais suas folhas para sobreviver ao período mais crítico (mais seco).

Embora tenha ocorrido ações antrópicas na área CV, houve tempo suficiente para recuperação de parte do ambiente, predominando, ainda, as espécies mais adaptadas – fato que pode ser verificado pela dinâmica da

serapilheira ao longo do ano, com maiores oscilações entre as duas estações, comportamento típico de área com transição da vegetação entre espécies tardias e pioneiras.

Os estoques de serapilheira acumulada no solo não diferiram entre as duas áreas mais antropizadas e as médias anuais foram de 5,88, 7,12 e 6,75  $\text{Mg ha}^{-1}$  para as três, respectivamente (GRAF. 3a). Os valores encontrados corroboram os dados obtidos por Morellato (1992) em florestas semidecíduas, em que os valores oscilaram de 5,5 a 8,6  $\text{t.ha}^{-1}$ . Já Moraes et al. (2013), em estudos no Cerradão, na região Norte de Minas Gerais, encontraram valores de 4,86  $\text{Mg ha}^{-1}$  a 19,31  $\text{Mg ha}^{-1}$ . Esses valores também são semelhantes aos encontrados na caatinga e em áreas de transição para o cerrado (VITAL, 2004).

**GRÁFICO 3** - Serapilheira média acumulada no solo (a) e acumulada na estação seca e chuvosa (b) nos cerrados de entorno das veredas nas áreas de estudos localizadas APA do Rio Pandeiros



\*As médias seguidas de mesmas letras (minúscula entre as três áreas na mesma estação do ano e maiúsculas em cada área para os as duas estações) não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

\*\*SMA; Serapilheira Média Acumulada; SMT: Serapilheira Média Período Seco e Chuvoso.

Fonte: Da autora

Os estoques de serapilheira no solo entre o período seco e o chuvoso apresentam variações significativas (GRAF. 3b). Os maiores valores ocorreram no período chuvoso, o que demonstra uma deficiência no aproveitamento do material orgânico nesse período, pois a produção foi menor nesse mesmo período (chuvoso). Segundo Valentini (2004), o acúmulo de serapilheira no solo é regulado pela quantidade de material que cai da parte aérea das plantas e pela taxa de decomposição que vai enriquecendo o solo à medida que vão ocorrendo os processos de decomposição.

Esse comportamento tem relação direta com a taxa decomposição da serapilheira (K), que avalia a relação da média da serapilheira acumulada sobre o solo e a produção anual de serapilheira. Esse balanço entre a taxa de deposição e o acúmulo no solo de serapilheira estima a constante de decomposição que determina o acúmulo ou perda da MOS, assim como a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Nessa pesquisa, os valores de K foram de 0,60, 0,53 e 0,41 para as áreas de cerrado AD, CV e BG, respectivamente (TAB. 6).

**TABELA 6** -Taxa de decomposição (k) e tempos necessários para a decomposição de 50% e 95% da serapilheira nas áreas de estudos localizadas APA do Rio Pandeiros.

Áreas de Cerrados	Coeficiente de decomposição (K)	Tempos necessários	
		t <sub>0,5</sub>	t <sub>0,05</sub>
AD	0,60	1,17 (427 dias)	5,06 (1850 dias)
CV	0,53	1,29 (472 dias)	5,60 (1823 dias)
BG	0,41	1,66 (606 dias)	7,19 (2625 dias)

Fonte: Da autora

Esses valores são semelhantes aos relatados por Santana (2005) e por Lopes *et. al.* (2010), em áreas de caatinga em transição para o cerrado, os quais encontraram taxas de 0,71 e 0,33, o que também se assemelha ao obtido pelos estudos de Cianearuso, Pires, Deliti e Silva (2006), em fragmentos florestais na região Sudeste. Golley et al. (1978) constataram que, em florestas tropicais, os valores de K são geralmente maiores que 1, com poucas exceções. Já nas florestas temperadas, Andrade (1997) cita que os valores de

K normalmente são inferiores a 1. No caso, o cerrado e a caatinga estão entre as exceções, em que a taxa de decomposição normalmente é menor do que 1, em função de alguns fatores singulares a esses ambientes, como severa restrição hídrica na estação seca. As taxas de decomposição da serapilheira são consideradas rápidas, se existir pouco acúmulo de serapilheira na superfície do solo e em equilíbrio, quando os coeficientes de decomposição (K) forem igual a 1,0 (WARING; SCHLESINGER, 1985).

O tempo médio para decomposição de 50% da serapilheira foi de 1,17 anos (427 dias); de 1,29 anos (472 dias) e de 1,66 anos (606 dias) para as áreas AD, CV e BG, respectivamente. Já para a decomposição de 95% da serapilheira, o tempo estimado foi de 5,06 anos (1850 dias); de 5,60 anos (1823 dias) e de 7,19 anos (2625 dias) para as mesmas áreas (TAB. 5). De modo geral, esses valores indicam que as áreas em questão apresentam uma lenta taxa de decomposição ao longo do ano, valores comuns em vegetações mais adaptadas à seca.

A taxa de decomposição é regulada principalmente por três fatores: biodiversidade da comunidade decompositora, a quantidade do material orgânico que determina a degradabilidade, e as condições físico-químicas do ambiente, as quais são controladas pelo clima e pelas características edáficas do local (ABER; MELLILO; SWIFT *et al.*, 1979). Na vegetação que contém mais lignina, como do cerrado, o decaimento é menor, pois há necessidade de liberação de mais energia para quebra das estruturas mais resistentes (ABER; MELLILO, 1991).

De acordo com Correia e Andrade (1999), a lignina torna a serapilheira mais resistente à decomposição química promovida por fungos e bactérias. Em ecossistemas florestais com baixa precipitação e elevada evapotranspiração, como o cerrado e caatinga, existe uma maior lignificação das folhas, a fim de minimizar as perdas hídricas por transpiração, com a presença de muitas folhas coriáceas (SANTANA, 2005), tipo de vegetação observado nas áreas avaliadas.

A dinâmica do processo de decomposição também depende de outros fatores, tais como as características de cada componente da serapilheira,

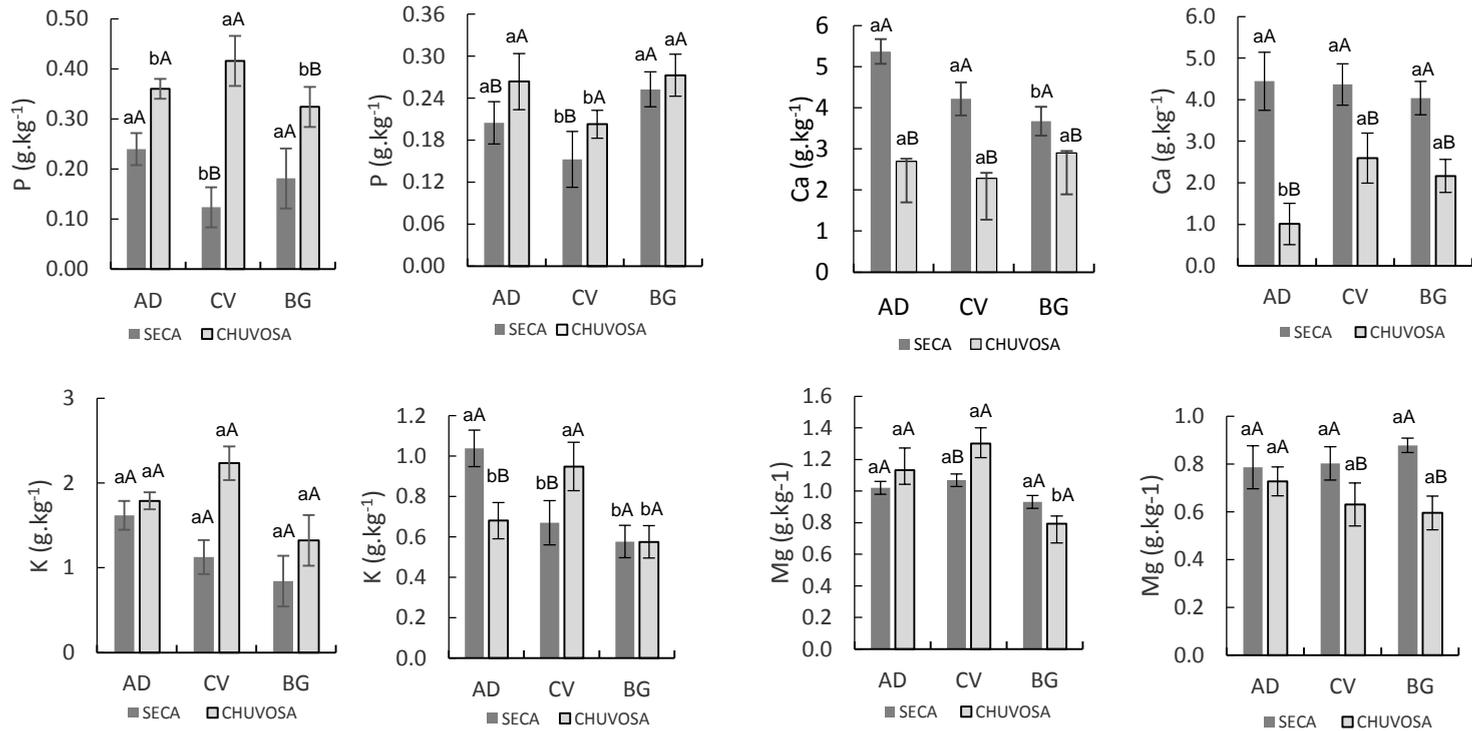
como os nutrientes, a resistência, os componentes secundários, a massa e o tamanho material, polifenóis, carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, mesmo em condições climáticas semelhantes (SWIFT et al., 1979; HAAG, 1985). Outro fator muito importante que influencia na taxa de decomposição é a umidade do solo. Nas áreas semiáridas, a falta de água reduz a atividade dos organismos decompositores da serapilheira (SANTANA; SOUTO, 2011). Segundo Mason (1980), as taxas de decomposição tendem a aumentar de fisionomias abertas para as fechadas, e isso ocorre devido ao aumento da umidade e de nutrientes no solo.

No caso das áreas em questão, o fator qualidade da serapilheira em função dos estágios de degradação pouco influenciou na taxa de decomposição, assim como os fatores ambientais entre as áreas, já que as condições climáticas são semelhantes entre os locais. Silva (2009) ressalta que a decomposição é resultado primário da atividade de microrganismos, embora haja forte influência da qualidade da serapilheira e dos fatores climáticos. Assim, a taxa de decomposição mais elevada na área preservada pode estar associada ao equilíbrio ecológico do ambiente, uma vez que essa área possui melhores condições para proliferação de microrganismos decompositores que aceleram o processo de decomposição do material orgânico depositado sob o solo.

### **3.3.2 Aporte temporal de nutrientes na serapilheira**

Os aportes de nutrientes via serapilheira produzida e acumulada no solo apresentaram variações entre as duas estações e poucos reflexos em função dos estágios de degradação das áreas. As concentrações de cada nutriente na serapilheira decresceram na seguinte ordem  $Ca > K > Mg > P$  (GRAF. 4). Essa sequência dos teores de nutrientes corrobora os resultados encontrados na pesquisa de Parron (2004), realizada no cerrado em diferentes gradientes topográficos, e com os dados obtidos por Godinho et. al. (2013) e Moraes (1997), em floresta estacional semidecídua.

**GRÁFICOS 4** - Teores de P, K, Ca e Mg da serapilheira produzida (esquerda) e acumulada no solo (à direita) para a estação seca e chuvosa nas áreas de estudo localizadas na APA do Rio Pandeiros.



As médias seguidas de mesmas letras (minúscula entre as três áreas na mesma estação do ano e maiúsculas em cada área para os as duas estações) não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Fonte: Da autora

Segundo Gomes et al. (2010), os maiores teores de Ca e K devem-se à maior proporção da fração foliar na serapilheira. Já a baixa concentração de fósforo na serapilheira pode ser associada à demanda desse elemento na planta, que é suprida por um processo bioquímico que remobiliza o P antes da senescência das folhas, de modo a compensar a deficiência desse elemento no solo (ATTIWILL,1980). Dessa maneira, o P é considerado um elemento limitante nos ecossistemas e esses baixos valores podem afetar a decomposição da serapilheira, visto que é um dos melhores recursos para o crescimento de microrganismos. O comportamento do aporte de P pela serapilheira entre as áreas foi semelhante, apresentando maiores variações entre as duas estações, com concentrações maiores no período chuvoso, em virtude do fósforo não ser muito móvel no sistema, sendo mais aportado no período em que há mais água nas estruturas das plantas.

Os teores de K apresentaram diferenças estatísticas para a serapilheira produzida e para a acumulada para nos dois períodos analisados. Na serapilheira produzida, os maiores teores ocorreram no período chuvoso nas três áreas, enquanto que na serapilheira acumulada no solo os valores maiores para esse mesmo período foram na área CV. Essa variação pode ser em virtude do grande número de espécies que compõem essa área, devido à transição dos estágios de sucessão ecológica. Segundo Jordan (1985), a ciclagem do potássio no sistema planta-solo é mais rápida do que a dos demais nutrientes, por se tratar de um cátion monovalente. O potássio se movimenta rapidamente em todo o sistema, por não formar substâncias orgânicas que limitem a absorção pelas plantas e o seu movimento no ciclo biogeoquímico.

O cálcio foi o nutriente em maior concentração na serapilheira produzida e acumulada no solo nas três áreas analisadas. De acordo com Vitousek (1984), esse maior aporte de cálcio é comum nas florestas tropicais. Segundo Godinho et. al. (2013), o cálcio é um dos componentes estruturais das células do tecido vegetal; por isso, tende a ser um dos últimos liberados para o solo via decomposição da serapilheira. As concentrações foram maiores no período seco, possivelmente devido à maior produção de serapilheira nesse período. Entre as áreas, a preservada apresentou maiores valores de Ca na serapilheira

produzida e acumulada no solo. Esse fato pode estar associado à composição da serapilheira. À medida que aumenta a presença de espécies secundárias tardias que contém mais lignina, conseqüentemente há mais elementos como o cálcio nas suas estruturas, além da maior produção de serapilheira nessa área.

O Mg tem teores reduzidos nas folhas, provavelmente em função da oxidação da clorofila, que ocorre quando as folhas estão em senescência e quando iniciam a decomposição sobre o solo (BRUN, 2001). Esse fato justifica os baixos teores na serapilheira encontrados neste estudo. Os teores de Mg foram maiores na serapilheira produzida, e entre as duas estações na área preservada não houve variação significativa.

De modo geral, os conteúdos dos micronutrientes na serapilheira assemelham-se aos encontrados em diversas tipologias florestais brasileiras, estando somente o cálcio um pouco acima de outros estudos. O comportamento de liberação de nutrientes da serapilheira entre áreas semelhantes pode ser devido às características marcantes da vegetação do bioma Cerrado. Os fatores mais relevantes para as diferenças apresentadas estão mais associados à quantidade de material orgânico liberado ao longo do ano nas duas estações analisadas. A transferência de Ca para o solo foi o que melhor acompanhou a tendência de deposição da serapilheira e que refletiu os estágios de degradação, com maiores teores no período seco, conforme a maior produção de serapilheira nesse período, e maiores aportes na área preservada.

Os estoques de nutrientes na serapilheira apresentaram variações entre si e em função do estágio de degradação. Eles foram maiores na serapilheira acumulada no solo do que na serapilheira produzida para todas as áreas e nutrientes avaliados, com exceção do K. Os estoques decresceram na ordem de Ca>K>Mg>P, na serapilheira (TAB.7).

**TABELA 7** – Estoque médio anual de nutrientes aportados na serapilheira produzida e acumulada no solo nas três áreas do cerrado do entorno localizadas na APA do Rio Pandeiros.

Áreas	P		K		Ca		Mg	
	SP	AS	SP	AS	SP	AS	SP	AS
	Kg ha <sup>-1</sup>							
AD	1,38 aA	1,77 aA	6,10 aA	5,06 aA	24,0 aB	29,9 aA	3,86 aA	4,46 aA
CV	0,96 bB	1,28 bA	6,37 aA	5,76 aA	28,0 aB	41,1 aA	4,89 aA	5,11Aa
BG	1,32 aB	2,80 aA	3,92 bB	3,03 bB	12,0 bB	26,6 bA	2,45 bB	5,02Aa

\*As médias seguidas de mesmas letras (minúscula entre as três áreas nas colunas e maiúscula entre os dois compartimentos nas linhas) não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

\*\*SP: Serapilheira Produzida; SA: Serapilheira Acumulada no Solo; AD: Água Doce; CV: capivara; BG: Buriti Grosso.

Fonte: Da autora

O P foi o elemento em menor quantidade nos compartimentos avaliados. No caso da serapilheira, esse nutriente tende a ser disponibilizado conforme ocorre a decomposição. Assim, os valores são maiores na serapilheira acumulada no solo. Entre as áreas, o P foi o único nutriente avaliado que apresentou valores menores na CV (estágio intermediário). Quanto aos demais nutrientes, os valores foram menores na área mais degradada (BG). Segundo Schumacher (2004), a variação dos estoques de nutrientes na serapilheira pode ocorrer entre mesmas espécies e locais, devido às características do próprio elemento avaliado, o que dificulta os estudos de comparação entre diferentes áreas. Esses valores são constatados devido ao P apresentar uma baixa mobilidade na natureza (FASSBENDER, 1985).

O K foi o único elemento com maiores estoques na serapilheira produzida em relação à acumulada no solo. Estudo realizados por Caldeira *et al.* (2013) e Lima (2007) observaram aportes de K em torno de 3,47 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em um trecho de mata atlântica bem preservada, enquanto o K nas áreas de estudo foi em torno de 6 kg ha<sup>-1</sup>. O K é altamente solúvel, sendo lixiviado das estruturas das plantas. Assim, em regiões com regime hídrico mais restrito, ocorre seu maior acúmulo na serapilheira, devido à menor perda por lixiviação das estruturas das plantas.

O Ca foi o elemento que apresentou maiores estoques na serapilheira, sendo os menores valores observados na área mais degradada (BG). Esses altos valores de Ca na serapilheira possivelmente sejam devidos a esse elemento apresentar baixa mobilidade na planta e estar associado à lignificação e constituição de paredes celulares, aumentando seu teor nos ramos e folhas (SCHUMACHER et al., 2004).

Assim, os valores maiores de Ca no solo são mais provenientes da serapilheira. Os estoques de Mg nos solos e na serapilheira foram muito semelhantes nas três áreas de estudo. Assim, o Ca no solo foi aquele que mostrou a maior relação direta com o aporte via serapilheira, de forma que os maiores valores nos solos do cerrado mostram a importância da vegetação do cerrado para manutenção do ecossistema.

O Mg foi o nutriente com menor variação entre as áreas, assim como ocorreu com os teores nas duas estações analisadas anteriormente. De acordo com Luizão (1989), o Mg é um dos elementos que mais contribui com as relações biológicas do solo, sendo importante para decomposição da matéria orgânica no solo. Os estoques de P e Mg na serapilheira produzida e acumulada no solo foram inferiores aos valores observados em florestas tropicais (GOLLEY et al., 1978; SAMPAIO et al., 1988).

### **3.3.3 Teores e estoques de carbono e nitrogênio do solo**

Os teores de C e N no solo e a relação C/N apresentaram variações significativas, refletindo, em menor ou maior grau, a influência das atividades antrópicas de cada um dos ambientes. Comparando os teores em cada uma das camadas de solo, foram verificados maiores valores na camada de 0-10 cm em todas as áreas. Entre os dois tipos de ambientes (vereda e cerrado do entorno) nas três áreas separadamente (AD, CV, BG), os resultados foram diferentes; foram constatados maiores teores nos ambientes de veredas (TAB.8).

Os valores de C foram maiores para a vereda em estágio intermediário de degradação (CV-V) e inferiores na área preservada (AD-V), variando de

3,94 a 14,94 g.kg<sup>-1</sup> na camada superficial. De modo geral, esses resultados foram inferiores aos encontrados nas bordas de veredas para as condições do cerrado de entorno conservado, com pastagem e agricultura (SOUZA et. al., 2013), onde os valores encontrados foram de 20,1, 20,5 e 26,67 g kg<sup>-1</sup> de C para as condições citadas, respectivamente.

Analisando cada uma das camadas até um metro de profundidade, os teores de C variaram de 1,47 a 14,95 g kg<sup>-1</sup> e a área de vereda mais degradada (BG-V) apresentou maiores valores ao longo do perfil do solo.

**TABELA 8** - Teor de C, N e relação C/N no solo dos ambientes de veredas e entorno nas áreas de estudos localizadas APA do Rio Pandeiros.

Prof (cm)	Teor de C (g kg <sup>-1</sup> )					
	Água Doce (AD)		Capivara (CV)		Buriti Grosso (BG)	
	Vereda	Cerrado	Vereda	Cerrado	Vereda	Cerrado
0-10	4,20 acA	3,94 acA	14,94 aA	9,27 aB	11,4 aA	7,24 aA
10-20	2,75 bA	3,31 abA	6,16 aA	3,57 abB	6,11 aA	4,36 aB
20-30	2,69 bA	3,23 aA	2,04 bB	3,01 aA	6,49 aA	2,49 bB
30-50	2,40 bA	3,22 bA	1,61 bB	2,71 bB	7,53 aA	1,72 bB
50-75	1,47 bB	2,91 bA	2,15 bB	1,82 bB	7,85 aA	1,94 bB
75-100	1,52 bA	2,89 bB	3,08 bB	3,07 bB	8,19 aA	2,05 bB
Nitrogênio (g kg <sup>-1</sup> )						
0-10	11,0 cA	13,7 aA	17,3 aA	15,8 aA	14,3 abA	11,5 aA
10-20	0,84 aA	0,28 bB	0,49 abA	0,33 bB	0,66 aA	0,40 aB
20-30	0,28 bB	0,36 bA	0,18 bB	0,25 bA	0,69 aA	0,24 bB
30-50	0,25 abA	0,28 aA	0,16 bA	0,18 bA	0,67 aA	0,20 bB
50-75	0,15 aB	0,34 aA	0,21 bA	0,14 bB	0,62 aA	0,15 bB
75-100	0,18 bB	0,26 aA	0,18 bB	0,23 bA	0,63 aA	0,16 bB
Relação C/N						
0-10	11,0 cA	13,7 bA	17,3 aA	15,8 aA	14,3 abA	11,5 aA
10-20	12,8 cA	11,8 acA	13,7 bcA	12,4 bcA	9,12 abA	11,6 bA
20-30	10,75 bA	10,1 abA	11,1 bcA	13,8 acA	12,2 abA	11,4 bA
30-50	10,1bA	10,4 abA	15,8 abA	18,2 aA	12,7 abA	9,25 bB
50-75	12,8 aA	11,7 aA	11,1 aB	19,8 aA	13,7 aA	13,4 aA
75-100	10,7 Aa	10,7 aA	18,4 aA	10,5 aB	14,1 aA	14,2 aA

\*As médias seguidas de mesmas letras (minúscula entre as três áreas nos ambientes de vereda e cerrado, e maiúsculas em cada área para os dois ambientes) não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p < 0.05).

\*\*V: vereda; C: cerrado; AD: Água Doce; CV: Capivara; BG: Buriti Grosso.

Fonte: Da autora

Na área AD e CV, as maiores variações nos teores de C nos perfis ocorreram até a camada de 0-20 cm e, a partir dessa profundidade, a tendência foi semelhante para todos os ambientes, tendendo a decrescer com a profundidade.

Esses maiores teores de C ao longo do perfil do solo podem ser reflexo das atividades antrópicas, que influenciaram os processos biogeoquímicos dos solos.

A área BG passou por forte exploração na década de 1960, com a plantação de arroz nos solos hidromórficos e monoculturas no cerrado do entorno, o que promoveu a descaracterização de todo o ambiente. Além disso, pode ter ocorrido o acúmulo de resíduo de carvão, que foi mantido ao longo do perfil do solo devido às sucessivas queimadas ocorridas no cerrado.

Bird et al. (1999) ressaltam que o carbono pirogênico (“black carbon”) ou carvão proveniente de combustão incompleta pode ser significativamente degradado em escala de tempo de décadas, dependendo do material de origem e das condições de formação. Assim, o carbono mobilizado vai sendo liberado no solo conforme ocorrem as alterações das propriedades de superfície do carvão, que aumenta a concentração de sítios reativos (MADARI *et al.*, 2009). Desse modo, com o revolvimento das camadas do solo onde ocorre queimada, aumentam os teores de carbono nas maiores profundidades do solo ao longo do tempo.

Segundo Neue et. al. (1997), as áreas úmidas que passam por processos antrópicos geram impactos na dinâmica da matéria orgânica e, por conseguinte, nos teores de C e N do solo. Corazza et al. (1999), em estudos no cerrado nativo convertido para área agrícola, observaram um aumento significativo de C nos primeiros anos de cultivo, resultante das intervenções ocorridas há anos, acumulando alguns tipos de resíduos no solo.

Os teores de N tiveram comportamento semelhante aos teores de C, porém com menor variação entre os ambientes. Os menores valores foram encontrados também na área preservada e os maiores na área em estágio intermediário de antropização, variando de 0,16 a 0,92 g kg<sup>-1</sup> (TAB. 8).

Independente dos estágios de antropização das áreas, tanto os teores de C como de N foram baixos, sobretudo para os Gleissolos.

Em estudos realizados em Gleissolos na região Sul do Brasil, Marques, (2007) encontrou médias de teores de N de  $3,8 \text{ g kg}^{-1}$  na profundidade 0-5 cm, chegando a  $0,9 \text{ g kg}^{-1}$  na profundidade 20-40 cm. Já para o Neossolo Quartzarênico, esses valores se aproximam dos encontrados em estudos realizados no cerrado por outros autores (CAETANO et al., 2013; ZINN et al., 2005; CARNEIRO et al., 2009). Resende et al. (2007) constataram que em solos de regiões mais áridas como Neossolos Quartzarênicos ocorrem menores teores de carbono orgânico.

A relação C/N de todas as áreas variou de 9,25 a 17,75, de forma que os maiores valores foram encontrados na profundidade de 0-10 cm na área em estágio intermediário de degradação (CV) e os menores na área preservada (AD). A relação C/N menor do que 20 indica a presença de matéria orgânica muito ativa no solo, predominando o processo de mineralização em relação à imobilização (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Marques (2007), estudando Gleissolos, encontrou média de relação C:N de 14,08 na profundidade 0-10 cm e 13,71 na profundidade 20-40 cm. Já Caetano et al. (2013) encontraram valores em torno de 13,55 em Neossolos Quartzarênicos do cerrado. No caso das áreas degradadas, acredita-se que as interferências antrópicas aumentaram temporariamente os teores C, refletindo nos valores da relação C/N.

Souza et al. (2013) encontraram relação C/N de 6,65 nas bordas de veredas com cerrado do entorno preservado e maiores valores nas áreas com pastagem e agricultura no entorno. Nessa mesma pesquisa, os autores encontraram um aumento progressivo da relação C/N da borda para o fundo das veredas, mostrando os menores valores também nas áreas mais preservadas. Nesse caso, os valores menores indicam uma maior mineralização, ou seja, os compostos liberados da decomposição do material orgânico são rapidamente disponibilizados para as plantas.

A diminuição no comportamento pode ocorrer devido às condições que promovem menor decomposição dos resíduos orgânicos, resultando na maior

relação C/N nos solos mais úmidos (STEVENSON, 1994). Esse comportamento pode ocorrer nas veredas devido às condições desfavoráveis para a decomposição conforme se aproxima do fundo, que no caso é o aumento da umidade associada à vegetação com tecidos mais resistentes. Além disso, a decomposição e a mineralização dos materiais orgânicos são dinâmicas, apresentando variações temporais bastante complexas, que dependem do material orgânico e intervenções no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A relação C/N menor nas bordas da vereda preservada também está relacionada ao ciclo de secagem e umedecimento, que ocorre em função da variação da altura dos lençóis freáticos ao longo do ano. De acordo com Seneviratne; Wild, (1985), esse ciclo aumenta a mineralização de carbono e nitrogênio no solo devido ao rompimento de microagregados e poros, que disponibiliza o carbono orgânico no solo.

No bioma cerrado, observa-se que a relação C/N média está em torno de 13, embora exista grande variabilidade, não havendo, portanto, qualquer padrão estabelecido para esse índice (SILVA; RESCK, 1997). Ramos (2000) apresentou resultados de relação C/N de 8 e 24 em veredas, sendo que, no terço inferior das vertentes, a referida relação foi em torno de 2 a 2,5 vezes maior do que nas posições mais elevadas do relevo (terços médio e superior).

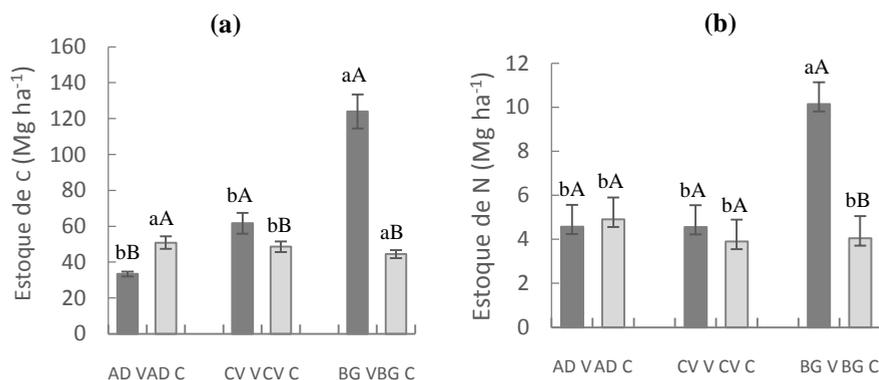
Os estoques C e N no solo seguiram o mesmo comportamento dos teores no solo e variaram de 33,37 a 124,03 Mg ha<sup>-1</sup>, e de N entre 3,94 e 10,54 Mg ha<sup>-1</sup> (GRÁFICO 5 a e b).

A área de vereda em estágio avançado de degradação (BG) apresentou valores superiores de estoques de C no solo em comparação aos das demais áreas, enquanto na área preservada os valores foram inferiores. Esse aumento na área degradada está relacionado ao acúmulo de carbono ao longo do perfil, discutido anteriormente.

O ambiente de vereda preservada (AD) apresentou uma estabilidade maior em relação aos vários atributos, quando comparado com as áreas antropizadas. Analisando esses dados distintamente, percebe-se que os estoques de C e N são bem inferiores, quando comparados com alguns

estudos no cerrado em diferentes profundidades (BROSSARD et al.,1997; MAQUERE et al., 2004). Em um dos estudos, Brossard et. al. (1997) quantificaram os estoques de carbono até 2,1 m de profundidade no cerrado, chegando aos valores de 189,5 a 247,6 Mg ha<sup>-1</sup>.

**GRÁFICO 5** - Estoque de carbono C (a) e de N (b) no solo até um metro de profundidade nas áreas de vereda e cerrado de entorno na APA do Rio Pandeiros.



\*As letras minúsculas comparam as médias entre as veredas e os cerrados nas três áreas, e as maiúsculas entre cada vereda e os seus respectivos cerrados. As letras iguais não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Fonte: Da autora

Os mesmos autores ressaltam que cerca de 50% dos estoques de carbono estão contidos na camada de 0-50 cm, e cerca de 50 a 60% no primeiro metro de profundidade, ou seja, cerca de 90 Mg ha<sup>-1</sup>. Pequenas diferenças climáticas, hidrológicas e no uso da terra podem alterar de forma importante o delicado balanço dos estoques de carbono dessas regiões, provocando sua liberação para a atmosfera (NEUE et al., 1997).

O estoque de C pode ser influenciado por diversos fatores, dentre os quais pela densidade e textura do solo. Os solos mais arenosos têm menos condições para manter os agregados de carbono retidos nas partículas. O teor mais elevado de argila favorece o aumento do carbono orgânico no solo, pois a associação entre os compostos orgânicos e a argila dificulta a decomposição, além de manter mais carbono dentro dos agregados (RUSSEL,

1973). De modo geral, os valores baixos de C e N podem ser justificados devido aos solos das áreas estudadas serem arenosos. Segundo MELO, (2003) em geral existe uma correlação positiva entre teor de argila e estoque de carbono do solo.

Ao longo do estudo percebe-se que a área considerada preservada (AD) obteve menores valores de todos os atributos avaliados nos dois ambientes, enquanto que as áreas em estágio intermediário e avançado de degradação apresentaram valores maiores. De modo geral, espera-se que as áreas preservadas tenham maiores estoques de C e N, o que não ocorre na área preservada estudada.

Na vereda preservada, na área que faz limite com o cerrado, predomina um estrato gramíneo típico desses ambientes, como ocorre na vereda AD, enquanto nas demais não existe mais essa composição vegetal, tendo, no lugar, espécies invasoras do cerrado. Essas gramíneas da área preservada são espécies perenes típicas do cerrado, que possuem adaptações morfológicas e fisiológicas para alocação de recursos (SARMIENTO, 1992). Quando encontram condições mais favoráveis, como a disponibilidade de água, elas se mantêm rigorosas, sem passar pelos ciclos de renovação, de modo que o aporte de biomassa no solo pode ser inferior aos dos demais ambientes do cerrado, o que possivelmente pode diminuir os estoques de carbono nessa faixa (zona funcional) do ecossistema vereda.

Nesse contexto, as veredas possuem todas as condições para estocar grandes quantidades de C e N, como normalmente se espera que ocorra nos ambientes úmidos, mas isso ocorre próximo à faixa denominada de fundo, onde ocorrem os solos hidromórficos e as comunidades vegetais da espécie buriti. No fundo das veredas, a associação entre a saturação por água constantemente e a grande produção de biomassa pelo buriti garante um fluxo de carbono muito superior ao das demais áreas dentro do ecossistema e também no cerrado do entorno. Dessa forma, acredita-se que a região da borda das veredas cumpre a função exclusiva de proteção dessas áreas mais baixas das veredas.

### 3.4 CONCLUSÃO

A produção de serapilheira apresentou padrões sazonais, aportando maior quantidade de material no período seco – comportamento típico de fitofisionomias de clima tropical semiárido.

O Ca foi o elemento que mais se aproximou da variação temporal de nutrientes aportados no solo conforme a época de maior produção de serapilheira.

As taxas de decomposição foram baixas devido à qualidade da serapilheira (baixa degradabilidade) e a área preservada foi aquela que teve decomposição mais acelerada devido ao equilíbrio ecológico do ambiente, que condiciona maior quantidade e diversidade de organismos decompositores.

Os menores valores de relação C/N do solo na área preservada confirmam as maiores taxas de mineralização nesse ambiente,

Os estoques de carbono e nitrogênio do solo foram maiores nas áreas antropizadas, devido aos aportes de matéria orgânica promovidos por diversas intervenções (agricultura, pecuária e queima da vegetação) ao longo do tempo.

## REFERÊNCIAS

ABER, J. D.; B., D. B.; MELILLO, J. M. Predicting the effects of different harvesting regimes on productivity and yield in northern hardwoods. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 9, n. 1, p. 10-14, 1979.

ABER, J. D.; J. M. MELILLO. **Terrestrial ecosystems**. Philadelphia: Saunders College Publishing, v. 429, 1991.

ADUAN, R. E.; VILELA, M. de F.; KLINK, Carlos Augusto. Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro. **Embrapa Cerrados**, v. 105, 2003.

AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A. **Cerrado: ecologia e caracterização**. Brasília: Embrapa, 2004. 249 p.

ALVES, A.R. Aporte e decomposição de serapilheira em área de caatinga, na Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 194-203, 2006.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Colorimetric determination of ammonium**. Tropical Soil Biology and Fertility – A Handbook of Methods. Second ed. Wallingford, UK: CAB International, 1993, p. 73-74.

ANDERSON, J. M.; SWIFT, M. J. Decomposition in terrestrial ecosystems. Tropical In: CHADWICK, A.C.; SUTTON, S.L.; WHITMORE, T.C. (ed.). **Rainforest: Ecology and Management**. Special Publication II. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1983, p. 287-309.

ANDRADE, A. G. **Ciclagem de Nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas**. 1997. 182p. Tese (Doutorado em Agronomia. Área de concentração em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1997.

ANDRADE, A.G.; CABALLERO, S.S.U.; FARIA, A.M. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 22p.

ARAÚJO, F. S.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V.; MARTINS, F. R. Repartição da flora lenhosa no domínio da caatinga. In: ARAÚJO, F. S. de; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. de V. (Org.). **Análise das variações da biodiversidade do bioma caatinga: suporte a estratégias regionais de conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente / Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2005. p. 16-33. (Biodiversidade, 12).

ARAÚJO, G.M.; BARBOSA, A.A.A.; ARANTES, A.A.; AMARAL, A. F. Composição florística de veredas no município de Uberlândia, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v.25, n. 4, p. 475-493, 2002.

ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling in a *Eucalyptus oblique* (L' Hérít) forest. IV. Nutrient uptake and nutrient return. **Australian Journal of Botany**, n. 28(2), p. 199-222, 1980.

BAHIA T.O; Veredas na APA do Rio Pandeiros: importância, impactos ambientais e perspectivas. **MG.BIOTA**, Belo Horizonte, v.2, n.3, p. 4-13, ago./set. 2009.

BARBOSA, G. V. Relevô. In: BDMG. **Diagnóstico da Economia Mineira: o espaço natural**. Belo Horizonte, 1967, v. 2, p. 69-108.

BATJES, NIELS H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v. 47, n. 2, p. 151-163, 1996.

BIRD, M.L.; MOYO, C.; VEENENDAAL, E.M.; LLOYD, J.; FROST, P. Stability of elemental carbon in a sananna soil. **Global Biogeochemical Cycles**, v.13, p. 923-932, 1999.

BOAVENTURA, R. S. **Veredas:berço das águas**. Belo Horizonte: Ecodinâmica, 2007.264 p.

BOINSKIS, S. Seasonal patterns in a tropical lowland forest. **Biotropica**, v. 21, issue 33, p. 223-233, 1989.

BOND, W. J.; WILGEN, B. W. V. **Fire and plants**. London: Chapman & Hall, 1996. 263 p.

BRASIL. Casa Civil. **Lei n. 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no b2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acesso em: 18 out. 2015.

BRAY, J.R.; GHORAN, E. Litter production in forest of the world. **Advances Ecology ofResearch**, v.2, p.101-157, 1964.

BRITEZ, R. M.Nutrientes no solo de duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá, PR.**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 4, p. 625-634, 1997.

BROSSARD, M. Nutrient storage in soils and nests of mound-building *Trinervitermes* termites in Central Burkina Faso: consequences for soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, v.43, p. 437-447, 2007.

BRUN, E.J.; SCHUMACHER, M.V.; VACCARO, S.; SPATHELF, P. Relação entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, p.277-285, 2001.

CAETANO, J. O. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de Cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1245-1255, 2013.

CALDEIRA, M. V. W. Biomassa e nutrientes da serapilheira em diferentes coberturas florestais. **Comunicata Scientiae**, v. 4, n. 2, p. 111-119, 2013.

CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; VIEIRA, M.; GONÇALVES, E.O.; GODINHO, T.O. Ciclagem de nutrientes, via deposição e acúmulo de serapilheira, em ecossistemas florestais. In: CHICHORRO, J. F.; GARCIA, G. O.; BAUER, M. O.; CALDEIRA, M. V. W. (ed.). **Tópicos em Ciências Florestais**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2010, cap.2, p.57-82.

CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A.; PASSUELLO, R.O. P.; FERREIRA, A.B.B. Produção de ácidos orgânicos voláteis com a adição de palha de arroz em glei sob condições anaeróbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 337-342, 1993.

CARNEIRO, M. A. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARPANEZZI, A. A. **Banco de sementes e deposição de folheto e seus nutrientes em povoamentos de Bracatinga (Mimosa scabrella Benth) na região metropolitana de Curitiba-PR**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Biologia vegetal). 1987. 177 p. Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. (Ed.). **Sustainable management of soil organic matter**. New York: CABI Publishing, 2001, p. 9-22.

CARVALHO, A. R.; MARQUES-ALVES, Stéphanie. Diversity and successional index of Cerrado sensu stricto at the UEG campus. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 81-90, 2008.

CARVALHO, P.G.S. As veredas e sua importância no domínio dos cerrados. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 15, n. 168, p. 47-54, 1991.

CASTRO, J.P.C. As veredas e a sua proteção jurídica. **Revista da Faculdade de Direito da UFMG**, Belo Horizonte, v. 27, n. 22, p. 491-519, out. 1979.

CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil: structure, function and turnover**. Tjele: Danish institute of agricultural sciences. Research Centre Foulum, 2000. 95p. (DIAS Report. Plant Production, 30).

CIANCIARUSO, M.C.; PIRES, J.S.R.; DELITTI, W.B.C.; SILVA, E.F.L.P. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerrado na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 20, n.1, p. 49-59,2006.

COLE, D.W.; RAPP, M. Elemental cycling in forest ecosystems. In: REICHLIED, E. (ed.). **Dynamic Properties of Forest Ecosystems**. London: Cambridge University Press, 1980, p.341-409.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. BAËTA Jr., J.D. A. (org.). **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Goiânia. Folha SE.22-X-B. Brasília: CPRM, 2001.

CORREIA, E.F; A. A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A; SILVA L. S; CANELLAS L. P;CAMARGO F. A. O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole; 2008.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, p. 197-225,1999.

COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, M.Caracterização da paisagem do Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A., L. (ed.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados: 2008, 363-378.

CUNHA, G. M.Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em florestas montanas da mata atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,Viçosa, v.33, n. 5, set./out. 2009.

DA SILVA SANTANA, J. A.; SILVA SOUTO, Jacob. Produção de serapilheira na Caatinga da região semi-árida do Rio Grande do Norte, Brasil.**Idesia**, Arica (Chile), v. 29, n. 2, p. 87-94, may./ago. 2011.

DANTAS, M.; PHILLIPSON, J. Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary Amazonian “Terra firme” rain forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, n. 1, p. 27-36, Feb. 1989.

DE MELO, A. W. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**. 2003.74 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de

Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

DELITTI, W.B.C. Estudos de ciclagem de nutrientes: instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres. In: ESTEVES, F. A. (ed.). **Oecologia Brasiliensis**. V. 1. Estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas brasileiros. Rio de Janeiro: Instituto de Biologia/UFRJ, 1995, p.469-486.

DIAS FILHO, M. B.; SERRÃO, E. A de S. **Limitações de fertilidade do solo na recuperação de pastagem degradada de capim colônio (*Panicum maximum* Jacq.) em Paragominas, na Amazônia Oriental**. Belém/PA: EMBRAPA-CPATU, 1987. 19 p. (Boletim de Pesquisa, 87).

DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005.

EITEN, G.; PINTO, M.N. **Vegetação do Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2. Ed. Brasília: UnB/SEMATEC, 1994, p. 9-65.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. CLAESSEN, M. E. C. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

FACELLI, J. M.; PICKETT, S.T.A. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. **The Botanical Review**, v. 57, issue 1, p. 1-32, Jan. 1991.

FASSBENDER, H.W. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2.ed. Turrialba / Costa Rica: **Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza**, 1993. 491 p. (Serie de materiales de enseñanza n. 29).

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.69-116, 1997.

FERNANDES, M. M. Aporte e decomposição de serrapilheira em áreas de florestas secundária, Plantio de Sabiá (*Mimosa caesal piniaefolia* Benth) e Andiroba (*Crapaguianensis* Aubl.) na Flona Mário Xavier, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 163-175, 2006.

FERREIRA, I. M. **Cerrado: classificação geomorfológica da vereda**. SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9, 2008, Planaltina. **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MORAES, G.F.; SCHAAF, L.B.; FIGUEIREDO, D.J. Avaliação Estacional da Deposição de Serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista Localizada no Sul do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n.1, p.11-18, 2003.

GAMA RODRIGUES AC. Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: funcionalidade e sustentabilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, TENDÊNCIA DA AGRICULTURA ECOLÓGICA NOS TRÓPICOS: sustento de vida e sustento da vida, 4, 2002. Ilhéus. **Anais...**[Campos dos Goytacazes]: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais - Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira; Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2004, p. 67-77.

GODINHO, T. de O. *et al.* Biomassa, macronutrientes e carbono orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta estacional semidecidual submontana, ES. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 131-144, 2013.

GODINHO, T. O. **Quantificação de biomassa e de nutrientes na serapilheira depositada em trecho de floresta estacional semidecidual submontana, Cachoeiro de Itapemirim, ES.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). 2011. 114 f. Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

GOLLEY, F.B. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida.** Tradução de Eurípedes Malavolta. São Paulo: EPU. Ed. da Universidade de São Paulo, 1978.

GOLLEY, F.B. Tropical rain forest ecosystems: structure and function. Amsterdam: Elsevier, 1983. 392p.

GREGORICH, E. G. *et al.* Biological attributes of soil quality. **Developments in Soil Science**, v. 25, p. 81-114, 1997.

GUIMARÃES, A. J. M.; ARAÚJO, G. M.; CORR A, G. F. Estrutura fitossociologia em área natural e antropizada de uma vereda em Uberlândia, MG. **Acta Botanica Brasilica**, v.16, n.3, p. 317-329, 2002.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais.** Campinas: Fundação Cargill, 1985. 144 p.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Gráficos e normais climatológicas.** Brasília: Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>>. Acesso em: 09 out. 2015.

JIAO, Y.; WHALEN, J.K. & HENDERSHOT, W.H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. **Geoderma**, v. 134, issues 1-2, p. 24-33, Sep. 2006.

JOBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological applications**, v. 10, n. 2, p. 423-436, 2000.

KEDDY, P.A. **Wetland ecology**: principles and conservation. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.614 p.

KOLM, L.; POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de Eucalyptus Grandis submetidos à prática de desbastes progressivos. **Scientia Forestalis**, v. 63, p. 79-93, 2003.

KÖNIG, F.G.; SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; SELING, I. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa floresta estacional decidual no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.4, p.429-435, 2002.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London, v. 363, p. 815-830, 2008.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v.123, n.1, p. 1-22, 2004.

LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (ed.). **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton/Florida: Lewis Publishers, 1995.

LEITÃO FILHO, H.F.; PAGANO, S.N.; C., O.; T., J.L.; Rueda, J.J. **Ecologia da mata atlântica em Cubatão, SP**. São Paulo: EDUNESP/ EDUNICAMP, 1993. 86 p.

LIMA, S.S., Teores de nutrientes da serapilheira e do solo sob sistema agroflorestal em área de transição no norte do Piauí. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.2, p.1034-1037, 2007.

LOPES, J. F. B. Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 3, n. 2, p. 72-79, 2010.

LUCHESE, E. B.; FÁVERO, L. O. B.; LENZI, E. Fase sólida do solo. In: \_\_\_\_ **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos Editora, 2002, cap. 2, p. 19-45.

LUIZÃO, F.J. Litter production and mineral element input to the forest floor in a central Amazonian forest. **GeoJournal**, v. 19, issue 4, p. 407-417, 1989.

LUIZÃO, F.J.; SCHUBART, H.O.R. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. **Experientia**, v.43, issue 3, p. 259-265, mar. 1987.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. D. M.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 172-188.

MAILLARD, P, Incêndios Florestais em Veredas: Conceitos e Estudo de Caso no Peruaçu. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 61/4, dez. 2009.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W.J. Carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 23, p. 257-236, 1999.

MARQUES, J. D. O. **Influência de atributos físicos e hídricos do solo na dinâmica do carbono orgânico sob diferentes coberturas vegetais na Amazônia Central**. 2009. 277 f. Tese (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, 2009.

MARRS, R. H.; THOMPSON, J.; SCOTT, D.; PROCTOR, J. Nitrogen mineralization and nitrification in terra-firme forest and savanna soils on Ilha-de-Maracá, Roraima, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 7, n. 1, p.123-137, Feb. 1991.

MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M.C.; TOWNSEND, A.R.; VITOUSEK, P.M.; CUEVAS, E.; MCDOWELL, W.; ROBERTSON, G.P.; SANTOS, O.C.; TRESEDER, K. Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: Tropical versus temperate forest. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 46, n 1-3, p. 45-65, 1999.

MARTINS, C. M. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1883-1890, 2010.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R.R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecídua no Município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, n. 22, n. 3, p. 405-412, 1999.

MASON, C.F., **Decomposição**. São Paulo: EPU-Ed. / USP, 1980. 63 p. (Temas de Biologia, v.18).

MEGURO, M.; VINUIZA, G.N.; DELITTI, W.B.C. Ciclagem de nutrientes na mata mesófila secundária I. Produção e conteúdo de nutrientes minerais no folheto. **Boletim de Botânica Universidade de São Paulo**, n.7, p.11- 31, 1979.

MIRANDA, A. C. Soil and air temperatures during prescribed cerated fires in Central Brazil. **Journal of tropical ecology**, v. 9, n. 3, p. 313-320, 1993.

MONTAGNINI, F.; JORDAN, C. F. Reciclação de nutrientes. In: GUARIGUATA, M. R.; KATTAN, G. H. (Eds.). **Ecología y conservación de bosques neotropicales**. Cartago: Ediciones LUR, 2002, p. 167-191.

MORAES, R. M. de; DOMINGOS, M. Elementos minerais em folhas de espécies arbóreas de Mata Atlântica e Mata de Restinga, na Ilha do Cardoso, SP. **Brazilian Journal of Botany**, v. 20, n. 2, p. 133-138, 1997.

MORAIS, V. A. Carbon and biomass stocks in a fragment of cerrado in Minas Gerais state, Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 237-245, abr./jun. 2013.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2002, 729 p.

MORELLATO, L.P.C. Nutrient cycling in two southeast Brazilian forest. Litter standing crop and I Litterfall. **Journal of Tropical Ecology**, v. 8, n. 2, p. 205-215, May 1992.

MORELLATO, P.C.; LEITÃO FILHO, H.F. (org.). **Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana: reserva de Santa Genebra**. Campinas, São Paulo: Editora da Unicamp, 1995. 136 p.

MTAMBANENGWE, F.; KIRCHMANN, H. Litter from a tropical savanna woodland (Miombo): chemical composition and C and N mineralization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, n. 12, p. 1639-1651, 1995.

NALDELHOFFER, K.J.; ABER, J.D.; MELILLO, J.M. Leaf-litter production and soil organic matter dynamucs along a nitrogen-avaitability gradient in southern Wisconsin (USA). **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 13, n. 1, p. 12-21, 1983.

NEUE, H.U.; GAUT, J. L.; WANG, Z.P. Carbon in tropical wetlands. **Geoderma**, v. 79, issues 1-4, p. 163-185, Sep. 1997.

NEVES, W. V. **Avaliação da vazão em bacias hidrográficas com veredas, em diferentes estádios de conservação, na Apa do Rio Pandeiros, MG**.

2011. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; COSTA, L. M. da. Aspectos nutricionais e ambientais do eucalipto. **Revista Brasileira de Silvicultura**, v. 18, n. 68, p. 10-17, 1996.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. NUNES, F.N. **Fertilidade do solo**. 1 ed. Viçosa/MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.551-594.

NUNES, Y. R. F.; AZEVEDO, I. F. P.; NEVES, W. V.; VELOSO, M. D. M.; SOUZA, R. M.; FERNANDES, G. W. Pandeiros: o Pantanal Mineiro. **MG. BIOTA**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2. p. 4-17, 2009.

OLIVEIRA, N. L. de S. de; FERREIRA, I. M. Análise ambiental das veredas do Chapadão de Catalão (GO). In: EREGEO SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA, 10, Catalão. **Anais eletrônicos...** Catalão: UFG, 2007.

OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers in ecological systems. **Ecology**, v.44, n. 2, p.322-331, Apr. 1963.

PAIVA, A. O.; FARIA, G. E. de. Estoque de carbono do solo sob Cerrado Sensu Stricto Distrito Federal, Brasil. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 1, p. 59-65, 2007.

PARRON, L. M. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em função do gradiente topográfico, em uma mata de galeria no Distrito Federal**. 2004. 184 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Departamento de Ecologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PARTON, William *et al.* Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. **Science**, v. 315, n. 5810, p. 361-364, 2007.

PICCOLO, A. Humus and soil conservation. In: PICCOLO, A. (Ed.). **Humic substances in Terrestrial Ecosystems**. Amsterdam / Lausanne / New York / Oxford / Shannon / Tokyo: Elsevier, 1996, p. 625-664.

PITOMBO, L.M. Estoques de carbono e nitrogênio e fluxos de gases do efeito estufa em solo com diferentes históricos de aplicação de lodo de esgoto. 2011. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)– Instituto Agrônomo, Campinas, 2011.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v. 24, p. 29-96, 1972.

RAIJ, B.van.*et al.* Alumínio trocável e saturação em bases Como critérios para recomendação de calagem. **Bragantia**, v. 42, n. 1, p. 149-156, 1983.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983.31 p.(Boletim Técnico, 81).

RAMOS, M. V. V. **Caracterização dos solos, da estrutura fitossociologia e do estado nutricional da vegetação de Veredas em diferentes superfícies geomorfológicas no Triângulo Mineiro**.2004. 128 f. (Tese – Doutorado em Ecologia) – Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

RAMOS, Marcus Vinícius Vieitas *et al.*Veredas do Triângulo Mineiro: Solos, água e uso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, mar./abr. 2006.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, Exeter, v. 80, n. 3, p. 223-230, 1997.

RIBEIRO; J.F.; WALTER, B.M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado: os biomas do Brasil. In: SANO, M. M.; ALMEIDA, S. P. (ed.). **Cerrado: ambiente e flora**.Brasília/DF: Embrapa Cerrados, 1998, p. 87-116.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**:aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos. 2. ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 1997. 747p.

RODRIGUES, W.A.; Klinge, H.; Fittkau, E.J. Estrutura e funcionamento de um ecossistema florestal amazônico de terra firme junto à Reserva Florestal Walter Egler, município de Rio Preto da Eva, Amazonas, Brasil. **Acta Biológica Paranaense**, v. 29, p. 219-243, 2000.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**: Modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.304 p.

RUSSEL, E.W. **Soil conditions and plant growth**. 10.ed. London: Longman, 1973.

SAGGAR, S.; HEDLEY, C.B.; SALT, G.J. Soil microbial biomass, metabolic quotient, and carbon and nitrogen mineralisation in 25-year-old *Pinus radiata* agroforestry regimes. **Australian Journal of Soil Research**, v.39, p.491-504, 2001.

SAH, R. N.; MIKKELSEN, D. S.; HAFEZ, A. A. Phosphorus behavior in flooded-drained soils. II. Iron transformation and phosphorus sorption.**Soil Science Society of America Journal**, v. 53, n. 6, p. 1723-1729, 1989.

SAMPAIO, E. V. S. B; NUNES, K. S.; LEMOS, E. E. P. Ciclagem de nutrientes na mata de Dois Irmãos (Recife-PE) através da queda de material vegetal.**Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 23, n. 10, p. 1055-1061, 1988.

SANCHEZ, P. A.; V., J. H.; BANDY, D. E. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, p. 1171-1178, 1983.

SANTANA J. A. da S. Estrutura fitossociológica, produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes em uma área de Caatinga no Seridó do Rio Grande do Norte. 2005. 184 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.

SANTANA, J. A. da S. *et al.* Acúmulo de serapilheira em plantios puros e em fragmento de Mata Atlântica na Floresta Nacional de Nísia Floresta-RN. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, 2009.

SANTOS, H.P.; T., G.O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função dos sistemas de cultivo e manejo do solo. **Ciência Rural**, v.33, p.477-486, 2003.

SARMIENTO, G. Adaptive strategies of perennial grasses in South American savannas. **Journal of Vegetation Science**, v. 3, issue 3, p. 325-336, Jun. 1992.

SAYER, E.J. Using experimental manipulation to access the role of leaf litter in functioning of Forest ecosystems. **Biological Reviews**, Cambridge, v.81, n.1, p.1-31, 2005.

SCHEEER, M. B. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em um trecho de floresta ombrófila densa aluvial em regeneração, Guaraqueçaba (PR). **Floresta**, v. 38, n. 2, 2008.

SCHINDLER, M.H.; GESSNER, M.O. Functional leaf traits and biodiversity effects on litter decomposition in a stream. **Ecology**, v. 90, issue 6, p. 1641-1649, Jun. 2009.

SCHOLES, R. J.; BREEMEN, N. The effects of global change on tropical ecosystems. **Geoderma**, v. 79, n. 01, p. 9-24, 1997.

SCHUMACHER, M.V.; BRUN, E.J.; H., J.I.; KONIG, F. G. Produção de serapilheira em uma floresta de Araucária angustifolia (Bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, v.28, n. 1, 29-37, 2004.

SENEVIRATNE, R. AND WILD, A. Effect of mild drying on the mineralization of soil nitrogen. **Plant Soil**, n.84, issue 2, p. 175-179, Jun. 1985.

SILVA, A. R. da; SANTOS, L. C. A. dos. Avaliação fitogeográfica em sub-bacia hidrográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, 2009, Viçosa. **Anais eletrônicos...** Viçosa: UFV, 2009. Disponível em: <[http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo3/002.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo3/002.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2015.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; V. ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap. VI, p. 275-374.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: **Embrapa-CPAC**, 1997, p. 467-524.

SILVEIRA, P. **Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila mista**. 2008. 112f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SILVER, W.L.; MIYA, R.K. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects. **Oecologia**, New York, v. 129, issue 3, p. 407-419, Nov. 2001.

SOUSA, R. F. Frações da matéria orgânica e atributos biológicos do solo em veredas conservadas e antropizadas no bioma cerrado. 2013. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia (EAEA) da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

SWIFT, M. J.; H., O. W.; ANDERSON, J. M. Decomposition in terrestrial ecosystems. In: ANDERSON, D. J.; GREIG-SMITH, P.; PITELKA, F. A. **Studies in Ecology**. Volume 5. Berkeley: University of California Press, 1979.

TINER, R.W. The concept of a hydrophyte for wetland identification. **BioScience**, Reston, v. 41, n. 4, p. 236-247, 1991.

TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.A. M.; MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de latossolos roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 271-278, 1997.

TOLEDO, L.O.; PEREIRA, M. G. Dinâmica da deposição de serapilheira: um estudo prolongado em florestas secundárias em áreas de mata atlântica. **Florestas e Ambiente**, Seropédica, v. 11, p. 39-46, 2004.

TURNER, B. L.; MAHIEU, N.; CONDRON, L. M. The phosphorus composition of temperate pasture soil determined by NaOH-EDTA, extraction and solution. **Organic Geochemistry**, v. 34, issue, 8, p. 1199-1210, Aug. 2003.

VALENTINI, C.M.A. **Efluxo de CO<sub>2</sub> do solo de uma área de floresta de transição no noroeste de Mato Grosso**. 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2004.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa.v. 33, n. 4, p. 743-755, jul./ago.2009.

VITAL, A.R.T.; G. I.G.; FRANKEN, W.K.; F., R.C.B. Produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 793-800, nov./dez. 2004.

VITOUSEK, P. M. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. **The American Naturalist**, v.119, n. 4, p. 553-572, Apr. 1982.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD, R.L.Jr. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p.137-167, Nov. 1986.

VOGEL, H. L. M. Avaliação da devolução de serapilheira em uma floresta estacional decidual em Itaara, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 3, p. 187-196, 2007.

WARING, Richard H. *et al.* **Forest ecosystems: concepts and management**. London: Academic Press, 1985.

WERNECK, M. S.; PEDRALLI, G.; GIESEKE, L. F. Produção de serapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto-MG. **Revista Brasileira de Botânica**[Online], v. 24, n. 2, p. 195-198, 2001.

WOLF, B.; SNYDER, G. H. Sustainable soils. **The place of organic matter in sustaining soils and their productivity**. New York: Food Products Press, 2003.352p.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v. 79, issues 1-4, p. 117-161, Sept. 1997.

ZHENG, H. *et al.* Variation of carbon storage by different reforestation types in the hilly red soil region of southern China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.255, p.1113-1221, 2008.

ZINN, Yuri L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v. 127, n. 1-2, p. 168-173, Jul. 2005.