

VALÉRIA SANTOS CAVALCANTE

**CICLAGEM BIOQUÍMICA E BIOGEOQUÍMICA DE NUTRIENTES EM TECA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

C377c  
2017 Cavalcante, Valéria Santos, 1988-  
Ciclagem bioquímica e biogeoquímica de nutrientes em  
teca / Valéria Santos Cavalcante. – Viçosa, MG, 2017.  
xiv, 59f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Júlio César Lima Neves.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.49-59.

1. Teca - Diagnose Foliar. 2. Teca - Ciclagem interna de  
nutrientes. 3. Teca - Teor de compostos orgânicos. 4. Teca -  
Matéria orgânica do solo. 5. *Tectona grandis*. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de  
Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22 ed. 631.42

VALÉRIA SANTOS CAVALCANTE

**CICLAGEM BIOQUÍMICA E BIOGEOQUÍMICA DE NUTRIENTES EM TECA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 31 de julho de 2017.



Nairam Félix de Barros



Lafayete Gonçalves Campelo Martins



Herminia Emília Prieto Martinez



Emanuelle Mercês Barros Soares  
(Coorientadora)



Júlio César Lima Neves  
(Orientador)

*A Deus, por sempre está comigo e nunca me deixar desistir.*

*Ofereço*

*Aos meus amados pais Maria José Santos Cavalcante e Cicero Tenório Cavalcante, pelo incentivo incondicional na minha formação acadêmica, como também pelo exemplo de humildade e força de vontade, e acima de tudo pelo amor e dedicação;*  
*A minha querida irmã Ana Viviane Santos Cavalcante, pelo carinho e companheirismo.*

*Com amor*

*DEDICO*

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo  
do céu.  
Há tempo de nascer, e tempo de morrer; tempo de plantar, e tempo de arrancar  
o que se plantou...”

(Eclesiastes 3:1,2)

“Na vida, não existe nada a temer, mas a entender.”

(Marie Curie)

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade de realizar este curso.

À FAPEMIG e ao CNPQ pela concessão das bolsas de estudos.

Ao professor Júlio César Lima Neves, pela orientação, paciência, ensinamentos e apoio durante toda a execução deste trabalho.

A professora Emanuelle Mercês Barros Soares, pela coorientação e sugestões importantes durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Ivo Ribeiro da Silva por disponibilizar o laboratório de isótopos estáveis (LIE) para a realização de diversas análises, sendo essencial para a obtenção de dados deste trabalho.

Aos membros da banca de avaliação desta tese, Nairam Félix de Barros, Lafayette Gonçalves Campelo Martins, Hermínia Emília Prieto Martinez e Emanuelle Mercês Barros Soares pelas valiosas considerações.

A empresa Guavirá onde foram desenvolvidos os experimentos, por toda assistência e empenho para a execução deste trabalho.

Aos engenheiros florestais Dione Henrique e Jonnes, pelo compromisso nas coletas de dados dos experimentos.

Aos professores e funcionários dos laboratórios de Solos Florestais e Fertilidade do Solo.

Aos técnicos do LIE, João Miranda Milagres e o Humberto Teixeira Rosado, por toda paciência, sugestões e auxílios na execução das análises.

Ao grupo GEMOS, pelo conhecimento transmitido na área de matéria orgânica e técnicas de laboratório.

As estagiárias Luísa Carla Cotta e Juana Amaral Figueira, pela ajuda imprescindível na conclusão das análises de laboratório.

Ao Rodrigo Nogueira e Márcio dos Santos pela contribuição nas análises.

Enfim, a todos os funcionários do DPS, aos professores que tive durante minha vida de estudante, aos parentes, e principalmente aos grandes amigos que tive a oportunidade de conhecer desde a graduação até o doutorado e que de alguma forma contribuíram para que eu conseguisse concluir cada etapa.

**MUITO OBRIGADA!**

## **BIOGRAFIA**

Valéria Santos Cavalcante, filha de Cicero Tenório Cavalcante e Maria José Santos Cavalcante, nasceu em Arapiraca (AL), em 09 de setembro de 1988.

Em setembro de 2006, ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal de Alagoas, Câmpus Arapiraca, concluindo em junho de 2011.

Em agosto de 2011, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, obtendo o título de mestre em julho de 2013.

Em agosto de 2013, iniciou o curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, submetendo-se à defesa de tese no dia 31 de julho de 2017.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>RESUMO</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	6
2.1. Área de estudo .....	6
<b>2.2. Experimento 1: Ciclagem bioquímica de nutrientes nas folhas e lenho em teca clonal</b> .....	7
2.2.1. Período de avaliação.....	7
2.2.2. Delineamento experimental e amostragem das folhas.....	8
2.2.3. Amostragem de discos no lenho .....	8
2.2.4. Análise nutricional .....	9
2.2.5. Análise dos dados e cálculo da magnitude relativa da ciclagem bioquímica (MRCB) .....	9
<b>2.3. Experimento 2: Ciclagem biogeoquímica de nutrientes em povoamento de teca clonal</b> .....	11
2.3.1. Delineamento experimental.....	11
2.3.2. Análise nutricional e ajuste de modelos .....	12
2.3.3. Análise de compostos orgânicos no litter e da matéria orgânica do solo .....	12
2.3.4. Relação entre o retorno dos nutrientes do litter para o solo, acúmulo na planta e teor no solo.....	13
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	14
<b>3.1. Experimento 1: Ciclagem bioquímica nas folhas e no lenho em povoamento de teca clonal</b> .....	14
3.1.1. Diagnose Foliar em povoamento de teca clonal.....	14

3.1.2. Magnitude relativa da ciclagem bioquímica nas folhas de teca .....	18
3.1.3. Teores de nutrientes e magnitude relativa da ciclagem bioquímica no lenho de teca.....	22
3.1.4. Contribuição da MRCB nas folhas e lenho de teca .....	25
<b>3.2. Experimento 2: Ciclagem biogeoquímica em povoamento de teca clonal</b> .....	<b>26</b>
3.2.1. Decomposição e liberação dos macronutrientes do litter .....	26
3.2.2. Compostos orgânicos no litter .....	31
3.2.3. Relação entre acúmulo de P, K, Ca e Mg na planta, liberação do litter e teor dos nutrientes no solo .....	38
3.2.4. Características químicas do solo.....	39
3.2.5. Matéria orgânica do solo .....	41
3.3. Contribuição da ciclagem bioquímica e biogeoquímica.....	46
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>48</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características químicas e granulométricas do solo da área experimental antes da instalação do experimento .....	7
<b>Tabela 2.</b> Coeficientes de variação dos teores dos nutrientes nos estratos superior, médio e inferior da copa de teca clonal vs tempo .....	17
<b>Tabela 3.</b> Teores de N, P, K, Ca e Mg nos discos coletados nas secções de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial da árvore, e em posições radiais desde próximo da casca até o cerne dos discos retirados do lenho de árvore média de teca clonal .....	22
<b>Tabela 4.</b> Teor de macronutrientes e a razão de C/N, C/P, C/S, N/P no litter de teca clonal vs o tempo. Médias $\pm$ Erro Padrão, n= 4 .....	28
<b>Tabela 5.</b> Relações LIG/N, LIG/P, LIG/POLF e LIG+POLF/N no litter da teca clonal vs tempo. Médias $\pm$ Erro Padrão, n= 4 .....	32
<b>Tabela 6.</b> Coeficientes de correlação de Pearson entre massa de matéria seca (MMS, g), polissacarídeos (POLLS, g kg <sup>-1</sup> ), polifenóis (POLF, g kg <sup>-1</sup> ), tanino (TAN, g kg <sup>-1</sup> ), extrativos (EX, dag kg <sup>-1</sup> ), lignina solúvel (LIGS, dag kg <sup>-1</sup> ), lignina insolúvel (LIGI, dag kg <sup>-1</sup> ), lignina total (LIGT, dag kg <sup>-1</sup> ), holocelulose (HOLO, dag kg <sup>-1</sup> ), as relações C/N, C/P, C/S, LIG/N, LIG/P, LIG/POLF e LIG+POLF/N de teca clonal vs o tempo .....	34
<b>Tabela 7.</b> Coeficientes de correlação de Pearson entre os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S, %), polissacarídeos (POLLS, g kg <sup>-1</sup> ), polifenóis (POLF, g kg <sup>-1</sup> ), tanino (TAN, g kg <sup>-1</sup> ), extrativos (EX, dag kg <sup>-1</sup> ), lignina solúvel (LIGS, dag kg <sup>-1</sup> ), lignina insolúvel (LIGI, dag kg <sup>-1</sup> ), lignina total (LIGT, dag kg <sup>-1</sup> ) e holocelulose (HOLO, dag kg <sup>-1</sup> ) durante o período de um ano de decomposição do litter de teca clonal.....	35
<b>Tabela 8.</b> Características químicas do solo sob plantio de teca clonal vs tempo. Médias $\pm$ Erro Padrão, n= 4. T: tempo e Prof: profundidade.....	40

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Dados climáticos do período de 2015-2016 na cidade de Diamantino, MT. (Pesquisa: INMET) .....	6
<b>Figura 2.</b> Amostragem dos discos nas posições 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial; e no disco nas posições radiais desde próximo à casca até o centro.....	9
<b>Figura 3.</b> Plantio de teca clonal e coletor de litter no momento da instalação do experimento (a); e ambos no período de seca, juntamente com os litter bags dispostos na área (b). .....	11
<b>Figura 4.</b> Teores de macronutrientes nos estratos superior, médio e inferior da copa de teca clonal vs tempo. (as barras verticais indicam o erro padrão da média, n= 4).....	15
<b>Figura 5.</b> Relação N/Ca, P/Ca, K/Ca, Mg/Ca e S/Ca nos estratos superior, médio e inferior da copa de teca clonal em função do tempo após o reenfolhamento da copa. (as barras verticais indicam o erro padrão da média, n= 4).....	19
<b>Figura 6.</b> Magnitude relativa da ciclagem bioquímica máxima nos estratos superior, médio e inferior da copa de teca clonal.....	20
<b>Figura 7.</b> Magnitude relativa da ciclagem bioquímica nos estratos superior, médio e inferior da copa de teca clonal entre os tempos com menor coeficiente de variação e o tempo final de avaliação.....	21
<b>Figura 8.</b> Magnitude relativa da ciclagem bioquímica em diferentes posições no lenho (a) e no lenho como um todo considerando a massa de Matéria Seca dos Discos das várias posições (b) em teca clonal. ....	24
<b>Figura 9.</b> Contribuição da ciclagem bioquímica nas folhas, no lenho e folhas mais lenho em plantio de teca clonal, considerando-se o período de avaliação de 12 meses para as folhas, e para o lenho foi realizada uma amostragem em determinada época. ....	25
<b>Figura 10.</b> Massa de matéria seca remanescente (MMSR, %) do litter em plantio teca clonal em função do tempo. MMST0: massa de matéria seca no tempo zero.....	26
<b>Figura 11.</b> Conteúdo de carbono orgânico total (COT) no litter em plantio teca clonal em função do tempo.....	29

<b>Figura 12.</b> Conteúdo relativo de N, P, K, Ca e Mg no litter de teca clonal vs tempo. AcT0: acúmulo de nutrientes no tempo zero.....	30
<b>Figura 13.</b> Teor e conteúdo relativo de polifenóis (a), taninos (b), polissacarídeos (c), extrativos (d), lignina solúvel (e) lignina insolúvel (f), lignina total (g) e holocelulose (h) no litter da teca clonal vs tempo. (as barras verticais indicam o erro padrão da média, n=4). .....	33
<b>Figura 14.</b> Relação entre o retorno de P, K, Ca e Mg do litter para o solo, teor dos nutrientes no solo e o acúmulo na parte aérea da teca clonal vs tempo....	38
<b>Figura 15.</b> Carbono orgânico total – COT (a), nitrogênio total - NT (b) e a relação entre carbono e nitrogênio total (COT/NT) no solo sob o plantio de teca clonal vs o tempo. ....	42
<b>Figura 16.</b> Carbono da matéria orgânica particulada - CMOP (a), carbono da matéria orgânica associada aos minerais - CMAM (b) e carbono lábil - CL (c) no solo sob o plantio de teca clonal vs o tempo. ....	43
<b>Figura 17.</b> Carbono da biomassa microbiana - CBM (a), nitrogênio da biomassa microbiana - NBM (b) e relação entre carbono e nitrogênio da biomassa - CBM/NBM (c) no solo sob o plantio de teca clonal vs o tempo. ....	44
<b>Figura 18.</b> Fenóis solúveis em água - FSA (a) e polissacarídeos - POLS (b) no solo sob o plantio de teca clonal vs o tempo. ....	45
<b>Figura 19.</b> Contribuição da ciclagem biogeoquímica em plantio de teca clonal durante o período de 12 meses. ....	46
<b>Figura 20.</b> Contribuição da ciclagem bioquímica e biogeoquímica em plantio de teca clonal durante o período de 12 meses, exceto para a ciclagem bioquímica no lenho que foi realizada uma amostragem em determinada época.....	47

## RESUMO

CAVALCANTE, Valéria Santos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Ciclagem bioquímica e biogeoquímica de nutrientes em teca.** Orientador: Júlio César Lima Neves. Coorientadora: Emanuelle Mercês Barros Soares.

A dinâmica da ciclagem de nutrientes em florestas caducifólias, como, a teca influencia no manejo nutricional adequado dos plantios. Assim, objetivou-se com o trabalho: i) avaliar a variação temporal dos teores de nutrientes em folhas de teca; ii) determinar a melhor posição na copa e o período para amostragem foliar visando o diagnóstico do estado nutricional dos plantios; iii) estimar a magnitude relativa da ciclagem bioquímica nas folhas e no lenho; iv) avaliar a dinâmica de decomposição do litter e a liberação de nutrientes e compostos orgânicos para o solo. Os trabalhos foram realizados em teca clonal em São José do Rio Claro, Mato Grosso. Para a determinação da ciclagem bioquímica nas folhas e da posição na copa para a diagnose foliar foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, considerando 26 árvores médias, coletando-se mensalmente (12 meses) folhas, na parte central dos ramos do terço inferior, médio e superior das copas. Para avaliar a ciclagem bioquímica no lenho foi considerada uma árvore média, da qual foram retirados discos de 2,5 cm de espessura, nas secções: 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. Em cada disco na posição radial foram retiradas amostras próximas à casca até o centro do disco. O número de amostras retiradas da posição radial de cada disco variou com a localização do mesmo na árvore. Nas amostras de folhas e lenho, foram determinados os teores de macronutrientes. Foi calculada a Magnitude Relativa da Ciclagem Bioquímica (MRCB) na folha e no lenho. O experimento para determinação da ciclagem biogeoquímica foi realizado dispondo, no povoamento, 12 coletores de litter. O litter depositado nos coletores no período seco foi disposto em 72 litter bags. Mensalmente (11 meses), foram retirados 6 litter bags para avaliação da decomposição, e dos teores e conteúdos dos macronutrientes. Os litter bags foram coletados em: 0; 0,25; 0,58; 0,75 e 0,91 ano, para a realização das análises: lignina solúvel (LGS), insolúvel (LGI) e total (LIG), carbono orgânico total (COT), holocelulose (HOLO), extrativos (EX), polifenóis (POLF), taninos (TAN) e polissacarídeos (POLS). Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-20, 20-40 e

40-60 cm para a determinação de: carbono lábil (CL), carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM), nitrogênio total (NT), carbono orgânico total no solo e na matéria orgânica particulada (CMOP) e matéria orgânica associada aos minerais (CMAM), fenóis solúveis em água (FSA) e polissacarídeos. As mesmas amostras foram submetidas às análises de fertilidade. Foram calculadas as relações para o resíduo: C/N, C/P, C/S, LIG/N, LIG/P, LIG/POLF e LIG+POLF/N; e para o solo: C/N e CBM/NBM. Para a diagnose foliar em povoamento de teca clonal nas condições edafoclimáticas do Mato Grosso é indicada a coleta das folhas na posição inferior da copa e na região central dos ramos, de dezembro a fevereiro. Os nutrientes N, P, K e S foram retranslocados no período de senescência das folhas de teca clonal para algum órgão de reserva da planta. O teor de Ca e Mg permaneceu inalterado em grande parte nas folhas senescentes. A MRCB nas folhas considerando o período antes da abscisão e após o reenfolhamento (MRCB máxima) foi em média 95% para N, P, K e S, e 71% para Mg. Após o reenfolhamento para a construção da reserva, a MRCB foi em média 44,3% para N, P, K e Mg, e de modo geral seguiu a ordem: Mg>K>P>N. No lenho a MRCB dos nutrientes seguiu a ordem: P>K>N>Mg, sendo maior na posição correspondente a 25% da altura total do fuste. A ciclagem bioquímica de nutrientes nas folhas e no lenho pode contribuir para reduzir a quantidade da adubação, correspondendo a 61,3 kg ha<sup>-1</sup> N, 4,9 kg ha<sup>-1</sup> P, 43,2 kg ha<sup>-1</sup> K e 24,7 kg ha<sup>-1</sup> Mg. O litter em plantios de teca no período seco foi constituído principalmente por folhas, com decomposição lenta (T<sub>1/2</sub> de 0,736 ano) em razão da alta concentração da LGI. No litter, a velocidade de liberação dos nutrientes, seguiu a ordem decrescente: K>Ca>Mg>P>N, sendo a contribuição da ciclagem biogeoquímica de 17,5 kg ha<sup>-1</sup> N, 1,5 kg ha<sup>-1</sup> P, 15,8 kg ha<sup>-1</sup> K, 61,0 kg ha<sup>-1</sup> Ca e 28,5 kg ha<sup>-1</sup> Mg. A transferência dos nutrientes e compostos orgânicos do litter para o solo foi mais perceptível na profundidade de 0-20 cm, sendo maior entre 0,25 ano a 0,75 ano. A fertilidade do solo foi melhorada com o aumento do pH, teor de Ca e Mg, soma de bases, saturação por base, capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva, CTC total e ausência de alumínio; houve ainda aumento da matéria orgânica do solo expressa pelo maior teor de CL, COT, NT, índice C/N, POLS, CMAM, CMOP e FSA.

## ABSTRACT

CAVALCANTE, Valéria Santos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Biochemical and biogeochemical cycling of nutrients in teak stands.** Adviser: Júlio César Lima Neves. Co-adviser: Emanuelle Mercês Barros Soares.

The dynamics of nutrient cycling in deciduous forests such as in teak influences the proper nutritional management of plantations. The objectives of this study were: i) to evaluate the temporal variation of nutrient contents in clonal teak leaves; ii) determine the best canopy position and season for leaf sampling to diagnosis the nutritional status of plantations; iii) estimate the relative magnitude of the biochemical cycling at the level of leaves and wood; iv) evaluate the dynamics of decomposition, the release of nutrients and organic compounds of teak clonal litter to soil. The study was carried out in clonal teak in São José do Rio Claro, Mato Grosso. We selected 26 trees and collected monthly (12 months) sheets in the central part of the lower third of the branches, middle and top canopy to determine the biochemical cycling (RMBC) at leaf level and the best position for the canopy's nutritional leaf diagnosis in the completely randomized design. To study the biochemical cycling of wood we sampled thick disc (2,5 cm height) of a representative tree considering the sections: 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of the commercial height. From each disc we extracted wood samples from the shell to disc center. Macronutrients were determined in leaf and wood samples. The relative magnitude of RMBC at leaf and wood level was also calculated. The experiment to determine the biogeochemical cycling was carried out with 12 litter collectors. The litter deposited in the collectors during the dry period was arranged in 72 litter bags. During 11 months we collected monthly 6 litter bags to determine the content and contents of the macronutrients and to evaluate the litter decomposition. In litter bags collected at: 0; 0.25; 0.58; 0.75 and 0.91 years were performed biochemical analyzes residue (lignin soluble (LGS), insoluble (LIGI) and total (LGT); total organic carbon (TOC), holocellulose (HOLO), extractives (EX), polyphenols (POLP), tannins (TAN), polysaccharides (POLS)), and the soil in the depths of 0-20, 20-40 e 40-60 cm (labile carbon (labile C), carbon and nitrogen microbial biomass (MBC and MBN), total nitrogen (Total N), total organic carbon in soil and particulate organic matter (CMOP) and organic matter associated with the

minerals (CMAM ), water soluble phenols (FSA) and polysaccharides). In the soil samples we performed analyzes to verify soil fertility. The nutrients's relationships for the residue were calculated: C/N, C/P, C/S, LIG/N, LIG/P, LIG/POLF and LIG+POLF/N; and for the soil: C/N and MBC/MBN. The results show that the for Mato Grosso state's edaphoclimatic conditions teak trees should be sampled for nutritional diagnosis in lower part of canopy and the in central part of branches during the period between december and february. The nutrient contents N, P, K and S were translocated in the senescence period of the clonal teak leaves to a reserve organ's plant, while the content of Ca remained largely in the senescent leaves, and the Mg content presented similar behavior. The RMBC in the leaves considering the period before abscission and after re-folding (RMBC maximum) on average 95% for N, P, K and S, and 71% for Mg. After re-foliation for the reserve construction, the RMBC was on average 44.3% for N, P, K and Mg, and generally followed the order: Mg>K>P>N. At wood level the RMBC of the nutrients followed the order: P>K>N>Mg, being higher in the position of 25% of the total height of the stem. Biochemical cycling of nutrients at leaf and wood level contributed to the reduction of fertilization, since it corresponds to 61.3 kg ha<sup>-1</sup> of N, 4.9 kg ha<sup>-1</sup> of P, 43.2 kg ha<sup>-1</sup> of K and 24.7 kg ha<sup>-1</sup> of Mg. The decomposition of the litter consisting mainly of teak leaves was slow, with T<sub>1/2</sub> of 0.736 years, reflecting the higher concentration of LIGI, made it difficult to decompose the residue. The rate of nutrients release from litter followed the descending order: K>Ca>Mg>P>N. With the contribution of biogeochemical cycling of 17.5 kg ha<sup>-1</sup> of N, 1.5 kg ha<sup>-1</sup> of P, 15.8 kg ha<sup>-1</sup> of K, 61.0 kg ha<sup>-1</sup> of Ca e 28.5 kg ha<sup>-1</sup> of Mg. The transfer of nutrients and organic compounds from the litter to the soil were more noticeable in depth of 0-20 cm, the period of 0.25 years to 0.75 years had the greatest degradation of litter by microorganisms improving soil fertility (higher pH, Ca content and Mg, sum of bases, base saturation, cation exchange capacity (CTC) effective, total CTC and without the presence of aluminum); and also improving the soil organic matter with the highest labile C, COT, Total N, C/N, POLS, CMAM, CMOP and FSA.

## 1. INTRODUÇÃO

A teca (*Tectona grandis*) pertence à família botânica Lamiaceae, e é classificada como heliófita caducifólia com perda de todas as folhas no período de baixa precipitação (Schnell & Paludzyszyn Filho, 2010). Teve origem no sul e sudeste do continente asiático, com distribuição na Índia, Mianmar, Tailândia e Laos. Há centenas de anos foi introduzida no Sri Lanka e Indonésia. Atualmente ocupa importante espaço no mercado entre as espécies florestais tropicais produtoras de madeira, cultivada nas Américas do Sul e Central, e na África (Pelissari, Guimarães, Behling, & Ebling, 2014).

A madeira proveniente da teca é caracterizada pela alta durabilidade, resistência e fácil manuseio, sendo utilizada na elaboração de móveis, materiais de habitação, artesanato, navios e vários outros produtos (Kollert & Cherubini, 2012).

No Brasil, o interesse pela teca vem aumentando, devido às medidas restritivas ao uso de madeira de matas nativas, à menor oferta pelos países do sudeste asiático, às restrições de importação e cotas, além do aumento da demanda e dos elevados valores da madeira no mercado internacional (Schnell & Paludzyszyn Filho, 2010). O cultivo dessa espécie florestal é realizado principalmente na região Centro-Oeste e Norte (Shimizu, Klein, & Oliveira, 2007), destacando-se o Mato Grosso que em 2010 apresentou 60 mil ha cultivados (Arefloresta, 2015).

Para o estado do Mato Grosso, Ângelo, Silva, Souza, e Gatto (2009) concluíram que o investimento na cultura da teca é lucrativo aos produtores, pois o valor da floresta aos 25 anos (idade de corte) fica entre US\$ 4.973 a US\$ 14.059 por hectare; a maturidade financeira do plantio ocorre dos 14 anos aos 20 anos dependendo da taxa de remuneração do capital; a taxa de crescimento indica que após o 20º ano o reflorestamento de teca apresenta rendimento inferior a 6% ao ano; as expectativas de preço para o vigésimo ano foram de US\$ 97,97, US\$ 138,94 e US\$ 195,98 por m<sup>3</sup> para remunerar o investimento de US\$ 7.500,00 no primeiro ano, a 6%, 8% e 10% ao ano, respectivamente.

A teca necessita de correção adequada do solo para que atinjam elevadas produtividades, exigindo saturação por base de 60 a 80%. Assim, em solos ácidos a realização da calagem é de grande importância para a cultura

(Favare, Guerrini, & Backes, 2012). Além disso, o teor de Ca e P no solo tem apresentado correlação com as propriedades da madeira, com rendimento de cerne maior em locais com fertilização intensiva (Moya & Perez, 2008).

Em relação ao acúmulo dos nutrientes na árvore existem alguns trabalhos como o de Oliveira (2003) que verificou maior concentração de N na copa, porém os maiores teores de Ca e Mg foram constatados na casca. Favare, Guerrini, e Backes (2012) observaram quanto ao acúmulo de nutrientes na parte aérea da teca, a seguinte ordem:  $N > Ca > K > Mg > P > S > Fe > Mn > B > Zn > Cu$ . Pontes (2011) relacionou os teores de nutrientes nos componentes da planta ao diâmetro a 1,30 m de altura (DAP); verificando aumento nos teores foliares de Ca, Mg e Mn com o aumento de dap e, no tronco, decréscimo dos teores de N, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu e B, e constância dos teores de P e S. Behling (2009) observou a seguinte ordem decrescente de acúmulo total de macronutrientes na teca:  $Ca > K > N > P > Mg > S$ , sendo o K o mais acumulado no lenho. Barroso, Figueiredo, Pereira, Mendonça, e Silva (2005) também destacam a importância do Ca e N na nutrição da teca.

Na planta, a maior quantidade dos nutrientes está concentrada nas partes reprodutiva e nas folhas, já os menores teores de N, P, K, Ca, Mg, S e Cl foram encontrados na madeira. Tal fato proporciona altas taxas de retorno de nutrientes ao solo nas camadas superficiais, via deposição da serapilheira, e grande parte destes são potencialmente cicláveis ficando novamente disponíveis para absorção pela teca (Kumar, Kumar, Bhoi, & Sajish, 2009).

Segundo Jha (2014), a relação entre o retorno de N e P do litter de teca e a absorção bruta indica que o retorno anual é superior à absorção. No entanto, existe menor armazenamento de nutrientes em plantas com 30 anos do que em plantas com um ano, indicando que os nutrientes são esgotados durante o crescimento da teca, ou seja, com o tempo o retorno anual se torna menor que a absorção anual.

Além disso, a quantidade de carbono nas árvores influencia a decomposição e liberação dos nutrientes do litter, assim em plantios de teca no Panamá, Kraenzel, Castillo, Moore, e Potvin (2003) verificaram o conteúdo de carbono nas raízes de  $15,7 \text{ t ha}^{-1}$ , sendo a maior contribuição das raízes grossas em relação às raízes finas para a biomassa total da planta; na parte aérea foi em média de  $104,5 \text{ t ha}^{-1}$  e no litter de  $3,4 \text{ t ha}^{-1}$ .

Neste contexto, os trabalhos sobre ciclagem de nutrientes em espécies florestais possibilitam avaliar os reflexos de alterações nas técnicas de manejo na sustentabilidade dos plantios. As quantidades de nutrientes no solo, na biomassa da parte aérea e na serapilheira são importantes para a manutenção dos ecossistemas florestais. Mesmo que em solos mais pobres o teor de nutrientes na serapilheira seja menor que em solos férteis, ela constitui uma das principais fontes de nutrientes do sistema (Gama-Rodrigues, Barros, & Santos, 2003).

A ciclagem de nutrientes, de acordo com Switzer e Nelson (1972), pode ser dividida em três ciclos: ciclo geoquímico, que considera as formas de entrada e saída dos nutrientes do ecossistema, sendo o solo o principal fator de estudo; ciclo bioquímico, caracterizado pelo fluxo interno dos nutrientes nas plantas, em que esses são retranslocados dos tecidos velhos para os jovens; ciclo biogeoquímico que consiste no fluxo de nutrientes entre a planta-solo-planta havendo também a participação da atmosfera e do intemperismo.

O retorno de nutrientes por meio da queda de folhas e outras estruturas das árvores constitui a via mais importante do ciclo biogeoquímico, e que se torna mais relevante em condições de solos de baixa fertilidade (Reis & Barros, 1990).

O dossel das árvores influencia o ciclo de nutrientes nos ecossistemas florestais, uma vez que determina a quantidade e a composição da serapilheira, influenciando na decomposição ao alterar os microrganismos do solo e a fauna do local, como por exemplo, espécies com folhas largas tem concentração maior de cátions e proporcionam maior soma de bases e pH no solo (Prescott, 2002).

Ao analisar os componentes da serapilheira de *Eucalyptus grandis* Cunha, Gama-Rodrigues, e Costa (2005) verificaram que o litter foi o que mais contribuiu para o retorno dos nutrientes no solo. Desta forma, a manutenção da fertilidade do solo é dependente da quantidade e qualidade do litter e de sua taxa de decomposição.

A produção de serapilheira, a concentração e o acúmulo de nutrientes em povoamentos de teca no Mato Grosso foram estudados por Rosa, Scaramuzza, e Silva (2015) que constataram maiores concentrações dos nutrientes depositados na serapilheira em plantas com sete anos, seguidas

pelas de cinco e seis anos. A ordem de contribuição dos nutrientes no litter foi  $Ca > N > K > Mg > P > S$  para todas as idades das árvores.

Avaliando a produção e decomposição do litter em teca na Nigéria, Egunjobi (1974) observou que durante os meses secos as folhas que caíam levavam de seis a oito meses para decompor. Também foi verificado que todo o litter produzido em um ano se decompõe completamente durante o mesmo. Além disso, o autor comparou seus resultados com dados de outras regiões verificando que há mudanças em relação à decomposição do litter e liberação de nutrientes da teca de acordo com as condições edafoclimáticas de cada local.

A decomposição do litter de espécies florestais é influenciada principalmente pelos compostos orgânicos que o constituem, havendo compostos mais lábeis, como exemplo, os polissacarídeos, como também de compostos mais recalcitrantes, tais como lignina, polifenóis totais, taninos, entre outros. No entanto, mesmo sendo considerados recalcitrantes os polifenóis e taninos podem ser lixiviados do litter para o solo dependendo da espécie florestal (Acero, Muirb, & Wolfeb, 2010; Berg, 2014; Min, Freeman, Kang, & Choi, 2015).

Com relação à amostragem de folhas de teca visando à diagnose foliar, no trabalho de Jayamadhavan, Sudhakara, e Wahid (2000) realizado na Índia em plantações com 10 anos de idade, os autores verificaram que as folhas devem ser coletadas entre as 9 e 11 h da manhã, na posição inferior da copa. Além disso, as maiores concentrações de nutrientes foliares foram encontradas durante o mês de junho que na condição do sítio estudado corresponde ao momento de maior quantidade de folhas novas que possuem maior fotossíntese líquida.

Em culturas perenes, como a teca, as informações que se obtêm de estudos com ciclagem de nutrientes são fundamentais para o balanço de carbono e de nutrientes, e úteis para subsidiar a diagnose foliar, a adubação e o seu manejo. Assim, por exemplo, a avaliação dos teores foliares de nutrientes se feita conforme diferentes épocas de amostragem e posições na copa de árvores de teca permite definir a época de amostragem e as folhas mais adequadas para fins de diagnose do estado nutricional. Visando assim, a determinação de folhas recém-maduras, ou seja, fisiologicamente ativas, com

alta taxa metabólica, com maior sensibilidade para discriminar os teores de nutrientes, e menor flutuação nas concentrações de nutrientes no tempo.

Além disso, com a variação dos teores de nutrientes nas folhas em diferentes posições da copa e no tempo, pode ser calculada a magnitude relativa da ciclagem bioquímica (MRCB) de nutrientes, permitindo quantificar a retranslocação de nutrientes dos tecidos velhos para os jovens.

Para tanto Vitousek e Sanford (1986) verificaram que para calcular quanto de nutrientes são retranslocados entre as folhas recém-caídas e as folhas que permanecem na planta não se poderia apenas fazer uma comparação entre as concentrações de nutrientes presentes na serapilheira e nas folhas, porque estes são retranslocados antes da senescência. Assim, os autores assumiram que quando o Ca atinge as folhas ele se torna imóvel, e estimaram a retranslocação relacionando a concentração do nutriente e o Ca na folhagem da serapilheira dividido pela razão do nutriente/Ca nas folhas que permanecem na planta.

A partir deste trabalho, outros autores adaptaram a fórmula para a obtenção da taxa de retranslocação de nutrientes (%), o que equivale a MRCB de nutrientes em espécies florestais (Caldeira, Schumacher, Pereira, Della-Flora, & Dos Santos, 1999; Chuyong, Newbery, & Songwe, 2000; Viera & Schumacher, 2009; Santos, Chaer, Diniz, & Balieiro, 2017).

Na literatura não tem sido encontrados trabalhos com o acompanhamento regular da decomposição, liberação de nutrientes e compostos orgânicos do litter em povoamento de teca ao longo do tempo. Eles são necessários para obtenção de informações sobre a magnitude da ciclagem biogeoquímica, de grande utilidade para o aprimoramento de modelos de recomendação de adubação baseados em balanço nutricional no sistema solo-planta.

Assim, objetivou-se neste trabalho:

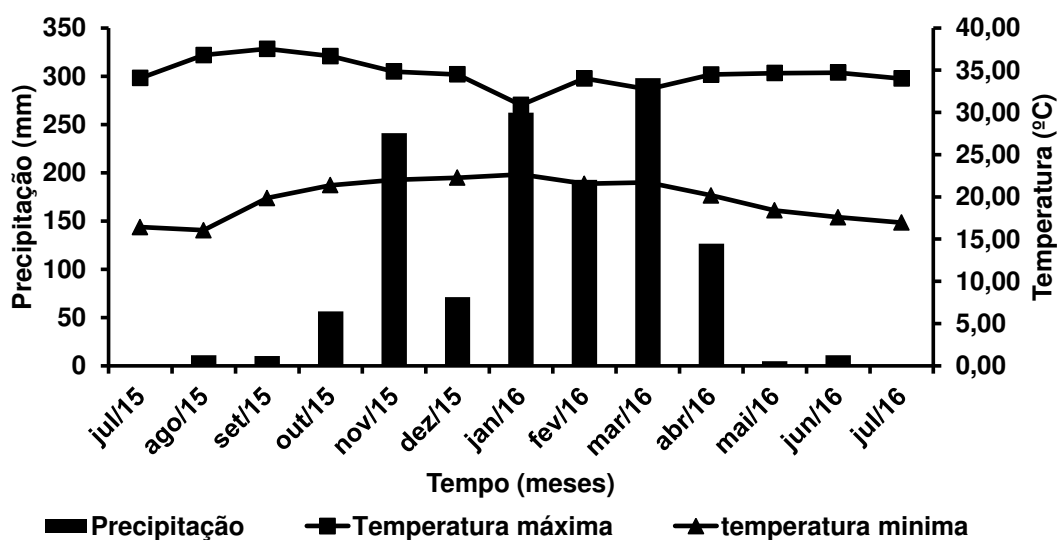
- i) Avaliar a variação temporal dos teores de nutrientes em folhas de teca;
- ii) Determinar a melhor posição na copa e o período para amostragem foliar visando o diagnóstico do estado nutricional dos plantios;
- iii) Estimar a magnitude relativa da ciclagem bioquímica nas folhas e no lenho;
- iv) Avaliar a dinâmica de decomposição do litter e a liberação de nutrientes e compostos orgânicos para o solo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

O trabalho foi realizado em povoamento clonal de teca. Mudanças dos clones A1 e A3 foram distribuídas aleatoriamente em 126,83 ha, em 2010, na densidade de 625 árvores/ha. O plantio está localizado em São José do Rio Claro, Mato Grosso, com latitude 13°26'49" S e longitude 56°43'15" O, altitude média de 350 m, e pertence à empresa Guavirá Industrial e Agroflorestal.

O clima da região é tropical quente e subúmido, com cinco meses secos, de maio a setembro (Figura 1).



**Figura 1.** Dados climáticos do período de 2015-2016 na cidade de Diamantino, MT. (Pesquisa: INMET)

Na região onde o trabalho foi desenvolvido, a vegetação de origem era composta de mata de transição entre floresta amazônica e cerrado. Em 1960, a área do estudo foi antropizada plantando-se pastagem, em seguida a área foi se transformando em capoeira, sendo reflorestada com clones de teca em 2010.

Na implantação do plantio da teca foi realizada adubação e correção na área que consistiu: 6 t ha<sup>-1</sup> de calcário, 270 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 00-25-00, 30 kg ha<sup>-1</sup> FTE BR12, 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 05-30-15, 30 kg de FTE CO, 40 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônia, 5 kg ha<sup>-1</sup> Borogran 10% B e 3 kg ha<sup>-1</sup> ácido bórico; sendo o calcário aplicado a lanço, o NPK 00-25-00 aplicado em 2 sulcos a

aproximadamente 30 cm na lateral da planta e os demais adubos divididos em duas covas laterais a 15 cm da planta, 30 dias após o plantio. Depois de um ano foram aplicados em 2 covas a 30 cm da planta: 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 05-30-15, 60 kg ha<sup>-1</sup> de KCl, 3 kg ha<sup>-1</sup> Borogran 10% B e 3 kg ácido bórico. Após dois anos em relação ao plantio foi aplicado a lanço, em área total, 100 kg ha<sup>-1</sup> de KCl.

A área do estudo apresenta topografia plana e a classe de solo predominante é o Latossolo vermelho-amarelo, de textura arenosa. Antes da implantação do ensaio, foram coletadas amostras de solo das camadas definidas pelas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm para fins de avaliação da fertilidade e textura (Tabela 1), de acordo com os métodos descritos por Defelipo e Ribeiro (1981) e Embrapa (1997).

**Tabela 1.** Características químicas e granulométricas do solo da área experimental antes da instalação do experimento.

Prof	pH	C total <sup>(1)</sup>	N total <sup>(2)</sup>	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB
--cm--	H <sub>2</sub> O	-----dag kg <sup>-1</sup> -----	-----kg dm <sup>-3</sup> -----	---mg dm <sup>-3</sup> ---	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					
00-20	5,58	0,89	0,06	1,00	6,75	0,58	0,38	0,18	3,25	0,95
20-40	5,05	0,57	0,04	0,50	6,25	0,13	0,13	0,45	3,05	0,25
40-60	4,85	0,44	0,02	0,30	5,25	0,03	0,08	0,48	2,80	0,10
Prof	t	T	V	m	Prem	Argila	Silte	Areia		
--cm--	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	-----%-----	-----%-----	mg L <sup>-1</sup>	-----%-----					
00-20	1,13	4,20	22,50	17,00	31,05	11,50	7,25	81,25		
20-40	0,70	3,30	8,50	61,75	29,18	15,00	7,50	77,50		
40-60	0,58	2,90	3,50	79,75	27,78	14,25	10,00	75,75		

<sup>(1)</sup> Yeomans e Bremner (1988); <sup>(2)</sup> Bremner e Mulvaney (1982); Tedesco, Gianello, Bissani, Bohnen, e Volkweiss (1995)

Na instalação do experimento as árvores médias (com dap em torno da média) de teca apresentavam altura total (Ht) de 13,72 m e diâmetro a 1,30 m da altura do solo (DAP) de 19,48 cm.

## 2.2. Experimento 1: Ciclagem bioquímica de nutrientes nas folhas e lenho em teca clonal

### 2.2.1. Período de avaliação

O experimento para a avaliação da ciclagem bioquímica nas folhas e para definir a época de amostragem adequada para diagnose foliar foi conduzido no período entre julho de 2015 e julho de 2016. O plantio no início do ensaio estava com 5 anos de idade. Adicionalmente, cabe esclarecer que

previamente em janeiro de 2015 foi realizada amostragem quando as árvores estavam com 4,5 anos de idade, dados esses que foram utilizados neste trabalho para a avaliação da ciclagem bioquímica no lenho.

### 2.2.2. Delineamento experimental e amostragem das folhas

Na área, foram delimitadas aleatoriamente 4 parcelas no delineamento inteiramente casualizado, com 121 árvores cada, para fins de amostragem da copa. Em cada parcela, procedeu-se à medição de dap de todas as árvores, sendo escolhidas aleatoriamente 26 árvores com dap em torno da média. Destas foram amostradas folhas de 15 árvores por parcela.

Após a escolha das árvores, mensalmente durante o período do experimento, a copa foi dividida visualmente em terço inferior, médio e superior. Em cada um desses terços da copa, as coletas das folhas foram realizadas na parte central dos ramos, obtendo-se, em seguida, uma amostra composta das folhas coletadas em cada terço das árvores amostradas.

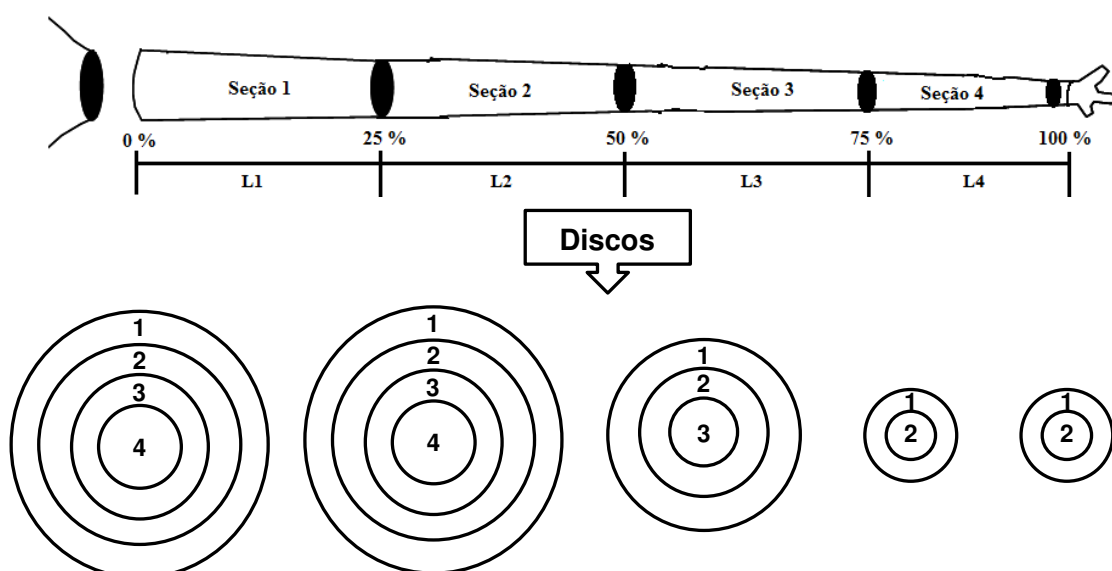
As amostras compostas assim obtidas eram pesadas (massa de matéria fresca), limpas (para a retirada de impurezas) e secas em estufa a 70°C, até alcançar peso constante, sendo, a seguir, trituradas em moinho tipo Willey, mineralizadas e nos extratos realizadas as determinações dos teores de macronutrientes.

### 2.2.3. Amostragem de discos no lenho

Para avaliação da ciclagem de nutrientes no lenho foi escolhida para amostragem uma árvore média de uma das parcelas utilizadas para avaliação da ciclagem bioquímica nas folhas. A árvore foi abatida, foram retiradas as folhas, os galhos e a casca, sendo o lenho seccionado para a coleta de discos (2,5 cm de espessura) a: 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial (Figura 2). Os discos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 70°C por 96 h, em seguida pesados para obtenção da massa de matéria seca.

Para a avaliação dos teores de macronutrientes na madeira em cada disco, foram determinadas posições radiais desde próximo à casca até o centro dos discos. O número de posições para amostragem nos discos variou de acordo com o diâmetro deste. Assim, foram escolhidas 4 posições do disco na secção 0% (base) e 25%, 3 posições a 50% e a 75%, e apenas 2 posições na

secção 100% (topo) da altura comercial. As amostras (serragem) foram retiradas com o auxílio de furadeira com broca de aço inoxidável. Após a obtenção da serragem em cada posição, esta foi seca em estufa a 70°C por 72 h, e foram determinados os teores de macronutrientes.



**Figura 2.** Amostragem dos discos nas posições 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial; e no disco nas posições radiais desde próximo à casca até o centro.

#### 2.2.4. Análise nutricional

As amostras de folhas e da serragem do lenho foram submetidas à digestão pela mistura dos ácidos nítrico e perclórico, na proporção 4:1. O P foi determinado por colorimetria a 725 nm (Braga & Defelipo, 1974); o S por turbidimetria de sulfatos (Alvarez, Dias, Ribeiro, Souza, & Fonseca, 2001); Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica e K por fotometria de emissão de chama. O teor de N foi determinado, em extratos da digestão sulfúrica, pelo método de Kjeldhal.

#### 2.2.5. Análise dos dados e cálculo da magnitude relativa da ciclagem bioquímica (MRCB)

Os teores foliares de macronutrientes foram submetidos à análise de variância no esquema de parcela dividida, tendo a posição de amostragem na copa como o fator da parcela e a época de amostragem o fator da sub-parcela, avaliando-se também a interação desses fatores.

Para determinar a melhor época e posição de amostragem das folhas da copa, foi considerado o período após reenfolhamento subsequente ao descarte das folhas em que houve menores valores de coeficiente de variação entre as épocas de amostragem. Além disso, para cada estrato da copa, foram gerados modelos de regressão, por nutriente, para o quociente entre o teor do nutriente e o teor de cálcio, com o auxílio do programa CurveExpert 1.4.

A Magnitude Relativa da Ciclagem Bioquímica (MRCB) nas folhas foi calculada para o N, P, K, Mg e S, considerando duas abordagens: 1) como as folhas são ao mesmo tempo descartadas (final do período seco) e emitidas (início do período de chuvas), a MRCB foi calculada com base nos teores de nutrientes por ocasião do descarte (agosto de 2015) e ao reenfolhamento (outubro de 2015), sendo considerada a MRCB máxima; 2) na segunda abordagem, o cálculo da MRCB dos nutrientes para cada estrato considerou os teores de nutrientes, exceto o S, no período após o reenfolhamento, em que houve estabilidade e o no final do experimento, ou seja, logo antes do novo descarte das folhas. O Ca foi utilizado como referência. Para isso, foi adaptada a fórmula utilizada por Santos, Chaer, Diniz e Balieiro (2017):

$$MRCB (\%) = \left\{ 1 - \frac{\left[ \frac{(\text{Nut})}{(\text{Ca})}_{\text{velha}} \right]}{\left[ \frac{(\text{Nut})}{(\text{Ca})}_{\text{jovem}} \right]} \right\} \times 100$$

Em que:

MRCB (%) - Magnitude relativa da ciclagem bioquímica;

Nut/Ca - Razão da concentração dos nutrientes sobre a concentração do cálcio em folhas velhas e jovens.

No lenho a magnitude da ciclagem bioquímica de nutrientes foi determinada em cada disco, considerando-se a posição próxima da casca como a parte jovem, e a parte mais velha como a posição no centro. Para tanto, também foi utilizada a fórmula citada anteriormente, fazendo apenas a adaptação para o lenho.

## 2.3. Experimento 2: Ciclagem biogeoquímica de nutrientes em povoamento de teca clonal

### 2.3.1. Delineamento experimental

O experimento foi realizado no período de agosto de 2015 a julho de 2016 na mesma área que o experimento 1. O delineamento experimental adotado foi o sistemático. Em cada parcela foram distribuídos aleatoriamente 12 coletores de litter, com 1,0 m<sup>2</sup> cada, construídos com tela de náilon de malha de 1,0 mm x 1,0 mm, e foram suspensos a 0,80 m do solo (Figura 3a).

No período seco as folhas de teca caíram totalmente (Figura 3b). Esse material foi depositado nos 12 coletores, dos quais foi obtida uma amostra composta em cada parcela, esta amostra foi dividida em porções de aproximadamente 100 g e acondicionada em sacos de decomposição (“litter bag”) de 2 mm de malha (náilon), com dimensões de 20 cm x 20 cm. Foram dispostos 72 litter bags em contato direto com o solo em cada parcela, sendo, mensalmente, coletados 6 litter bags por parcela. As amostras dos litter bags foram limpas para retirar o solo aderido.



**Figura 3.** Plantio de teca clonal e coletor de litter no momento da instalação do experimento (a); e ambos no período de seca, juntamente com os litter bags dispostos na área (b).

### 2.3.2. Análise nutricional e ajuste de modelos

As amostras do litter foram secas a 65°C até atingir peso constante, trituradas, homogeneizadas e submetidas à digestão nitro-perclórica, na proporção 4:1 de ácido nítrico para ácido perclórico, realizando-se, nos extratos, a determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, e S, conforme descrito no experimento 1; para N, utilizou-se, como no experimento 1, o método de Kjeldhal.

A massa de matéria seca decomposta ao longo do tempo e os conteúdos de nutrientes liberados pelo litter foram transformados em valores relativos a partir dos valores originais (no tempo zero) e os valores determinados em cada época de avaliação, obtendo-se os valores remanescentes. Foram ajustados modelos matemáticos para esses valores, juntamente com o conteúdo de carbono orgânico total, possibilitando a obtenção dos tempos de meia vida ( $T_{1/2}$ ). Para ajuste dos modelos foi utilizado o programa CurveExpert 1.4.

### 2.3.3. Análise de compostos orgânicos no litter e da matéria orgânica do solo

Para avaliação dos compostos orgânicos presentes no litter as amostras de litter bags foram coletadas em cinco épocas, correspondendo ao tempo 0 (agosto/2015); 0,25 (novembro/2015); 0,58 (março/2016); 0,75 (maio/2016) e 0,91 (julho/2016) ano.

No resíduo presente nos litter bags foram determinados os teores de: C orgânico total, em que o C foi oxidado por dicromato ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) em meio ácido (Yeomans & Bremner, 1988); polissacarídeos pelo método baseado na liberação de monômeros de sacarídeos por hidrólise com ácido sulfúrico, estimados por colorimetria (Lowe, 1993); polifenóis e taninos totais foram determinados pelo procedimento Folin–Ciocalteu's (Grubešić, Vuković, Kremer, & Vladimir-Knežević, 2005); extrativos obtidos pela extração com acetona utilizando-se o aparelho Soxhlet (ABTCP, 1974); lignina Klason (Gomide & Demuner, 1986), sendo separada em teor de lignina insolúvel que não é solubilizada durante as hidrólises, e o teor de lignina solúvel, que permanece no extrato filtrado obtido no procedimento para a determinação da lignina, sendo determinada por espectroscopia na região do ultravioleta, conforme descrito por Goldschimid (1971); e o teor de holocelulose que foi determinado pela diferença entre os teores de extrativos e a lignina insolúvel. A partir destas

determinações foram feitas as relações C/N, C/P, C/S, LIG/N, LIG/P, LIG/POLF e LIG+POLF/N.

Nas mesmas cinco épocas foram coletadas amostras de solo em baixo dos litter bags nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Nestas amostras foram realizadas as seguintes avaliações: C lábil determinado pelo método do carbono oxidável via permanganato (Culman et al., 2012); C e N da biomassa microbiana determinados a partir do princípio de liberação de C e N pela lise celular de microrganismos no solo por meio da irradiação das amostras, realizando-se a diferença entre amostras irradiadas e não irradiadas (Islam & Weil, 1998); C orgânico total no solo e o C orgânico total presente nas frações de matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MAM), sendo o C determinado pela oxidação com dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) em meio ácido (Yeomans & Bremner, 1988); N total pelo método de Kjeldhal (Bremner & Mulvaney, 1982; Tedesco, Gianello, Bissani, Bohnen, & Volkweiss, 1995); os polissacarídeos no solo foram determinados pelo mesmo método utilizado para o litter, pesando uma amostra de 0,5 g de solo, enquanto no litter foi de 0,1 g; e os fenóis solúveis em água obtidos por colorimetria simples procedimento utilizando o reagente Folin–Ciocalteu's (Lowe, 1993). Em seguida foram calculadas as relações entre carbono orgânico total e o nitrogênio total (C/N), e entre o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM/NBM).

Foram calculadas correlações de Pearson entre a massa de matéria seca e o teor dos compostos orgânicos no litter, as relações C/N, C/P, C/S, LIG/N, LIG/P, LIG/POLF e LIG+POLF/N. Como também entre o conteúdo relativo dos nutrientes e os compostos orgânicos no litter.

#### 2.3.4. Relação entre o retorno dos nutrientes do litter para o solo, acúmulo na planta e teor no solo

Com a finalidade de comparar o teor de P, K, Ca e Mg no solo na profundidade de 0-20 cm com o retorno destes nutrientes do litter para o solo e o acúmulo dos mesmo na parte aérea das árvores de teca foram utilizados os modelos ajustados para árvores médias por Santos (2015) para determinar o acúmulo de P, K, Ca e Mg na parte aérea das plantas. Foi calculado o dap (DAP, cm) em função do tempo (t, meses), utilizando-se a equação:

$$\text{DAP} = -27,097 + 25,827 \text{ Logt}, R^2 = 0,962$$

Em seguida foram calculados os conteúdos de nutrientes na parte aérea (nutriente, g/árvore) em função do dap (DAP, cm), por meio das seguintes equações alométricas:

$$\text{Log P} = -0,9819 + 1,7663 \text{ LogDAP}, R^2 = 0,995$$

$$\text{Log K} = -0,1050 + 2,0434 \text{ LogDAP}, R^2 = 0,966$$

$$\text{Log Ca} = -0,2817 + 2,1243 \text{ LogDAP}, R^2 = 0,989$$

$$\text{Log Mg} = -0,8297 + 2,2859 \text{ LogDAP}, R^2 = 0,993$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

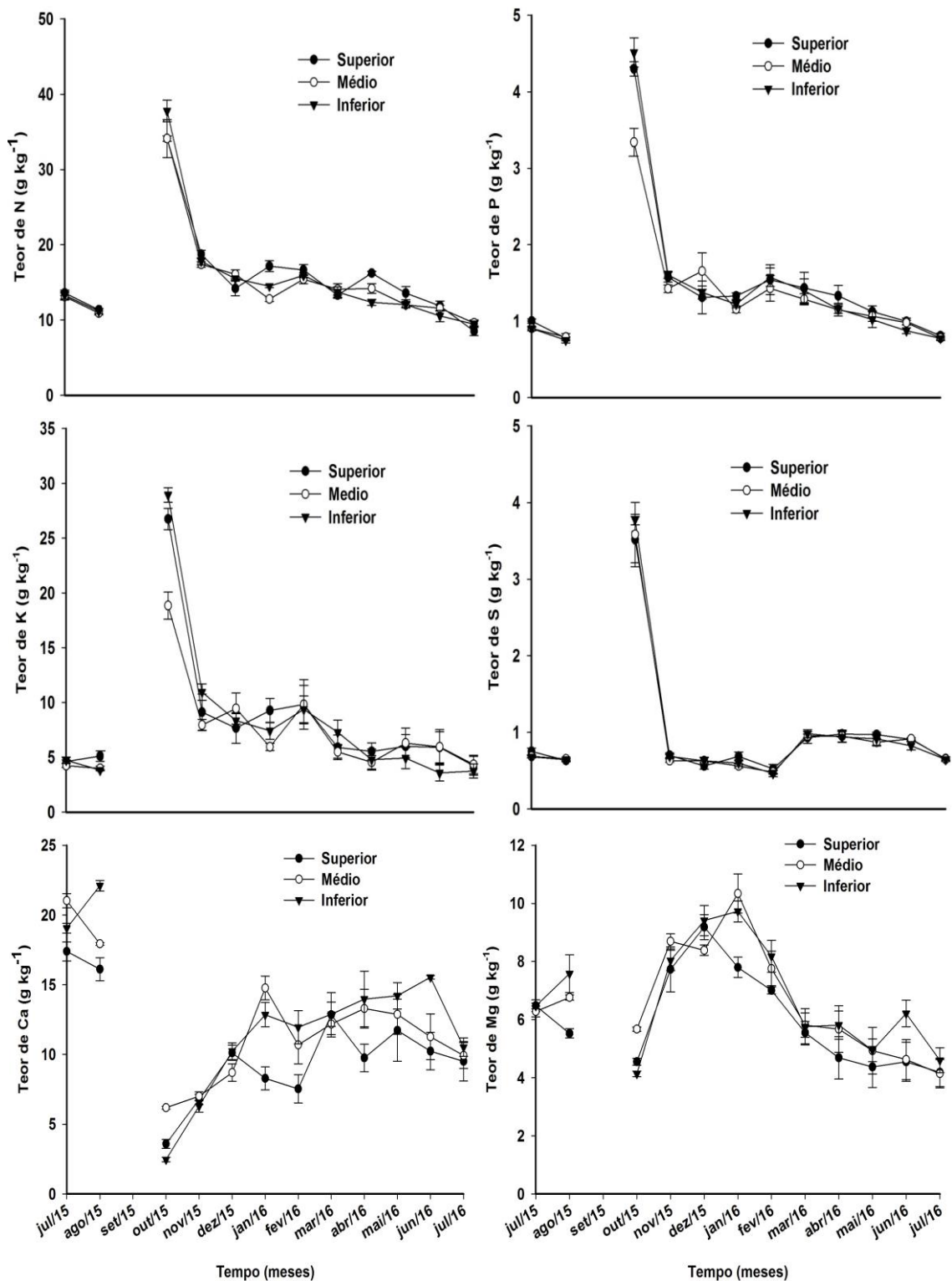
3.1. Experimento 1: Ciclagem bioquímica nas folhas e no lenho em povoamento de teca clonal

3.1.1. Diagnose Foliar em povoamento de teca clonal

Os teores de N, P e K nas folhas apresentaram padrão de variação semelhante entre os estratos superior, médio e inferior durante o período de um ano (Figura 4). O teor de S não apresentou diferença entre as folhas colhidas nas três posições. Resultados semelhantes foram observados por Viera & Schumacher (2009) para acículas de *Pinus taeda* L., o que de acordo com Lima, Ferreira, Weber, e Gazetta (2007) seriam indicativo de que a escolha de uma posição da copa para amostragem para a análise de S é irrelevante.

Foram observados maiores teores de N, P, K e S na amostragem feita no mês de outubro que corresponde ao surgimento das folhas depois do déficit hídrico. Esse resultado pode ser devido a que, provavelmente antes da abscisão foliar, esses nutrientes foram transferidos das folhas para outro(s) componente(s) das árvores onde foram armazenados e utilizados no reenfolhamento no período de chuvas. Este é um mecanismo utilizado pelas espécies lenhosas decíduas adaptadas à seca que reduzem a superfície transpirante e assim diminuem a demanda de água e as chances de ocorrer

um embolismo no xilema e conseqüentemente a dessecação da árvore (Estiarte & Peñuelas, 2015).



**Figura 4.** Teores de macronutrientes nos estratos superior, médio e inferior da copa de teca clonal vs tempo. (as barras verticais indicam o erro padrão da média, n= 4).

Assim, além dos nutrientes armazenados, na fase após o reenfolhamento com o início das chuvas há também umidade que facilita a absorção dos nutrientes do solo. Pande, Meshram, e Banerjee (2002) relataram que as novas folhas de teca recém-expandidas durante o início da estação chuvosa receberiam nutrientes armazenados dos ramos.

Durante o período de senescência foliar as espécies decíduas são eficientes na retirada de nutrientes das folhas. Nesta fase, por exemplo, ocorre a perda do N na Rubisco, enzima que além de importante na fixação de C também é relevante no armazenamento de N. Essa quantidade de nutriente retirada antes da abscisão varia com o tempo de vida da folha, com o teor foliar do nutriente, com a disponibilidade do nutriente e com as condições ambientais. Em seguida depois do reenfolhamento, o N utilizado para o crescimento foliar corresponde de 30% a 48% do N na planta (Cooke & Weih, 2005; Millard, Sommerkorn, & Grelet, 2007).

Em relação ao teor de Ca nos três estratos verifica-se um padrão de variação diferente aos dos demais macronutrientes (Figura 4); enquanto os teores de N, P, K e S são baixos nas folhas ao serem descartadas e aumenta no reenfolhamento, o teor de Ca é maior no descarte e menor no reenfolhamento; e ao longo do tempo, aumentou chegando a uma faixa de estabilidade a partir de janeiro nos estratos médio e inferior da copa. No entanto, vale observar que o teor de Ca para as três posições no final da avaliação foi aproximadamente 41% menor em comparação ao teor antes do descarte das folhas.

O teor de Mg nos três estratos também foi maior nas folhas antes do descarte em relação ao reenfolhamento, porém, as concentrações deste nutriente foram menores em comparação ao Ca. Houve aumento do teor de Mg nos meses de novembro a janeiro, logo em seguida ocorreu redução até o final da avaliação, e como também ocorreu com o Ca no último mês de avaliação o teor de Mg foi menor aproximadamente 34% em relação ao teor antes do descarte das folhas, o que mostra a necessidade da aplicação da calagem no reenfolhamento para manutenção dos teores de Ca e Mg na planta.

Em espécies decíduas Sariyildiz e Anderson (2005) também verificaram que o teor foliar de Ca aumentou durante a senescência das folhas e o de Mg apresentou comportamento parecido, enquanto que as concentrações de N e K diminuíram.

Apesar de as folhas dos estratos não apresentarem grande diferenciação quanto aos teores dos macronutrientes, nos meses de dezembro a fevereiro o coeficiente de variação para os teores N, P, K e Ca foi menor no estrato inferior (Tabela 2).

**Tabela 2.** Coeficientes de variação dos teores dos nutrientes nos estratos superior, médio e inferior da copa de teca clonal vs tempo.

Tempo	N	P	K	Ca	Mg	S
Estrato inferior						
ano	-----%-----					
out/15	7,56	8,44	4,53	12,64	4,89	3,68
nov/15	5,26	5,81	13,54	13,42	8,74	8,17
dez/15	2,85	12,33	15,07	11,73	11,07	15,38
jan/16	2,78	7,69	20,67	13,57	7,48	14,32
fev/16	4,03	15,32	26,15	19,96	13,36	18,35
mar/16	10,07	22,14	30,22	13,35	21,64	10,95
abr/16	6,16	9,67	40,31	28,42	16,62	14,98
mai/16	7,00	20,16	38,90	13,21	15,80	18,22
jun/16	14,66	9,11	41,27	1,72	14,63	13,15
jul/16	9,39	6,95	34,48	12,47	18,74	2,54
Estrato médio						
	-----%-----					
out/15	14,72	10,95	13,07	3,40	2,51	23,43
nov/15	4,33	7,08	13,05	9,25	5,89	7,15
dez/15	7,26	28,68	30,19	14,28	4,26	13,27
jan/16	4,61	7,64	10,85	11,55	13,05	10,40
fev/16	7,70	23,62	46,08	25,37	15,33	9,63
mar/16	10,67	11,17	20,93	12,26	14,25	5,61
abr/16	9,21	14,47	26,59	20,87	28,32	16,46
mai/16	5,34	12,64	43,46	21,96	32,58	11,25
jun/16	6,38	6,02	52,83	29,06	29,66	2,46
jul/16	8,17	5,86	38,83	18,73	23,61	9,43
Estrato superior						
	-----%-----					
out/15	2,17	4,35	7,30	17,42	5,08	17,28
nov/15	5,43	8,43	36,51	10,93	20,05	8,69
dez/15	13,44	32,37	36,41	10,84	9,38	14,66
jan/16	8,67	6,40	23,97	19,96	8,96	17,05
fev/16	8,81	25,30	35,52	27,11	3,39	22,00
mar/16	5,78	28,72	38,10	24,67	14,10	16,54
abr/16	2,66	20,62	27,93	20,24	31,26	8,24
mai/16	12,83	12,91	35,10	37,93	32,34	1,75
jun/16	10,80	8,83	48,11	26,28	29,61	4,49
jul/16	14,42	7,55	40,33	29,95	23,36	6,83

Já para os teores de Mg e de S no mesmo período o coeficiente de variação foi menor nos estratos superior e médio, respectivamente. Siddiqui,

Shah, e Yaqoo (2009) relataram que o menor coeficiente de variação dos teores de nutrientes na copa pode ser utilizado para determinar a melhor posição de amostragem das folhas. Estes autores também trabalharam com concentração de nutrientes no estrato superior, médio e inferior da copa de teca, e verificaram menor coeficiente de variação no estrato inferior para os teores de P e K.

Resultado semelhante foi observado por Jayamadhavan, Sudhakara, e Wahid (2000) em plantios de teca na Índia, estes autores verificaram que no estrato inferior da copa o coeficiente de variação dos teores de N, P e K foram menores que no estrato médio e superior, o que diferencia os plantios de teca de outros plantios florestais.

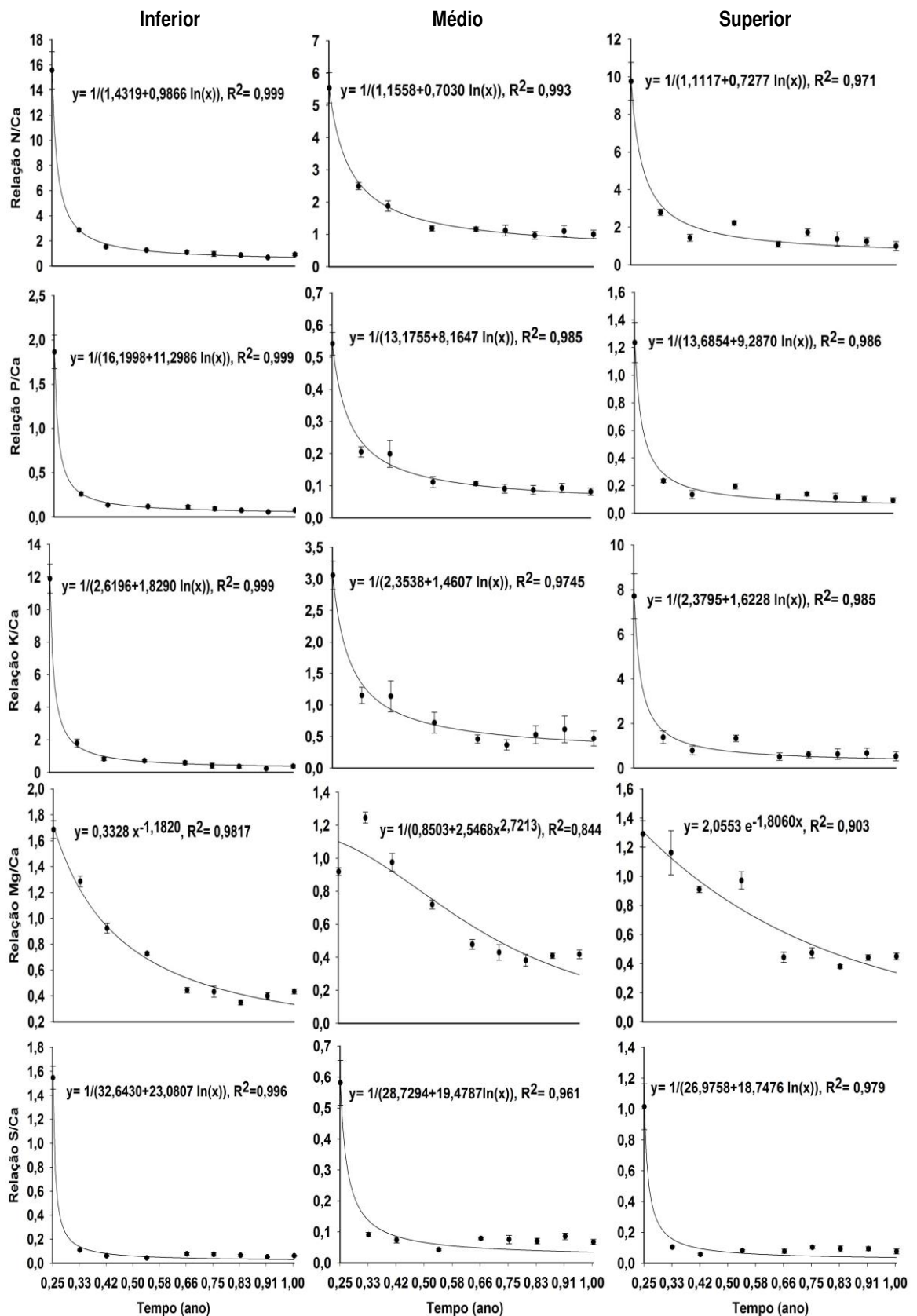
Geralmente a amostragem das folhas de plantas perenes é realizada no estrato superior, devido a este receber maior luminosidade e, portanto ter maior fotossíntese e concentrações de nutrientes, uma vez que dependendo da posição da folha na copa com o crescimento da planta ela se torna mais sombreada e assim os nutrientes são retranslocados de maneira diferente entre folhas sombreadas e não sombreadas (Saur, Nambiar, & Fife, 2000).

No entanto, em plantios de teca o reenfolhamento ocorre ao mesmo tempo em todos os estratos da copa e as folhas passam por expansão até sofrerem a abscisão no período seco. Além disso, o dossel é aberto o que permite as folhas receberem igualmente a luminosidade, não havendo grandes variações na atividade fotossintética.

A constatação da posição inferior da copa como ideal para amostragem foliar em plantios de teca facilita operacionalmente esse processo, tendo em vista a importância do acompanhamento nutricional dessas árvores, pois o ciclo da teca é longo (entre 18 e 25 anos) e as árvores atingem elevadas alturas, dificultando a coleta de folhas do estrato médio e superior.

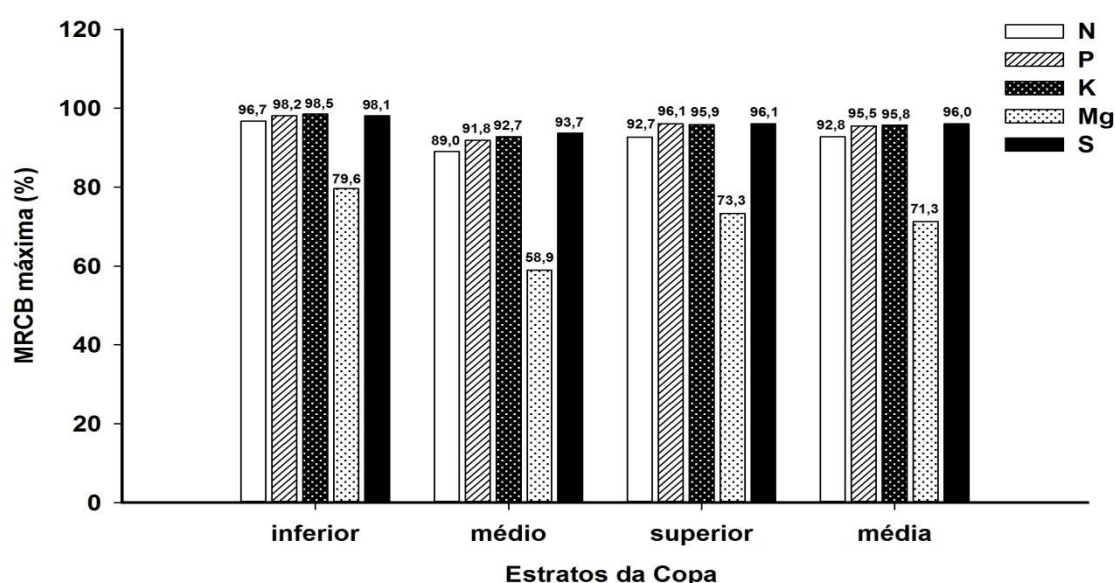
### 3.1.2. Magnitude relativa da ciclagem bioquímica nas folhas de teca

Foram ajustados modelos matemáticos (Figura 5) para os valores das relações duais entre os macronutrientes e o Ca nas folhas em função do tempo em cada estrato da copa. As equações ajustadas apresentaram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,96, com exceção da relação dual Mg/Ca em função do tempo, que apresentou equações ajustadas para os estratos médio e superior com valores de  $R^2$  de 0,844 e 0,903, respectivamente.



**Figura 5.** Relação N/Ca, P/Ca, K/Ca, Mg/Ca e S/Ca nos estratos superior, médio e inferior da copa de teca clonal em função do tempo após o reenfolhamento da copa. (as barras verticais indicam o erro padrão da média, n= 4).

A MRCB máxima calculada para o N, P, K e S considerando as folhas da copa das árvores antes da abscisão e após o reenfolhamento foi em média de 95%, enquanto que a MRCB máxima para o Mg foi de 71% (Figura 6). Com relação aos estratos da copa, a menor MRCB máxima para todos os nutrientes foi observada no estrato médio em relação aos demais, já o estrato inferior foi o que apresentou maior MRCB máxima. Essa elevada ciclagem interna de nutrientes calculada considerando o período antes da queda das folhas e após o reenfolhamento indica que antes da abscisão foliar os nutrientes foram alocados para um órgão de reserva para serem utilizados na renovação da copa, uma vez que o solo da área apresentava baixa fertilidade (Tabela 1).

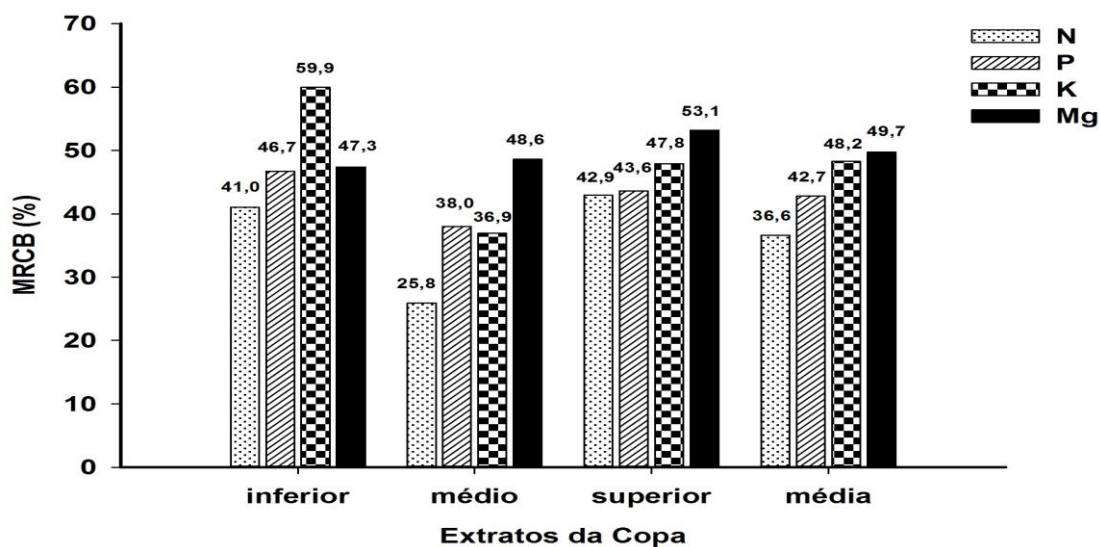


**Figura 6.** Magnitude relativa da ciclagem bioquímica máxima nos estratos superior, médio e inferior da copa de teca clonal.

Em plantios de florestas decíduas como a acácia, as plantas apresentam maior eficiência da taxa de retranslocação para P e K, e para o Mg apenas na fase inicial de crescimento. A maior eficiência da retranslocação é uma estratégia da planta para adaptação em solos de baixa fertilidade (Santos, Chaer, Diniz & Balieiro, 2017).

A MRCB para o N, P, K e Mg nos estratos inferior, médio e superior da copa de teca também foi calculada considerando que as folhas de todos os estratos são emitidas na mesma época (Figura 7), e, portanto, teriam a mesma idade ocorrendo a diferença entre tecidos jovens e velhos durante a expansão foliar. A partir disso, foram obtidas as relações duais entre esses nutrientes e o

Ca considerando-se uma média entre os teores dos nutrientes no período após o reenfolhamento em que as folhas apresentaram menor coeficiente de variação (dezembro a fevereiro) e a média dos teores dos nutrientes nos dois últimos tempos (junho e julho) de avaliação.



**Figura 7.** Magnitude relativa da ciclagem bioquímica nos estratos superior, médio e inferior da copa de teca clonal entre os tempos com menor coeficiente de variação e o tempo final de avaliação.

A MRCB na copa foi menor no estrato médio para os nutrientes N, P e K, e não apresentou grande variação para o Mg entre os três estratos (Figura 7). No estrato inferior a MRCB para o P e K foi maior que nos demais estratos. Já a MRCB para o N foi maior no estrato superior em relação ao estrato inferior. Considerando-se a média dos teores dos nutrientes dos três estratos pode-se observar que a MRCB dos nutrientes avaliados na copa em plantios de teca seguiu a seguinte ordem decrescente: Mg > K > P > N.

As espécies caducifólias podem armazenar o N na madeira e casca das raízes ou no tronco, o que as diferenciam das espécies perenes que armazenam N principalmente nas folhas mais jovens, assim o N é armazenado em órgãos específicos das árvores dependendo do hábito da folha (Millard & Grelet, 2010). Este fato provavelmente contribui para menor ciclagem interna de N em nível de folha, tendo em vista a importância fisiológica desse nutriente provavelmente a planta utiliza esse N armazenado para o desenvolvimento das folhas durante o período de expansão.

Para o S não foi possível calcular a MRCB para cada estrato devido ao teor deste nutriente apresentar maior instabilidade ao longo do tempo (Figura 4 e Tabela 2), e, portanto, os dados apresentarem grande variação, proporcionando resultados pouco confiáveis.

De modo geral, a MRCB quando calculada considerando os teores dos nutrientes no período de estabilidade e final de avaliação do experimento foi menor em relação à MRCB máxima, este resultado foi reflexo da alocação dos nutrientes para a construção da reserva antes do descarte das folhas como mencionado anteriormente, provavelmente uma forma de economia nutricional realizada pela planta para ser utilizada no período de reenfolhamento.

### 3.1.3. Teores de nutrientes e magnitude relativa da ciclagem bioquímica no lenho de teca

No lenho os teores de N, P, K, Ca e Mg em diferentes posições ao longo da árvore média de teca clonal pode ser observado na Tabela 3.

**Tabela 3.** Teores de N, P, K, Ca e Mg nos discos coletados nas secções de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial da árvore, e em posições radiais desde próximo da casca até o cerne dos discos retirados do lenho de árvore média de teca clonal.

Posição do disco no lenho	Posição radial no disco	N	P	K	Ca	Mg
%		-----g kg <sup>-1</sup> -----				
0	1 (+ externo)	2,55	0,16	1,86	0,57	0,37
0	2 (intermediário)	3,17	0,08	1,36	0,74	0,32
0	3 (intermediário)	2,70	0,06	1,56	1,06	0,45
0	4 (centro)	2,55	0,05	1,66	1,10	0,48
25	1 (+ externo)	3,32	0,16	1,86	0,53	0,32
25	2 (intermediário)	2,39	0,11	1,46	0,78	0,34
25	3 (intermediário)	2,86	0,05	1,36	1,08	0,51
25	4 (centro)	2,55	0,05	1,36	1,54	0,64
50	1 (+ externo)	3,17	0,16	1,96	0,67	0,40
50	2 (intermediário)	3,17	0,09	0,96	0,64	0,34
50	3 (centro)	3,63	0,09	1,06	0,98	0,66
75	1 (+ externo)	2,70	0,15	1,66	0,64	0,35
75	2 (centro)	3,48	0,15	1,06	0,84	0,48
100	1 (+ externo)	2,70	0,16	1,56	0,62	0,30
100	2 (centro)	3,01	0,20	1,76	1,03	0,56

Os teores de N, P, K, Ca e Mg no disco localizado na posição mais jovem da árvore em 100% da altura comercial foram maiores no cerne em relação ao alburno, provavelmente pela transferência de nutrientes entre parte velha e jovem acontecer durante o desenvolvimento da árvore.

Nos discos na posição de 0% e 25% da altura comercial da árvore, foi verificado que os teores de P e K diminuem da posição próxima a casca até o cerne. Os discos localizados na posição de 50% e 75% da altura comercial da árvore, o teor de P não apresentou diferença quanto às posições mais próximas do cerne. O teor de K apresentou redução nos discos coletados do lenho até a posição de 75% da altura comercial da árvore em relação as posição próxima à casca e o cerne.

Com relação ao teor de N no lenho foi observado que houve redução dos teores da posição próxima à casca até o cerne apenas no disco localizado a 25% da altura comercial, nos demais discos ao longo da árvore foi observado aumento do teor de N no cerne.

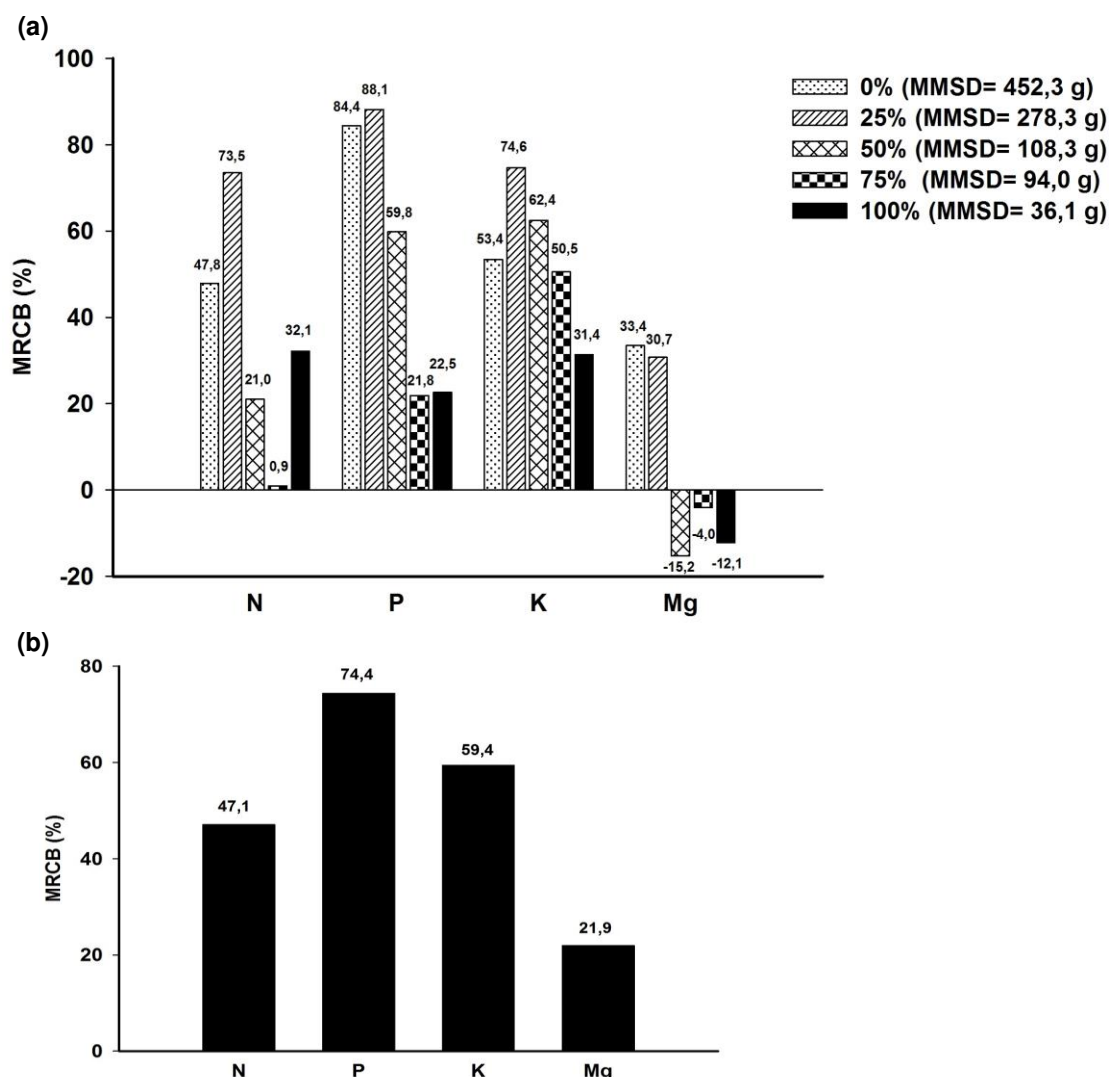
Já os teores de Ca e Mg em todas as posições dos discos retirados do lenho apresentaram aumento da posição próxima a casca até o cerne, para o Ca este resultado era esperado devido a imobilidade desse nutriente. O Mg demonstra o comportamento semelhante ao do Ca no lenho em árvores de teca.

No lenho a MRCB para o N, P, K e Mg é apresentada na Figura 8. Foi verificado que a MRCB do N, P e K foi maior na posição de 25% no lenho (Figura 8a). A posição correspondente ao dap, para as árvores amostradas neste trabalho (com 14 m de altura aproximadamente), portanto, corresponde a uma posição intermediária entre a base e 25% da altura comercial.

Assim, uma estimativa para a MRCB na altura do dap pode ser obtida pela média dos valores de MRCB para as posições 0% (base) e 25%, que corresponde a uma MRCB de 60,6% para N, 86,2% para P, 64% para K, e 32,05% para Mg. Os nutrientes P e K apresentam semelhante MRCB até a posição de 50%, sendo que na posição de 75% e 100% a MRCB para o P fica constante e a MRCB do K reduz com o aumento da altura.

O Mg apresenta maior MRCB na base do lenho e negativa a partir da posição de 50%. Provavelmente, nas posições mais altas do fuste, a parte mais interna do disco refletiu ainda muito da medula, que era ainda um tecido muito

jovem. A MRCB dos nutrientes no lenho (Figura 8b) seguiu a seguinte ordem: P > K > N > Mg, indicando a menor mobilidade de Mg no lenho.



**Figura 8.** Magnitude relativa da ciclagem bioquímica em diferentes posições no lenho (a) e no lenho como um todo considerando a massa de Matéria Seca dos Discos das várias posições (b) em teca clonal.

Os nutrientes N, P e K durante a senescência do alburno são translocados em maior quantidade para os tecidos fisiologicamente ativos, resultante da mobilidade desses em células do xilema e participação na atividade cambial, uma vez que grande parte destes nutrientes se localiza no simplasto da célula do parênquima, facilitando assim a sua mobilidade (Augusto & Bert, 2005; Sette et al., 2013).

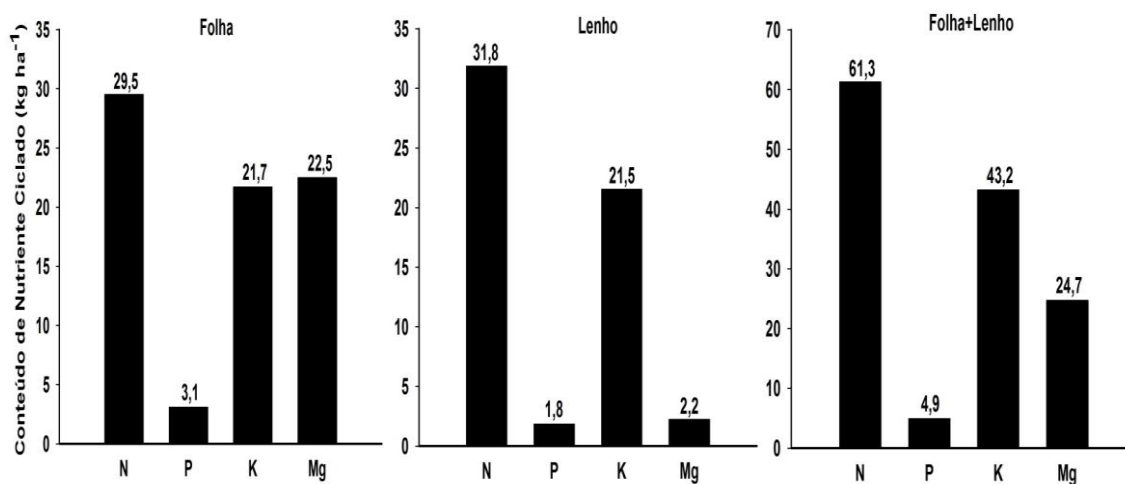
A razão entre a concentração de P no cerne/alburno pode ser menor que para o N, devido ao N estar na forma de nucleotídeos de adenina no alburno,

que por sua vez são altamente transferidos durante a conversão do alborno para cerne. Com relação à baixa MRCB para o Mg, provavelmente se deve a sua adsorção na parede celular em locais carregados negativamente, além da sua incorporação em pectatos, como também na matriz da lignina (Meerts, 2002).

A maior MRCB no lenho para o potássio em relação ao N e Mg revela a importância deste nutriente durante a expansão das células cambiais (Fromm, 2010). Laclau et al. (2001) também observaram maior translocação de K em eucalipto na fase inicial de crescimento, concluindo que este nutriente deve ser fornecido principalmente nesta fase, verificando, além disso, grande retranslocação de P na madeira durante a formação do cerne em solos pobres em fósforo.

#### 3.1.4. Contribuição da MRCB nas folhas e lenho de teca

De modo geral, as contribuições da ciclagem bioquímica na cultura da teca em nível de folha e de lenho são semelhantes para o N, P e K. No entanto, para o Mg a contribuição foi maior para as folhas que no lenho.



**Figura 9.** Contribuição da ciclagem bioquímica nas folhas, no lenho e folhas mais lenho em plantio de teca clonal, considerando-se o período de avaliação de 12 meses para as folhas, e para o lenho foi realizada uma amostragem em determinada época.

Os conteúdos de N, P, K e Mg ciclados pela via bioquímica na folha e no lenho (Figura 9), ou seja, 61,3 kg ha<sup>-1</sup> N, 4,9 kg ha<sup>-1</sup> P, 43,2 kg ha<sup>-1</sup> K e 24,7 kg ha<sup>-1</sup> Mg suprem importante parcela das necessidades da planta, e, assim,

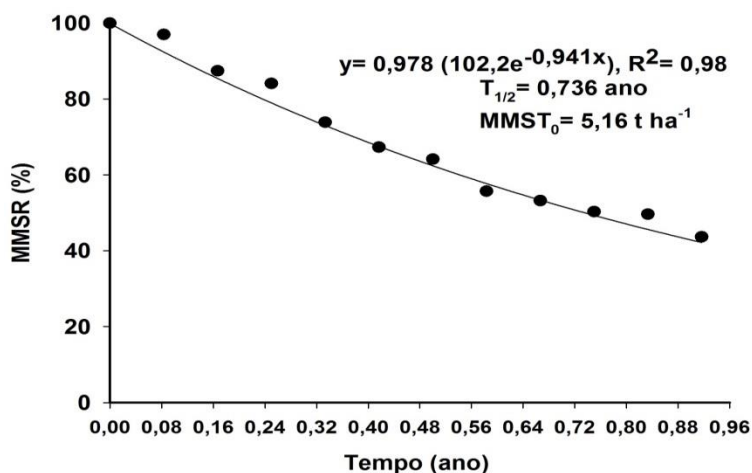
reduzem a necessidade de absorção via solo, como constatado por Grassi, Millard, Gioacchini e Tagliavini (2003) que, em *Prunusavium*, verificaram que quanto maior a reciclagem de N menor a quantidade de N absorvida pelas árvores.

Para os plantios de teca o conhecimento da magnitude da ciclagem interna de nutrientes torna-se importante para o manejo nutricional da cultura, especialmente em condições de solo de baixa fertilidade natural.

### 3.2. Experimento 2: Ciclagem biogeoquímica em povoamento de teca clonal

#### 3.2.1. Decomposição e liberação dos macronutrientes do litter

A massa de matéria seca de litter de teca clonal depositado no interior dos coletores foi  $5,16 \text{ t ha}^{-1}$ , constituída principalmente por folhas que caíram no período seco. Não foi observada a presença significativa de outros materiais como galhos, ramos e frutos. Esse material apresentou decomposição de 50% do resíduo inicial ( $T_{1/2}$ ) em 0,74 ano, a que corresponde a  $2,28 \text{ t ha}^{-1}$  de MMS (Figura 10).



**Figura 10.** Massa de matéria seca remanescente (MMSR, %) do litter em plantio teca clonal em função do tempo.  $MMST_0$ : massa de matéria seca no tempo zero.

Este resultado indica uma decomposição lenta do litter que cai anualmente em povoamento de teca clonal, sendo o tempo para decompor todo o litter possivelmente superior ao de 1,25 ano, observado na Índia para o litter de folhas de teca por Kumar, Sajish, Kumar, e Bhoi (2010). Outras

espécies caducifólias também apresentam maior tempo de decomposição, como constatado por Ramírez et al. (2014) maior tempo de decomposição do litter de carvalho (0,844 ano) em relação as coníferas como pinus (0,304 ano) e a cypress (0,479 ano), e por Liu et al. (2016) para as espécies decíduas *C. pubescens*, *P. longipes* e *Q. aliena* em relação a árvores perenes. Assim, as espécies decíduas apresentam decomposição mais lenta que as espécies perenes, variando o tempo de decomposição entre as espécies e as condições edafoclimáticas.

Os teores de carbono e demais nutrientes no litter variaram de acordo com o tempo de decomposição do resíduo vegetal. Com isso, os teores de C, N, P e S apresentaram aumento e estabilização a partir dos 0,58 ano, enquanto que os teores de K, Ca e Mg tiveram redução durante a avaliação (Tabela 4).

As relações C/N, C/P e C/S diminuíram no final do período de avaliação em relação aos valores iniciais. Esses índices indicam se está ocorrendo mineralização ou imobilização dos nutrientes no resíduo. Essa dinâmica dos nutrientes pode ser controlada por diferentes fatores biológicos e físicos. Os decompositores sequestram carbono e nutrientes dos substratos orgânicos e trocam com o ambiente os nutrientes inorgânicos para manter seu equilíbrio estequiométrico. Além disso, as perdas físicas de compostos orgânicos por meio da lixiviação e outros processos podem alterar o teor de nutrientes da ninhada (Manzoni, Taylor, Richter, Porporato, & Ågren, 2012).

O aumento das relações C/N e C/S ocorreu entre o tempo zero (0) e 0,25 ano devido ao decréscimo no teor de N e de S no litter nesse período, mas, como houve perda de massa (compostos orgânicos ricos em carbono), mesmo sendo C/N, C/P e C/S de valores elevados e que indicariam imobilização, fica a ideia de uma provável adaptação de uma microbiota para decompor litter pobre em N, P e S.

A relação crítica carbono:nutrientes observada com o incremento inicial da mesma indica que os decompositores se adaptam as baixas condições de nutrientes, apresentando uma redução da eficiência de uso de carbono (Manzoni, Taylor, Richter, Porporato, & Ågren, 2012). Para o litter de eucalipto, Ferreira et al. (2016) constataram elevadas taxas de decomposição mesmo com a relação inicial C/N de 120, havendo imobilização do N. Esses autores atribuíram este resultado ao efeito de microrganismos específicos na decomposição do litter.

**Tabela 4.** Teor de macronutrientes e a razão de C/N, C/P, C/S, N/P no litter de teca clonal vs o tempo. Médias  $\pm$  Erro Padrão, n= 4.

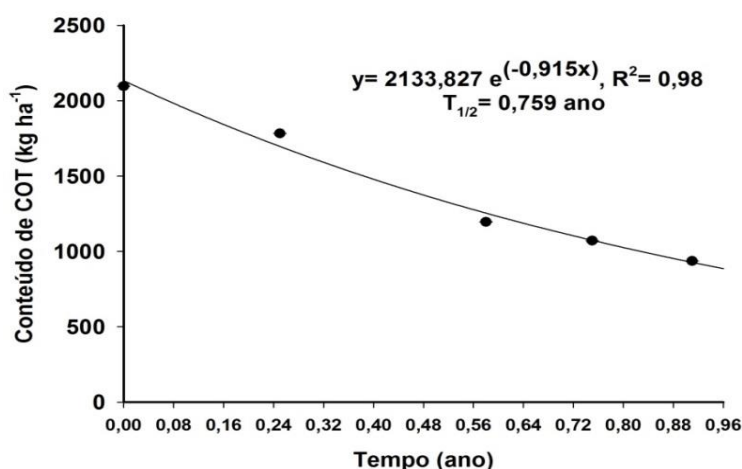
Tempo	C	N	P	K	Ca	Mg	S	C/N	C/P	C/S
-ano-	-----g kg <sup>-1</sup> -----									
0,000	400,5 $\pm$ 1,1	7,3 $\pm$ 0,2	0,5 $\pm$ 0,0	3,4 $\pm$ 0,6	17,7 $\pm$ 1,9	6,8 $\pm$ 0,7	0,6 $\pm$ 0,0	54,9 $\pm$ 1,9	681,5 $\pm$ 29,2	641,9 $\pm$ 31,9
0,083		6,6 $\pm$ 0,4	0,5 $\pm$ 0,0	1,5 $\pm$ 0,2	16,3 $\pm$ 1,0	5,3 $\pm$ 0,1	1,0 $\pm$ 0,0			
0,166		6,9 $\pm$ 0,2	0,5 $\pm$ 0,0	1,4 $\pm$ 0,2	16,7 $\pm$ 1,2	5,4 $\pm$ 0,2	1,0 $\pm$ 0,0			
0,250	400,8 $\pm$ 0,5	6,6 $\pm$ 0,2	0,6 $\pm$ 0,0	1,8 $\pm$ 0,5	11,7 $\pm$ 0,3	8,3 $\pm$ 0,9	0,4 $\pm$ 0,0	61,8 $\pm$ 1,9	678,5 $\pm$ 31,4	964,3 $\pm$ 70,5
0,333		6,9 $\pm$ 0,2	0,5 $\pm$ 0,0	1,2 $\pm$ 0,2	12,8 $\pm$ 0,6	8,5 $\pm$ 0,3	0,3 $\pm$ 0,0			
0,416		7,9 $\pm$ 0,2	0,5 $\pm$ 0,0	0,9 $\pm$ 0,1	13,5 $\pm$ 0,6	8,1 $\pm$ 0,3	0,3 $\pm$ 0,0			
0,500		7,8 $\pm$ 0,4	0,6 $\pm$ 0,0	0,6 $\pm$ 0,1	12,9 $\pm$ 0,3	7,7 $\pm$ 0,2	0,3 $\pm$ 0,0			
0,583	413,0 $\pm$ 0,9	8,5 $\pm$ 0,4	0,6 $\pm$ 0,0	0,6 $\pm$ 0,0	14,3 $\pm$ 1,0	4,1 $\pm$ 0,4	0,8 $\pm$ 0,0	48,5 $\pm$ 1,7	640,6 $\pm$ 41,3	487,2 $\pm$ 17,9
0,666		8,6 $\pm$ 0,4	0,6 $\pm$ 0,0	0,5 $\pm$ 0,0	15,0 $\pm$ 0,8	4,5 $\pm$ 0,4	0,8 $\pm$ 0,0			
0,750	412,0 $\pm$ 0,7	8,5 $\pm$ 0,3	0,6 $\pm$ 0,0	0,5 $\pm$ 0,0	15,0 $\pm$ 0,5	4,4 $\pm$ 0,2	0,7 $\pm$ 0,0	48,3 $\pm$ 2,1	628,3 $\pm$ 42,4	531,1 $\pm$ 23,3
0,833		8,6 $\pm$ 0,9	0,6 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1	14,8 $\pm$ 1,4	4,6 $\pm$ 0,8	0,7 $\pm$ 0,0			
0,916	413,0 $\pm$ 0,7	8,8 $\pm$ 1,2	0,6 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1	14,9 $\pm$ 1,2	4,5 $\pm$ 0,7	0,7 $\pm$ 0,1	47,3 $\pm$ 2,9	649,5 $\pm$ 43,3	519,5 $\pm$ 13,84

A mineralização de N geralmente ocorre quando a relação C/N está entre 20:1 e 30:1 (Edmonds & Mikkelsen, 2010). No presente trabalho durante todo o período de avaliação pode ser verificada relação C/N maior que o valor crítico para mineralização, evidenciando a imobilização do N. O valor da relação C/N a partir dos 0,58 ano foi semelhante ao encontrado em outras espécies decíduas como carvalho (Ramírez et al., 2014), álamo amarelo e ulmeiro americano (Polyakova & Billor, 2007).

A razão C/P no litter de teca também foi limitante para a decomposição do resíduo vegetal e liberação do P, uma vez que pouco variou durante o período de avaliação, apresentando no início do experimento relação C/P de 681,5 e no final de 649,5, resultado maior que 450 encontrado por Costa, Gama-Rodrigues, e Cunha (2005), considerado alto pelos autores para que ocorresse mineralização do nutriente no litter de eucalipto no final do período de decomposição.

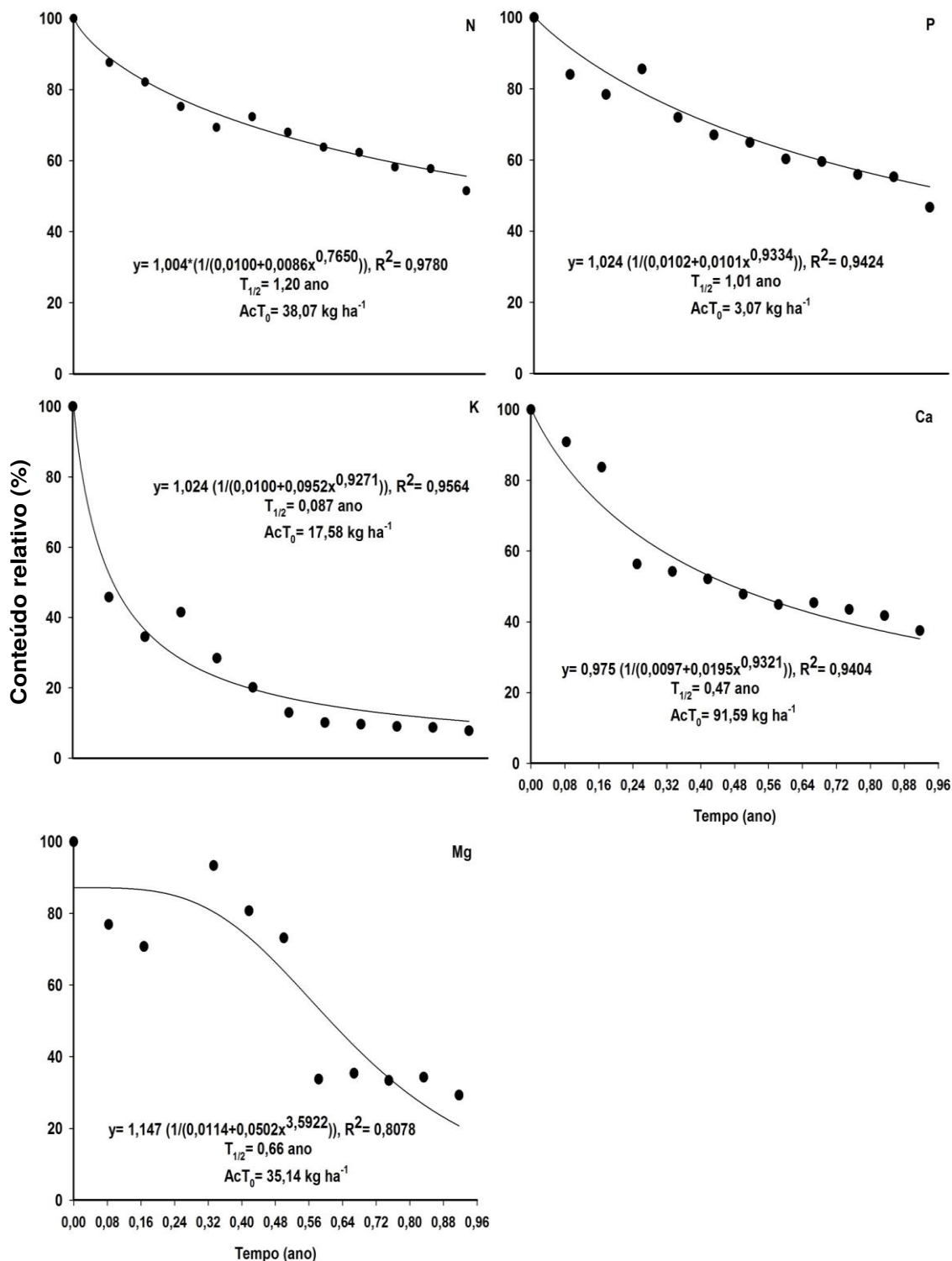
O índice C/S reduziu do tempo 0,249 ano até o 0,583 ano, em seguida aumentou até o final do experimento, mas manteve-se menor que o valor inicial. Indicando assim que houve imobilização do S. Também foi observada a imobilização desse nutriente em litter de faia por Berger et al. (2015).

O conteúdo de COT no litter de teca clonal apresentou redução durante o tempo de avaliação (Figura 11), com  $T_{1/2}$  semelhante ao da MMSR (Figura 7), isto foi consistente com Polyakova e Billor (2007) que observaram em florestas decíduas a perda de massa do litter acompanhar a liberação do carbono principalmente nos estágios iniciais de decomposição.



**Figura 11.** Conteúdo de carbono orgânico total (COT) no litter em plantio teca clonal em função do tempo.

Para o conteúdo relativo de N, P, K, Ca e Mg no litter de teca em função do tempo (Figura 12) foi constatada uma redução ao longo do tempo, apresentando maior  $T_{1/2}$  para o N e P em relação aos demais nutrientes, reforçando a lenta liberação destes nutrientes do litter para o solo.



**Figura 12.** Conteúdo relativo de N, P, K, Ca e Mg no litter de teca clonal vs tempo. AcT0: acúmulo de nutrientes no tempo zero.

Da mesma forma, Liu et al. (2016) verificaram a imobilização transitória de N e a baixa liberação de P no litter de espécies decíduas em relação a espécies perenifólias. No presente trabalho também houve liberação lenta do N e P, o que proporcionou uma relação entre N/P no litter de 12,6 durante o período de avaliação.

As limitações do N e P na decomposição do litter estão relacionadas, sendo que quanto maior a relação N/P ocorre maior concentração de compostos orgânicos solúveis (aminoácidos, açúcares ou amido) devido à deficiência de P. Além disso, a razão N/P influencia nos microrganismos decompositores, uma vez que com a relação baixa as bactérias são predominantes enquanto que a alta relação promove a maior adaptação de fungos (Güsewell & Gessner, 2009).

Já para o S apesar da relação C/S ter indicado imobilização, não foi possível ajustar um modelo para o conteúdo relativo de S em função do tempo. Comumente este nutriente não é considerado em estudos de liberação de nutrientes devido as grandes oscilações (Ferreira et al., 2016).

O conteúdo relativo do K indica que houve liberação mais rápida com  $T_{1/2}$  de 0,087 ano em relação aos demais nutrientes (Figura 12). Isto era esperado uma vez que este nutriente conhecidamente não faz parte estruturalmente de compostos orgânicos por isso pode ser facilmente lixiviado.

Da mesma forma, o Ca e o Mg apresentaram  $T_{1/2}$  de 0,474 ano e 0,662 ano, respectivamente, ou seja, foram liberados mais rápido que o N e o P. Berger et al. (2015) também verificaram mineralização mais rápida do Ca no litter de faia, enquanto que a liberação de N e P ocorreu após dois anos devido a imobilização destes nutrientes. Jacob et al. (2009) observaram em seis espécies decíduas (*Fagus sylvatica*, *Tilia* spp., *Fraxinus excelsior*, *Carpinus betulus*, *Acer pseudoplatanus* and *Acer platanoides*) maior taxa de liberação de K, Ca e Mg, como constatado no presente estudo, estes nutrientes apresentaram menor  $T_{1/2}$ , e portanto, foram liberados mais rapidamente nesta ordem.

### 3.2.2. Compostos orgânicos no litter

Os teores e conteúdos dos compostos orgânicos no litter de teca versus o tempo (Figura 13) influenciam na decomposição do mesmo. A concentração da lignina insolúvel e a total aumentaram ao longo do tempo, e o conteúdo

destes compostos no litter foram maiores no final da avaliação em relação aos demais. Indicando que a lignina insolúvel e a total são os compostos orgânicos dentre os avaliados com maior recalcitrância, e que mais contribuíram para a lenta decomposição.

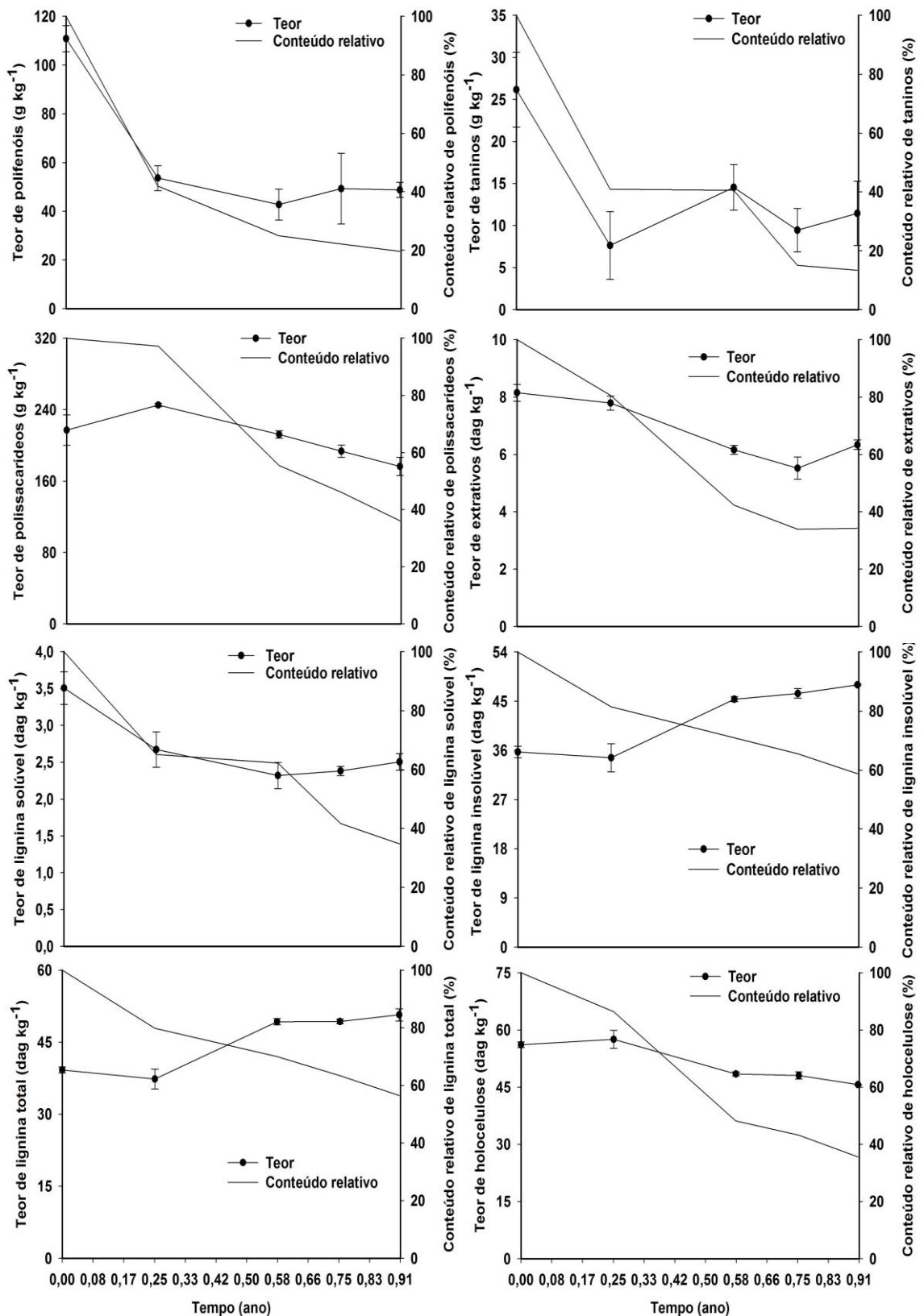
As relações LIG/P e LIG/POLF aumentaram a partir de 0,58 ano (Tabela 5) quando houve maior precipitação e temperatura, ou seja, condições ideais para a decomposição pelos microrganismos principalmente dos compostos menos recalcitrantes. Os teores de lignina total e polifenóis no início da decomposição são altos (Figura 13), sendo a relação LIG/POLF baixa, porém aos 0,25 ano a relação dobrou devido à redução drástica de polifenóis durante este período inicial. Enquanto que a relação LIG/N e a LIG+POLF/N não apresentaram grande variação durante o período de avaliação.

**Tabela 5.** Relações LIG/N, LIG/P, LIG/POLF e LIG+POLF/N no litter da teca clonal vs tempo. Médias  $\pm$  Erro Padrão, n= 4.

Tempo (ano)	LIG/N	LIG/P	LIG/POLF	LIG+POLF/N
0,00	53,13 $\pm$ 0,72	657,94 $\pm$ 5,65	3,56 $\pm$ 0,22	68,17 $\pm$ 1,16
0,25	56,61 $\pm$ 4,30	624,84 $\pm$ 67,35	7,14 $\pm$ 0,85	64,79 $\pm$ 4,57
0,58	58,26 $\pm$ 0,98	765,67 $\pm$ 18,24	10,23 $\pm$ 0,68	64,02 $\pm$ 0,83
0,75	57,95 $\pm$ 1,07	752,78 $\pm$ 48,18	12,32 $\pm$ 2,77	63,66 $\pm$ 1,84
0,91	58,37 $\pm$ 3,41	798,91 $\pm$ 52,14	10,54 $\pm$ 0,69	64,00 $\pm$ 3,85

A relação LIG/P indica que houve maior mineralização do P que concentração da lignina. Neste contexto, o potencial de decomposição maximiza com as condições climáticas favoráveis, sendo P importante componente da qualidade do litter nos trópicos, nestes locais geralmente os solos são degradados e apresentam baixa disponibilidade de P, que tem maior efeito na taxa de decomposição que a disponibilidade do N (Wieder, Cleveland, & Townsend, 2009; Hättenschwiler & Jørgensen, 2010).

A maioria dos compostos orgânicos apresentou estreita correlação positiva com a MMS (Tabela 6), exceto lignina solúvel cuja correlação não foi significativa e a lignina insolúvel e total que apresentaram correlação negativa. Os índices C/N e C/S apresentaram correlação positiva com a MMS, já as relações LIG/P e LIG/POLF correlacionaram-se negativamente com a MMS provavelmente reflexo da correlação negativa entre a LIGT e a MMS.



**Figura 13.** Teor e conteúdo relativo de polifenóis (a), taninos (b), polissacarídeos (c), extrativos (d), lignina solúvel (e) lignina insolúvel (f), lignina total (g) e holocelulose (h) no litter da teca clonal vs tempo. (as barras verticais indicam o erro padrão da média, n=4).

**Tabela 6.** Coeficientes de correlação de Pearson entre massa de matéria seca (MMS, g), polissacarídeos (POLs, g kg<sup>-1</sup>), polifenóis (POLF, g kg<sup>-1</sup>), tanino (TAN, g kg<sup>-1</sup>), extrativos (EX, dag kg<sup>-1</sup>), lignina solúvel (LIGS, dag kg<sup>-1</sup>), lignina insolúvel (LIGI, dag kg<sup>-1</sup>), lignina total (LIGT, dag kg<sup>-1</sup>), holocelulose (HOLO, dag kg<sup>-1</sup>), as relações C/N, C/P, C/S, LIG/N, LIG/P, LIG/POLF e LIG+POLF/N de teca clonal vs o tempo.

	POLS	POLF	TAN	EX	LIGS	LIGI	LIGT	HOLO	C/N	C/P	C/S	LIG/N	LIG/P	LIG/POLF	LIG+POL/N
MMS	0,60*	0,70*	0,44***	0,85*	0,09 <sup>ns</sup>	-0,90*	-0,41***	0,87*	0,72*	0,37 <sup>ns</sup>	0,58*	-0,34 <sup>ns</sup>	-0,55**	-0,75*	0,31 <sup>ns</sup>
POLS	-	0,23 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,50**	0,09 <sup>ns</sup>	-0,61*	-0,23 <sup>ns</sup>	0,61*	0,53**	0,04 <sup>ns</sup>	0,58*	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,47**	-0,45**	0,18 <sup>ns</sup>
POLF	-	-	0,75*	0,62*	0,17 <sup>ns</sup>	-0,51**	-0,18 <sup>ns</sup>	0,47**	0,25 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	-0,86*	0,41***
TAN	-	-	-	0,40***	0,31 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	-0,62*	0,44**
EX	-	-	-	-	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,85*	-0,39***	0,78*	0,68*	0,46**	0,66*	-0,39***	-0,47**	-0,79*	0,18 <sup>ns</sup>
LIGS	-	-	-	-	-	0,04 <sup>ns</sup>	0,74*	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,33 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
LIGI	-	-	-	-	-	-	0,47**	-0,99*	-0,77*	-0,25 <sup>ns</sup>	-0,73*	0,53**	0,77*	0,67*	-0,00 <sup>ns</sup>
LIGT	-	-	-	-	-	-	-	-0,48**	-0,36 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	-0,44**	0,39***	0,30 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
HOLO	-	-	-	-	-	-	-	-	0,76*	0,19 <sup>ns</sup>	0,72*	-0,54**	-0,81*	-0,62*	-0,04 <sup>ns</sup>
C/N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55**	0,77*	0,05 <sup>ns</sup>	-0,40***	-0,47**	0,37 <sup>ns</sup>
C/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,42***	0,22 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>
C/S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,43***	-0,34 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
LIG/N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,70*	0,34 <sup>ns</sup>	0,69*
LIG/P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,42***	0,33 <sup>ns</sup>
LIG/POLF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,36 <sup>ns</sup>

\*significativo a 1%, \*\* significativo a 5%, \*\*\* significativo a 10%, <sup>ns</sup> não significativo.

Para os teores de polifenóis foi constatada uma redução de 51% em 0,25 ano e em seguida os teores não apresentaram grande variação (Figura 13). O conteúdo relativo de polifenóis no litter também reduziu durante o período de avaliação, chegando a 20% aos 0,91 ano. Os teores menores de polifenóis foram constatados nos primeiros meses de decomposição de outras espécies florestais e agrícolas, provavelmente devido à lixiviação dos polifenóis do resíduo para o solo e sua estreita correlação positiva com o K (Costa, Gama-Rodrigues, & Cunha, 2005; Gama-Rodrigues, Gama-Rodrigues, & Brito, 2007). A correlação positiva entre o potássio e os polifenóis também foi observada no presente trabalho com as correlações entre os compostos orgânicos e os nutrientes (Tabela 7).

**Tabela 7.** Coeficientes de correlação de Pearson entre os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S, %), polissacarídeos (POLS, g kg<sup>-1</sup>), polifenóis (POLF, g kg<sup>-1</sup>), tanino (TAN, g kg<sup>-1</sup>), extrativos (EX, dag kg<sup>-1</sup>), lignina solúvel (LIGS, dag kg<sup>-1</sup>), lignina insolúvel (LIGI, dag kg<sup>-1</sup>), lignina total (LIGT, dag kg<sup>-1</sup>) e holocelulose (HOLO, dag kg<sup>-1</sup>) durante o período de um ano de decomposição do litter de teca clonal.

	N	P	K	Ca	Mg	S
POLS	0,48**	0,60*	0,39***	0,35 <sup>ns</sup>	0,63*	0,18 <sup>ns</sup>
POLF	0,80*	0,71*	0,84*	0,82*	0,59*	0,78*
TAN	0,52**	0,47**	0,59*	0,69*	0,33 <sup>ns</sup>	0,75*
EX	0,75*	0,77*	0,77*	0,66*	0,80*	0,41***
LIGS	0,20 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,44**
LIGI	-0,79*	-0,90*	-0,74*	-0,69*	-0,92*	-0,41***
LIGT	-0,33 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	-0,39***	-0,36 <sup>ns</sup>	-0,44**	-0,00 <sup>ns</sup>
HOLO	0,77*	0,89*	0,71*	0,67*	0,91*	0,40 <sup>ns</sup>

\*significativo a 1%, \*\* significativo a 5%, \*\*\* significativo a 10%, <sup>ns</sup> não significativo.

Na solução do solo os polifenóis podem ser encontrados dissolvidos, e protegidos física ou quimicamente, quando estes são dissolvidos tornam-se mais facilmente encontrados pelos microrganismos e conseqüentemente processados e assimilados (Min, Freeman, Kang, & Choi, 2015).

Vale ressaltar que os polifenóis apresentaram estreita correlação positiva com todos os macronutrientes, destacando-se a correlação com o N

(Tabela 7), uma vez que pode formar complexo com o N, dificultando a liberação (Costa, Gama-Rodrigues, & Cunha, 2005); provavelmente com os teores de polifenóis constantes após a maior transferência do litter para o solo houve influência deste no maior  $T_{1/2}$  do N em relação aos demais nutrientes (Figura 12).

Além disso, os polifenóis apresentaram estreita correlação positiva com outros compostos orgânicos como os taninos, extrativos, holocelulose e a relação  $LIG+POLF/N$ , e correlação negativa com a Lignina insolúvel e a relação  $LIG/POLF$  (Tabela 6). Estes resultados foram reflexos da rápida liberação dos polifenóis nos primeiros meses de decomposição. Portanto, as correlações entre os compostos orgânicos foram reflexos da menor recalcitrância destes.

O teor de tanino no litter reduziu-se 71% ao 0,25 ano em relação ao teor inicial, aumentando 47% ao 0,58 ano em relação ao valor obtido em 0,25 ano, em seguida oscilou nos demais tempos, mas não apresentou aumento relevante. O conteúdo de tanino apresentou período de estabilidade que foi de 0,25 ano a 0,58 ano, em seguida reduziu até o final do experimento. Este composto orgânico apresentou estreita correlação positiva apenas com os polifenóis, extrativos, e com a relação  $LIG+POLF/N$ , e correlação negativa com as relações  $LIG/POLF$  (Tabela 6). Na Tabela 7 foi verificada ainda a estreita correlação dos taninos com os macronutrientes, exceto o Mg.

Os taninos normalmente são definidos como polifenóis solúveis em água, podendo ser liberado até 80% do litter de florestas decíduas e coníferas durante o período de um ano de decomposição, comumente este composto orgânico diminui a decomposição e a liberação de N, podendo ser considerado um mecanismo de conservação dos nutrientes (Kraus, Dahlgren, & Zasoski, 2003).

No litter os taninos dificultam a decomposição devido a sua característica defensiva em relação à fauna, assim no final do processo de decomposição a massa de matéria seca remanescente apresenta maior teor de tanino (Coq, Souquet, Meudec, Cheynier, & Hättenschwiler, 2010). No entanto, existem taninos de baixo peso molecular que são perdidos rapidamente do litter para o solo por meio da lixiviação como ocorre também com os polifenóis, mas isto varia entre as espécies florestais (Acero, Muirb, & Wolfeb, 2010).

Em contrapartida a redução drástica dos polifenóis e taninos nos primeiros meses de decomposição, os teores de polissacarídeos no litter de

teca aumentam 12,5% ao 0,25 ano em relação ao valor inicial, reduzindo-se mais lentamente ao longo do tempo (Figura 13), chegando a uma redução de 19% de polissacarídeos aos 0,91 ano.

Com relação ao conteúdo relativo dos polissacarídeos pode ser observado no início da decomposição uma estabilização e a partir de 0,25 ano redução chegando a 36% ao 0,91 ano. Os polissacarídeos apresentaram estreita correlação positiva com os teores de extrativos, holocelulose, com as relações C/N e C/S, e com todos os macronutrientes menos o Ca, enquanto que negativa com o teor de lignina insolúvel e com os índices LIG/P e LIG/POLF (Tabela 6 e 7).

Os polissacarídeos são carboidratos solúveis considerados compostos lábeis e ricos em energia cuja concentração crescente não é normalmente medida em litter vegetal, mesmo assim juntamente com os compostos fenólicos correlacionam-se bem com a perda de massa de matéria seca do litter (Hättenschwiler & Jørgensen, 2010).

Os teores de extrativos, lignina solúveis e holocelulose reduzem-se durante o período de decomposição, porém o teor de lignina insolúvel e total aumentam (Figura 13). O conteúdo relativo dos extrativos e holocelulose apresentam um padrão de redução lento até 0,25 ano, em seguida diminuem consideravelmente chegando a 34% e 35%, respectivamente. Da mesma forma, o conteúdo de lignina solúvel reduziu ao longo do tempo, apresentando um período de estabilidade de 0,25 ano a 0,58 ano.

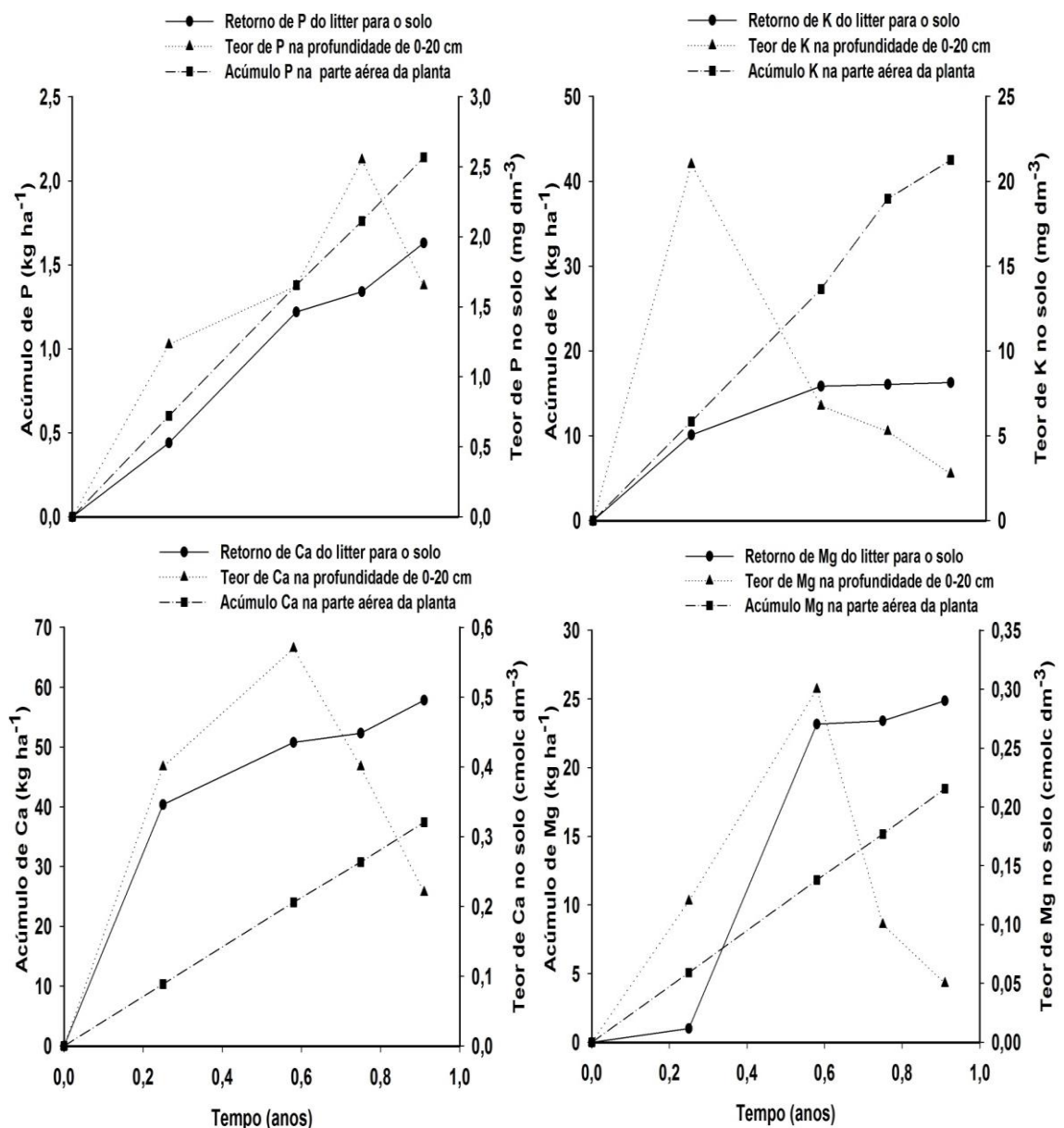
Os extrativos obtidos com reagente orgânico como o etanol ou acetona são um conjunto de compostos como: ácidos resínicos, gorduras, ácidos graxos, terpenos, óleos e taninos. Esses por sua vez promovem a resistência da madeira de teca ao ataque de fungos (Brocco, Paes, Costa, Brazolin, & Arantes, 2017). Os extrativos no litter no presente trabalho foram obtidos pelo mesmo método, indicando que a redução deste ao longo do tempo reflete a maior suscetibilidade do material a decomposição pelos microrganismos.

Foi observada ainda uma estreita correlação negativa entre lignina insolúvel e extrativos, holocelulose, C/N e C/S. Estes compostos também influenciam na liberação dos nutrientes, como pode ser verificado na Tabela 7, pela estreita correlação positiva entre N, P, K, Ca e Mg e os extrativos e a holocelulose, e a estreita correlação negativa entre estes nutrientes e a lignina insolúvel. Berg (2014) relatou que a lignina tem correlação estreita negativa

com a MMS do litter de folhas de espécies florestais, e que quanto maior a concentração de N maior é o retardo da decomposição deste composto orgânico devido à supressão de enzimas lignolíticas e a combinação de compostos de N com grupos reativos.

### 3.2.3. Relação entre acúmulo de P, K, Ca e Mg na planta, liberação do litter e teor dos nutrientes no solo

Com a decomposição e liberação de P, K, Ca e Mg do litter para o solo, foi observada a relação destes com os respectivos teores no solo e o acúmulo na parte aérea (Figura 14).



**Figura 14.** Relação entre o retorno de P, K, Ca e Mg do litter para o solo, teor dos nutrientes no solo e o acúmulo na parte aérea da teca clonal vs tempo.

O acúmulo de P na parte aérea aumentou ao longo do tempo de avaliação, tendo provavelmente contribuição do retorno de P do litter para o solo que também aumentou, esse retorno do nutriente refletiu até 0,75 ano no maior teor do nutriente no solo. No entanto, a partir deste tempo e até o final da avaliação ao 0,91 ano foi constatado que aumentou o P na parte aérea e ainda houve retorno do P do litter para o solo, mas isto não foi o suficiente para manter o teor de P no solo que se reduziu. Da mesma forma Jha (2014) também verificou em povoamento de teca que a relação entre o retorno do P do litter e a absorção do nutriente indica que o retorno anual é superior à absorção.

O K foi liberado rapidamente do litter para o solo nos primeiros meses de decomposição proporcionando elevado teor do nutriente no solo (Figura 14), sendo muito superior ao que foi acumulado na parte aérea da planta, o que provavelmente favoreceu que maior parte deste nutriente liberado fosse lixiviado do solo. No entanto, isso não influenciou no decréscimo do acúmulo deste nutriente na planta, pois o retorno do litter fica praticamente constante e apesar da diminuição do teor no solo, o nutriente foi suficiente para ser acumulado na parte aérea.

Para os teores de Ca e Mg até 0,58 ano houve aumento no solo quanto maior foi o retorno por meio da liberação destes nutrientes do litter, sendo superior ao valor acumulado na parte aérea. Porém logo após este período mesmo com o retorno desses nutrientes continuando alto, houve uma redução destes no solo, chegando a ser menor que o conteúdo na parte aérea.

Assim, os nutrientes P, K, Ca e Mg ao serem liberados do litter para o solo foram acumulados na planta, no entanto, apresentaram redução dos teores no solo ao 0,91 ano, tempo esse que antecede o início da perda das folhas, indicando que possivelmente além da absorção dos nutrientes para a manutenção da parte aérea existe um mecanismo da planta de alocar os nutrientes para algum órgão de reserva.

#### 3.2.4. Características químicas do solo

A decomposição e liberação dos nutrientes influenciaram nas características químicas do solo (Tabela 8). Foi verificado maior efeito da decomposição do litter principalmente na profundidade de 0-20 cm, em que aos 0,58 ano foi observado maior pH, teor de Ca e Mg, soma de bases (SB),

saturação por base (V), CTC efetiva, CTC total e não foi verificada a presença de alumínio e saturação por alumínio, além da menor concentração de H+Al.

**Tabela 8.** Características químicas do solo sob plantio de teca clonal vs tempo. Médias  $\pm$  Erro Padrão, n= 4. T: tempo e Prof: profundidade.

T	Prof	pH	P	K	Ca	Mg	Al
ano	-cm-	-H <sub>2</sub> O-	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----	
0,00	00-20	5,5 $\pm$ 0,1	1,0 $\pm$ 0,0	6,7 $\pm$ 0,7	0,5 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0
	20-40	5,0 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1	6,2 $\pm$ 0,8	0,1 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0	0,4 $\pm$ 0,0
	40-60	4,8 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,0	5,2 $\pm$ 0,9	0,0 $\pm$ 0,0	0,0 $\pm$ 0,0	0,4 $\pm$ 0,0
0,25	00-20	5,8 $\pm$ 0,3	2,2 $\pm$ 0,9	27,7 $\pm$ 12,0	0,9 $\pm$ 0,2	0,5 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,1
	20-40	5,1 $\pm$ 0,2	0,9 $\pm$ 0,2	10,0 $\pm$ 1,7	0,2 $\pm$ 0,1	0,2 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,1
	40-60	5,0 $\pm$ 0,3	0,7 $\pm$ 0,2	11,7 $\pm$ 3,3	0,3 $\pm$ 0,2	0,2 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,1
0,58	00-20	6,0 $\pm$ 0,0	2,6 $\pm$ 0,9	13,5 $\pm$ 2,7	1,1 $\pm$ 0,1	0,6 $\pm$ 0,0	0,0 $\pm$ 0,0
	20-40	5,2 $\pm$ 0,1	0,7 $\pm$ 0,1	7,0 $\pm$ 0,5	0,2 $\pm$ 0,0	0,2 $\pm$ 0,0	0,3 $\pm$ 0,0
	40-60	4,8 $\pm$ 0,0	0,4 $\pm$ 0,1	5,7 $\pm$ 0,4	0,1 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0	0,5 $\pm$ 0,0
0,75	00-20	5,8 $\pm$ 0,1	3,5 $\pm$ 0,6	12,0 $\pm$ 0,5	0,9 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,0	0,0 $\pm$ 0,0
	20-40	5,3 $\pm$ 0,2	1,1 $\pm$ 0,4	9,0 $\pm$ 0,4	0,3 $\pm$ 0,1	0,2 $\pm$ 0,0	0,3 $\pm$ 0,1
	40-60	5,1 $\pm$ 0,2	0,6 $\pm$ 0,1	7,2 $\pm$ 0,2	0,2 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0	0,3 $\pm$ 0,1
0,91	00-20	5,7 $\pm$ 0,1	2,6 $\pm$ 0,9	9,5 $\pm$ 0,6	0,8 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,0	0,0 $\pm$ 0,0
	20-40	5,2 $\pm$ 0,1	0,9 $\pm$ 0,1	7,7 $\pm$ 0,9	0,3 $\pm$ 0,1	0,2 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,1
	40-60	5,0 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,0	5,2 $\pm$ 0,7	0,1 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0	0,4 $\pm$ 0,0

T	Prof	H+Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	Prem
ano	-cm-	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----			-----%-----		mg L <sup>-1</sup>	
0,00	00-20	3,2 $\pm$ 0,1	0,9 $\pm$ 0,1	1,1 $\pm$ 0,16	4,20 $\pm$ 0,2	22,5 $\pm$ 3,4	17,0 $\pm$ 5,8	31,0 $\pm$ 0,8
	20-40	3,0 $\pm$ 0,3	0,2 $\pm$ 0,0	0,7 $\pm$ 0,0	3,30 $\pm$ 0,3	8,5 $\pm$ 2,2	61,7 $\pm$ 7,5	29,1 $\pm$ 1,1
	40-60	2,8 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,0	0,5 $\pm$ 0,0	2,90 $\pm$ 0,1	3,5 $\pm$ 1,4	79,7 $\pm$ 8,5	27,7 $\pm$ 0,7
0,25	00-20	3,1 $\pm$ 0,4	1,5 $\pm$ 0,4	1,6 $\pm$ 0,3	4,70 $\pm$ 0,5	31,5 $\pm$ 9,0	17,2 $\pm$ 17,2	27,1 $\pm$ 1,6
	20-40	3,5 $\pm$ 0,3	0,5 $\pm$ 0,1	0,9 $\pm$ 0,0	4,08 $\pm$ 0,3	13,0 $\pm$ 4,8	47,0 $\pm$ 17,0	28,3 $\pm$ 0,4
	40-60	3,0 $\pm$ 0,1	0,6 $\pm$ 0,4	1,0 $\pm$ 0,3	3,63 $\pm$ 0,3	15,5 $\pm$ 9,5	56,0 $\pm$ 18,8	28,2 $\pm$ 1,7
0,58	00-20	2,9 $\pm$ 0,3	1,8 $\pm$ 0,1	1,8 $\pm$ 0,1	4,83 $\pm$ 0,4	38,7 $\pm$ 2,4	0,0 $\pm$ 0,0	29,1 $\pm$ 1,8
	20-40	2,9 $\pm$ 0,0	0,5 $\pm$ 0,0	0,8 $\pm$ 0,0	3,40 $\pm$ 0,0	15,0 $\pm$ 1,7	42,0 $\pm$ 7,0	29,8 $\pm$ 0,9
	40-60	2,6 $\pm$ 0,1	0,2 $\pm$ 0,0	0,7 $\pm$ 0,0	2,83 $\pm$ 0,1	8,5 $\pm$ 1,1	67,2 $\pm$ 3,8	28,6 $\pm$ 0,8
0,75	00-20	3,1 $\pm$ 0,4	1,4 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,1	4,60 $\pm$ 0,5	32,7 $\pm$ 3,9	5,0 $\pm$ 3,5	28,2 $\pm$ 1,9
	20-40	3,2 $\pm$ 0,6	0,6 $\pm$ 0,1	0,9 $\pm$ 0,1	3,83 $\pm$ 0,5	17,7 $\pm$ 5,8	36,0 $\pm$ 17,2	29,1 $\pm$ 1,1
	40-60	2,7 $\pm$ 0,4	0,3 $\pm$ 0,1	0,7 $\pm$ 0,0	3,08 $\pm$ 0,3	13,7 $\pm$ 5,0	46,2 $\pm$ 19,5	29,8 $\pm$ 0,8
0,91	00-20	3,3 $\pm$ 0,5	1,2 $\pm$ 0,1	1,3 $\pm$ 0,1	4,53 $\pm$ 0,5	28,2 $\pm$ 2,6	6,0 $\pm$ 2,04	31,0 $\pm$ 1,0
	20-40	3,3 $\pm$ 0,3	0,5 $\pm$ 0,2	0,9 $\pm$ 0,1	3,93 $\pm$ 0,2	15,0 $\pm$ 5,3	41,7 $\pm$ 12,5	28,8 $\pm$ 1,5
	40-60	3,1 $\pm$ 0,2	0,3 $\pm$ 0,1	0,7 $\pm$ 0,0	3,45 $\pm$ 0,2	9,7 $\pm$ 2,4	55,2 $\pm$ 9,0	28,2 $\pm$ 1,0

Vale ressaltar que estes resultados foram possivelmente reflexo do maior teor de Ca e Mg no litter e a rápida liberação em relação aos outros nutrientes (Tabela 4 e Figura 12). Além disso, segundo Cong, Wang, Liu, e Zhang (2016) existe uma associação do pH do solo com a umidade do solo, assim com o

aumento da precipitação podem ocorrer pequenas alterações no pH do solo como observado no presente estudo, podendo ocasionar vários processos biogeoquímicos.

O teor de P no solo na profundidade de 0-20 cm foi reflexo da liberação lenta desse nutriente do litter, apresentando maior teor no solo aos 0,75 ano, da mesma forma o maior teor de K no solo foi em resposta a liberação rápida deste nutriente do litter aos 0,25 ano.

Com o aumento da profundidade do solo foi observada maior independência da decomposição e liberação dos nutrientes do litter. Assim, de modo geral com o aumento da profundidade foi observada a diminuição do pH, P, K, Ca e Mg, conseqüentemente uma redução também na soma de bases e saturação de bases, enquanto que a saturação por alumínio aumentou. O Prem apesar da pequena variação entre as profundidades e no tempo foi verificado que no período de 0,58 ano a 0,75 ano a profundidade de 0-20 cm apresentou pequena redução do teor em relação as demais profundidades, voltando a estabilização no tempo de 0,91 ano.

### 3.2.5. Matéria orgânica do solo

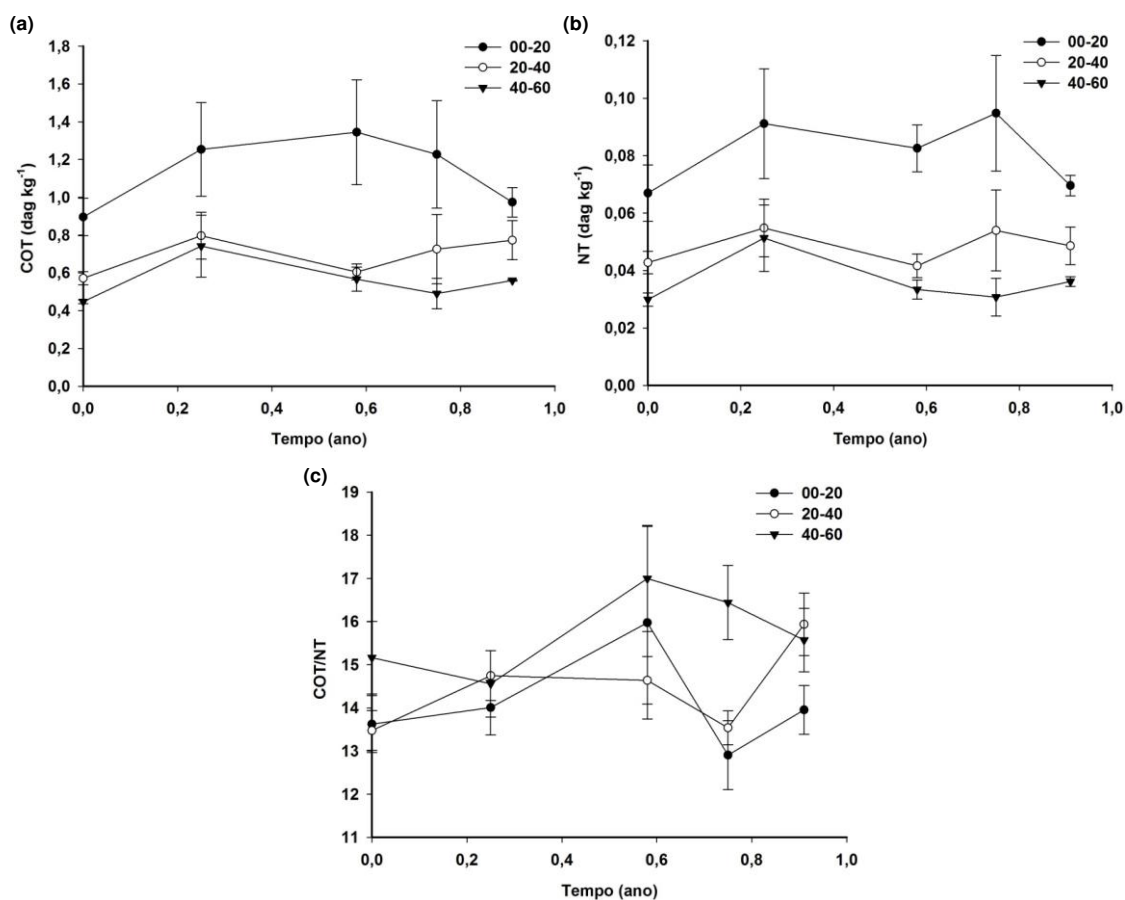
O elevado aporte do litter de teca no período seco e a decomposição deste promoveram modificações nos compostos orgânicos e microrganismos do solo (Figura 10 e 13). Inicialmente, foi observado maior efeito do litter na profundidade de 0-20 cm para todas as variáveis avaliadas, além de que, essas reduzem com o aumento da profundidade.

O teor de C orgânico total (COT) aumentou na camada mais superficial (0-20 cm) do solo alcançando maiores valores ao redor de 0,58 ano e com pequeno decréscimo ao 0,91 ano em relação ao período da deposição dos resíduos de teca (Figura 15a). Para o N total (NT) foi observado aumento de 0,25 ano a 0,75 ano (Figura 15b).

Em profundidade, os teores de C e N são mais baixos, mas apresentam ligeira tendência de acréscimo no último tempo de avaliação ao contrário da camada superficial. A relação COT/NT foi maior na profundidade de 40-60 cm ao longo do tempo em relação à profundidade de 0-20 cm, enquanto que a profundidade de 20-40 cm apresentou grande variação (Figura 15c).

Vale ressaltar a importância da estreita correlação entre o COT e o N total como observado por Cong, Wang, Liu, e Zhang (2016), assim na limitação

de N total como ocorreu no presente estudo, estes autores relatam a influencia dos microrganismos para mineralizar o COT.

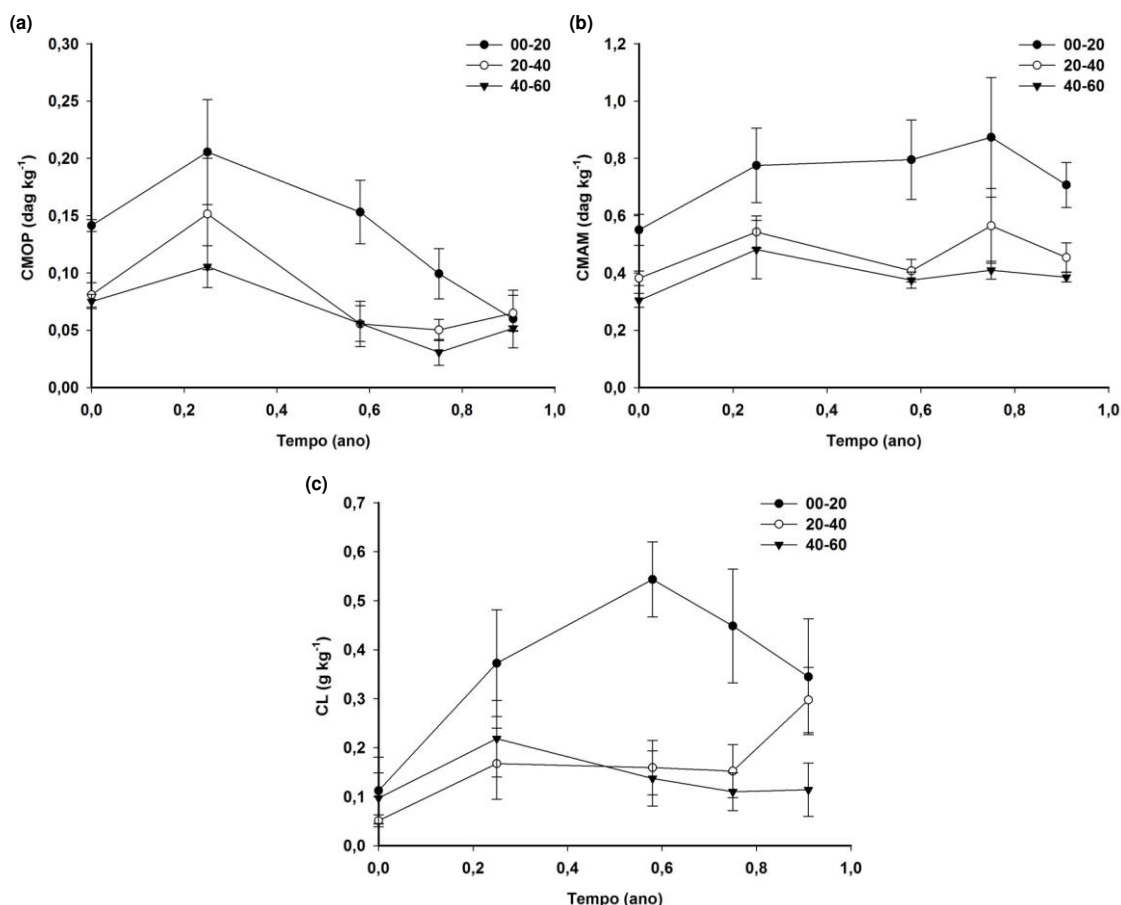


**Figura 15.** Carbono orgânico total – COT (a), nitrogênio total - NT (b) e a relação entre carbono e nitrogênio total (COT/NT) no solo sob o plantio de teca clonal vs o tempo.

O aumento observado inicialmente no C associado à fração particulada (CMOP) reflete o dinamismo dessa fração (Figura 16a), apresentando redução sucessiva dos teores ao longo do tempo na camada superficial, indicando a redução da fonte primária dessa fração associada à deposição do litter da teca e a decomposição desse material que ao final do período de avaliação apresentou MMSR de 43,7%. Por outro lado, observa-se que em profundidade o teor de CMOP foi semelhante à profundidade de 0-20 cm até 0,58 ano, em seguida esse teor tende a aumentar, podendo indicar que nesse período haveria uma maior atividade de raízes.

Ao 0,58 ano há tendência de redução de CMAM (Figura 16b), esse compartimento em parte recebe transferência de C da fração MOP, e também

contribuição do resíduo de teca, assim como contribuição de material microbiano. Observa-se que nas condições do presente estudo, o solo parece apresentar baixo potencial de proteção da MOS (11,5% argila na profundidade de 0-20 cm). Toriyama, Hak, Imaya, Hirai, e Kiyono (2015) e Brandani, Rocha, Godinho, Wenzel, e Gonçalves (2017) observaram que quanto maior for o teor de argila no solo o conteúdo de carbono será mais alto, tendo a argila importante papel na estabilização do C.

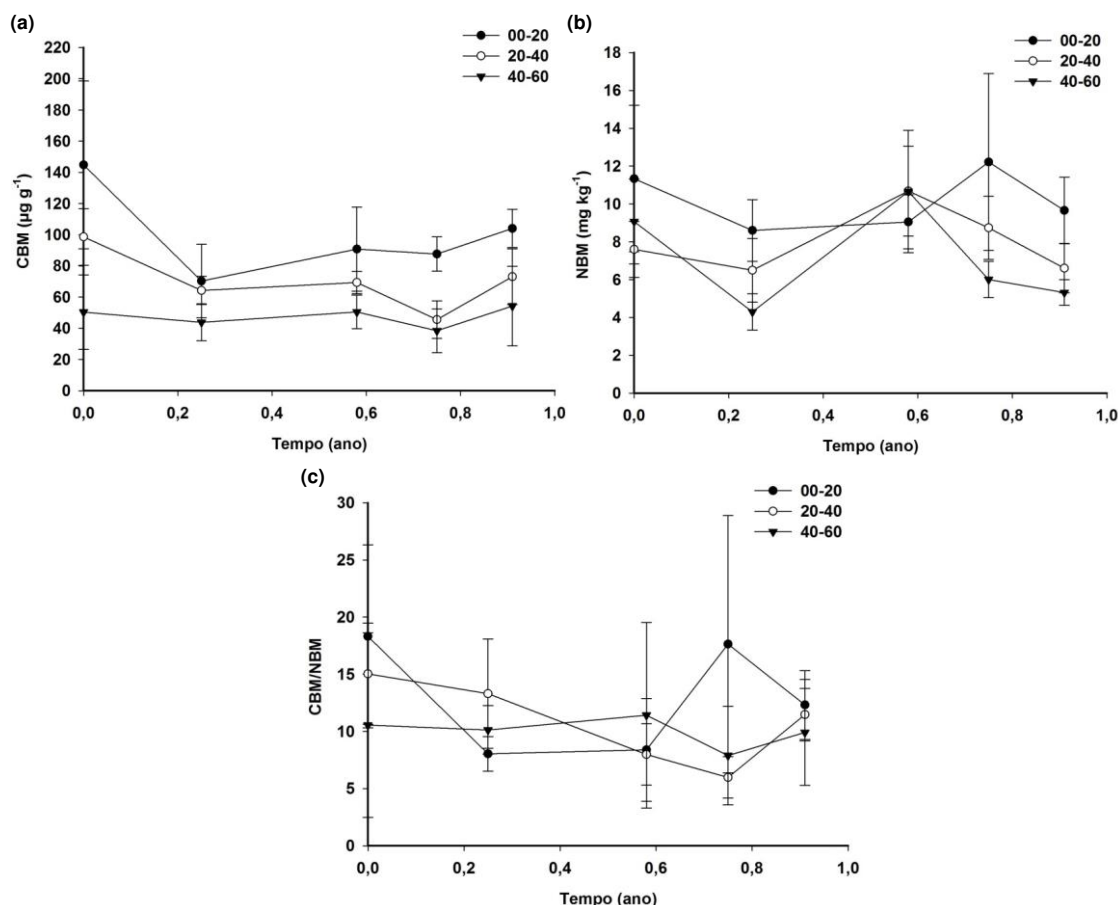


**Figura 16.** Carbono da matéria orgânica particulada - CMOP (a), carbono da matéria orgânica associada aos minerais - CMAM (b) e carbono lábil - CL (c) no solo sob o plantio de teca clonal vs o tempo.

O C lábil na profundidade de 0-20 cm tem comportamento semelhante ao do COT, apresentando maior teor ao 0,58 ano (Figura 16c). Com o aumento da profundidade até 0,25 ano foi verificado maior CL na profundidade de 40-60 cm em relação à de 20-40 cm, logo em seguida ocorre um aumento do teor desta última. Esta instabilidade do CL em profundidade possivelmente está relacionada ao C aportado pelas raízes em profundidade que provavelmente

contribui para compartimentos mais lábeis, isso vale também para o CMAM. Esse input de C via raízes podem ser por meio de sua senescência e ciclagem, e via exsudação radicular (Rasse, Rumpel, & Dignac, 2005).

O carbono da biomassa microbiana (CBM) nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm foi maior no período inicial e final da decomposição (Figura 17a), sendo no período de 0,25 ano a 0,75 ano menor, coincidindo com o período em que se tem maior pH (Tabela 8).



**Figura 17.** Carbono da biomassa microbiana - CBM (a), nitrogênio da biomassa microbiana - NBM (b) e relação entre carbono e nitrogênio da biomassa - CBM/NBM (c) no solo sob o plantio de teca clonal vs o tempo.

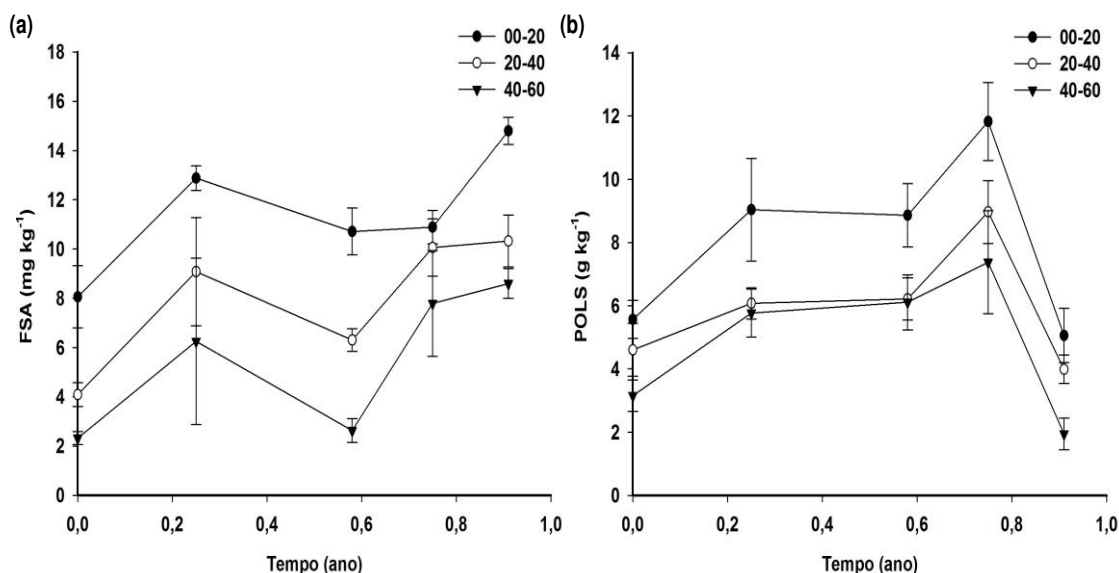
Provavelmente existem microrganismos específicos que fazem a decomposição do litter de teca, uma vez que as bactérias predominam em pH básico do solo e os fungos em pH ácido (Bååth & Anderson, 2003), sendo a maior influencia do pH na composição e diversidade das bactérias em

comparação com os fungos, devido a estreita faixa de pH para o crescimento das bactérias (Rousk et al., 2010).

Além disso, a eficiência de utilização do carbono pelos fungos é influenciada pela disponibilidade de C, uma vez que durante a fase inicial de decomposição do litter, comumente prevalecem os fungos que degradam moléculas recalcitrantes transformando-as em carbono mais lábil, fornecendo-o este para as bactérias, que por sua vez são dependentes da disponibilidade dos recursos minerais como o N e P (Keiblinger et al., 2010).

O nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) na profundidade de 0-20 cm também apresentou redução ao 0,25 ano e manteve até 0,58 ano, aumentando em 0,75 ano (Figura 17b). Nas demais profundidades avaliadas o NBM aumentou em 0,58 ano e logo em seguida reduziu. Essas oscilações refletiram também na variação da relação CBM/NBM, reforçando a provável influência das raízes na matéria orgânica do solo (Figura 17c).

O teor de fenóis solúveis em água (FSA) refletiu a decomposição e liberação dos polifenóis e taninos do litter, aumentando ao 0,25 ano e mantendo constante até o 0,75 ano (Figura 18a). As profundidades de 20-40 e 40-60 cm apresentam comportamento semelhante à camada superficial.



**Figura 18.** Fenóis solúveis em água - FSA (a) e polissacarídeos - POLS (b) no solo sob o plantio de teca clonal vs o tempo.

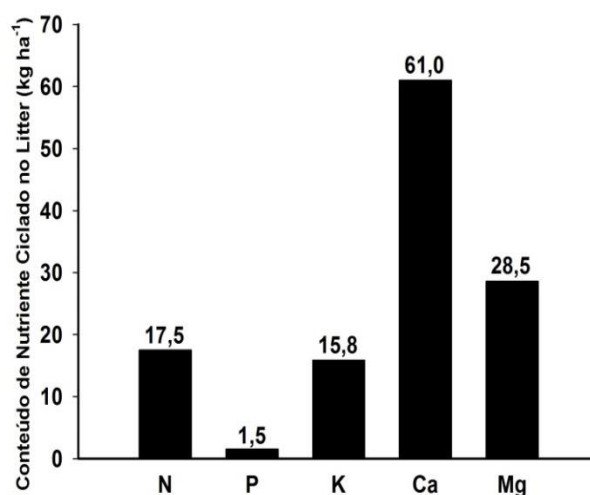
O teor de polissacarídeos no solo (POLS) também refletiu a quantidade liberada do litter, uma vez que estes aumentaram aos 0,25 ano e mantiveram

constante até 0,58 ano (Figura 18b), coincidindo com o período que há maior liberação dos polissacarídeos, e reduzem no final da avaliação quando a baixo conteúdo relativo no litter (Figura 13).

A MOS também foi influenciada pelos efeitos das condições climáticas na decomposição do litter, pois ao 0,25 ano ocorreu o início das chuvas intensas que foram até 0,66 ano, sendo ao 0,58 ano a maior precipitação (Figura 1). Este fato juntamente com a temperatura alta durante todo o período de avaliação favoreceu a decomposição e a alteração na matéria orgânica do solo no período de 0,25 ano a 0,75 ano.

### 3.3. Contribuição da ciclagem bioquímica e biogeoquímica

O conteúdo de nutrientes liberados do litter para o solo indica a contribuição da ciclagem biogeoquímica para a fertilidade do solo, durante o período de avaliação (Figura 19). Vale ressaltar que o Ca foi o nutriente que apresentou maior conteúdo liberado do litter em relação aos demais, em grande parte esse resultado se deve ao seu maior conteúdo inicial no litter, como também sua rápida liberação para o solo (Figura 12). De modo geral, o conteúdo de nutrientes ciclados no litter, seguiu a ordem: Ca > Mg > N > K > P.



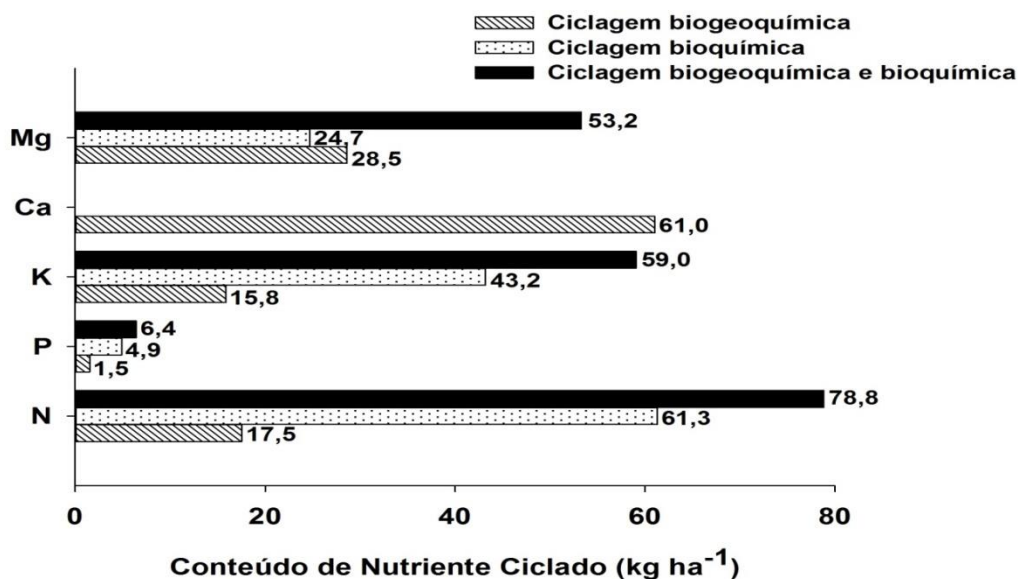
**Figura 19.** Contribuição da ciclagem biogeoquímica em plantio de teca clonal durante o período de 12 meses.

O menor conteúdo liberado de N e P está relacionado à retenção destes nutrientes por microrganismos no litter de espécie caducifólia (Kumar, Sajish, Kumar, & Bhoi, 2010; Berg et al., 2015). Com relação ao menor conteúdo

liberado de K do litter, foi reflexo do menor conteúdo inicial deste nutriente em relação ao Ca e Mg, no entanto, este nutriente foi liberado mais rápido (Figura 12).

Além disso, existem evidências que os teores de K e Ca influenciam na liberação de C, N, P e Mg, indicando a importância dos nutrientes K e Ca no processo de decomposição e liberação de nutrientes de espécies florestais (Gama-Rodrigues, Gama-Rodrigues, & Brito, 2007)

Ao comparar a contribuição da ciclagem bioquímica e biogeoquímica dos nutrientes para os plantios de teca clonal (Figura 20), foi verificado que os nutrientes móveis na planta como o N, P e K apresentam maior ciclagem bioquímica em relação à biogeoquímica. Para o Mg que apresenta a mobilidade moderada foi observado o inverso, sendo a maior contribuição da ciclagem biogeoquímica. Com relação ao Ca que é imóvel na planta foi constatada apenas a contribuição da ciclagem biogeoquímica.



**Figura 20.** Contribuição da ciclagem bioquímica e biogeoquímica em plantio de teca clonal durante o período de 12 meses, exceto para a ciclagem bioquímica no lenho que foi realizada uma amostragem em determinada época.

As ciclagens de nutrientes em plantios florestais tem papel importante no suprimento de nutrientes e reduzem a necessidade de aplicação de fertilizantes, assim durante o período de avaliação a contribuição nutricional da ciclagem interna (folha mais lenho) e biogeoquímica (litter) em plantios de teca clonal foi de 78,8 kg ha<sup>-1</sup> N, 6,4 kg ha<sup>-1</sup> P, 61,0 kg ha<sup>-1</sup> Ca e 53,2 kg ha<sup>-1</sup> Mg.

#### 4. CONCLUSÕES

Para a diagnose foliar em povoamento de teca clonal nas condições edafoclimáticas do estado de Mato Grosso é indicada a coleta das folhas na posição inferior da copa e na região central dos ramos, durante o período de dezembro a fevereiro.

Os nutrientes N, P, K e S são retranslocados no período de senescência das folhas de teca clonal para algum órgão de reserva da planta. O teor de Ca e Mg permanece inalterado em grande parte nas folhas senescentes.

A MRCB nas folhas considerando o período antes da abscisão e após o reenfolhamento (MRCB máxima) é em média 95% para o N, P, K e S, e de 71% para o Mg. Após o reenfolhamento para a construção da reserva, a MRCB é em média 44,3% para N, P, K e Mg, e de modo geral seguiu a ordem:  $Mg > K > P > N$ . No lenho a MRCB dos nutrientes seguiu a ordem:  $P > K > N > Mg$ , sendo maior na posição correspondente a 25% da altura total do fuste.

A ciclagem bioquímica de nutrientes nas folhas e no lenho pode contribuir para reduzir a quantidade da adubação, correspondendo a 61,3 kg ha<sup>-1</sup> N, 4,9 kg ha<sup>-1</sup> P, 43,2 kg ha<sup>-1</sup> K e 24,7 kg ha<sup>-1</sup> Mg.

O litter em plantios de teca no período seco é constituído principalmente por folhas, com decomposição lenta ( $T_{1/2}$  de 0,736 ano) em razão da alta concentração da lignina insolúvel, que é um composto orgânico recalcitrante.

No litter, a velocidade de liberação dos nutrientes, seguiu a ordem decrescente:  $K > Ca > Mg > P > N$ . Com a contribuição da ciclagem biogeoquímica de 17,5 kg ha<sup>-1</sup> N, 1,5 kg ha<sup>-1</sup> P, 15,8 kg ha<sup>-1</sup> K, 61,0 kg ha<sup>-1</sup> Ca e 28,5 kg ha<sup>-1</sup> Mg.

A transferência dos nutrientes e compostos orgânicos do litter para o solo é mais perceptível na profundidade de 0-20 cm, sendo mais pronunciada entre 0,25 ano a 0,75 ano de decomposição. A fertilidade do solo é melhorada havendo aumento de pH, teor de Ca e Mg, soma de bases (SB), saturação por base (V), CTC efetiva, CTC total e ausência de alumínio; há ainda aumento da matéria orgânica do solo expressa pelo maior teor de CL, COT, NT, índice C/N, POLS, CMAM, CMOP e FSA.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abtcp. (1974). Normas técnicas da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. São Paulo, SP: ABTCP.

Acero, A., Muirb, J. P., & Wolfeb, R. M. (2010). Nutritional composition and condensed tannin concentration changes as browse leaves become litter. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 2582–2585. Doi: 10.1002/jsfa.4124

Alvarez, V. V. H., Dias, L. E., Ribeiro, F. S., Souza, R. B., & Fonseca, C. A. (2001). Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Viçosa, MG: UFV.

Ângelo, H., Silva, V. S. M., Souza, A. N., & Gatto, A. C. (2009). Aspectos financeiros da produção de teca no estado de Mato Grosso. *Floresta*, 39, 23-32. Doi: 10.5380/rf.v39i1.13722

Arefloresta. Associação de Reflorestadores de Mato Grosso. Acessado em: 3 de fevereiro de 2015. Acesso: <http://www.arefloresta.org.br>

Augusto, L., & Bert, D. (2005). Estimating stemwood nutrient concentration with an increment borer: a potential source of error. *Forestry*, 78 (4), 451-455. Doi: 10.1093/forestry/cpi041

Bååth, E., & Anderson, T. H. Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques. (2003). *Soil Biology & Biochemistry*, 35 (7), 955–963. Doi: 10.1016/S0038-0717(03)00154-8

Barroso, D. G., Figueiredo, F. A. M. M. A., Pereira, R. C., Mendonça, A. V. R., & Silva, L. C. (2005). Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. *Árvore*, 29, 671-679.

Behling, M. (2009). Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra – MT. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Berg, B. (2014). Decomposition patterns for foliar litter e a theory for influencing Factors. *Soil Biology & Biochemistry*, 78, 222-232. Doi: 10.1016/j.soilbio.2014.08.005

Berger, T. W., Duboc, O., Djukic, I., Tatzber, M., Gerzabek, M. H., & Zehetner, F. (2015). Decomposition of beech (*Fagus sylvatica*) and pine (*Pinus nigra*) litter along an Alpine elevation gradient: decay and nutrient release. *Geoderma*, 251–252, 92–104. Doi: 10.1016/j.geoderma.2015.03.024

Braga, J. M., & Defelipo, B. V. (1974). Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e planta. *Ceres*, 21, 73-85.

Brandani, C. B, Rocha, J. H. T., Godinho, T. O., Wenzel, A. V. A., & Gonçalves, J. L. M. (2017). Soil C and Al availability in tropical single and mixed-species of *Eucalyptus* sp. and *Acacia mangium* plantations. *Geoderma Regional*, 10, 85–92. Doi: 10.1016/j.geodrs.2017.05.001

Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total. In A. L. Page (Eds.), *Methods of soil analysis* (pp. 595-624). Madison, WIS: American Society of Agronomy.

Brocco, V. F., Paes, J. B., Costa, L. G., Brazolin, S., & Arantes, M. D. C. (2017) Potential of teak heartwood extracts as a natural wood preservative. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2093-2099. Doi: 10.1016/j.jclepro.2016.11.074

Caldeira, M. V. W., Schumacher, M. V., Pereira, J. C., Della-Flora, J. B., & Dos Santos, E. M. (1999) Concentração e redistribuição de nutrientes nas folhas e no folheto em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, 9, 19-24.

Chuyong, G. B., Newbery, D. M., & Songwe, N. C. (2000). Litter nutrients and retranslocation in a central African rain forest dominated by ectomycorrhizal trees. *New Phytologist*, 148, 493 – 510. Doi: 10.1046/j.1469-8137.2000.00774.x

Cong, J., Wang, X., Liu, X., & Zhang, Y. (2016). The distribution variation and key influencing factors of soil organic carbon of natural deciduous broadleaf forests along the latitudinal gradient. *Acta Ecologica Sinica*, 36 (5), 333-339. Doi: 10.1016/j.chnaes.2016.06.002

Cooke, J. E. K., & Weih, M. (2005). Nitrogen storage and seasonal nitrogen cycling in *Populus*: bridging molecular physiology and ecophysiology. *New Phytologist*, 167, 19–30.

Coq, S., Souquet, J.-M., Meudec, E., Cheynier, V. R., & Hättenschwiler S. (2010). Interspecific variation in leaf litter tannins drives decomposition in a tropical rain forest of French Guiana. *Ecology*, 91(7), 2080–2091.

Costa, G. S., Gama-Rodrigues, A. C., & Cunha, G. M. (2005). Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. *Árvore*, 29 (4), 563-570. Doi: 10.1590/S0100-67622005000400008

Culman, S. W., Snapp, S. S., Freeman, M. A., Schipanski, M. E., Lal, R., Beniston, J., Drinkwater, L. E., Franzluebbers, A. J., Glover, J. D., Grandy, A. S., Six, J., Lee, J., Maul, J. E., Mirksy, S. B., Spargo, J. T., Wander, M. M. (2012). Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. *Soil Science Society of America Journal*, 76, 494-504. Doi: 10.2136/sssaj2011.0286

Cunha, G. M., Gama-Rodrigues, A. C., & Costa, G. S. (2005). Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no Norte Fluminense. *Árvore*, 29, 353-363. Doi: 10.1590/S0100-67622005000300002

Defelipo, B. V., & Ribeiro, A. C. (1981). Análise química de solo. Viçosa, MG: UFV.

Edmonds, R. L., & Mikkelsen, K. (2010). Red alder leaf decomposition and nutrient release in alder and conifer riparian patches in western Washington, USA. *Forest Ecology and Management*, 259, 2375–2381.

Egunjobi, J. K. (1974). Litter fall and mineralization in a teak *Tectona grandis* stand. *Oikos*, 25, 222-226. Doi: 10.2307/3543646

Embrapa. (1997). Manual de Métodos de Análise de Solos (2nd ed.). Seropédica, RJ: C.N.P/Solos.

Estiarte, M., & Peñuelas, J. (2015). Alteration of the phenology of leaf senescence and fall in winter deciduous species by climate change: effects on nutrient proficiency. *Global Change Biology*, 21, 1005–1017. Doi: 10.1111/gcb.12804

Favare, L. G., Guerrini, I. A., & Backes, C. (2012). Níveis crescentes de saturação por bases e desenvolvimento inicial de teca em um latossolo de textura média. *Ciência Floresta*, 22, 693-702.

Ferreira, G. W. D., Soares, E. M. B., Oliveira, F. C. C., Silva, I. R., Dungait, J. A. J., Souza, I. F., Vergütz, L. (2016). Nutrient release from decomposing Eucalyptus harvest residues following simulated management practices in multiple sites in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 370, 1–11. Doi: 10.1016/j.foreco.2016.03.047

Fromm, J. Wood formation of trees in relation to potassium and calcium nutrition. (2010). *Tree Physiology*, 30, 1140–1147. Doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq024>

Gama-Rodrigues, A. C., Barros, N. F., & Santos, M. L. (2003). Decomposição e liberação de nutrientes do folheto de espécies florestais nativas em plantios puros e mistos no sudeste da Bahia. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 27, 1021-1031. Doi: 10.1590/S0100-06832003000600006

Gama-Rodrigues, A. C., Gama-Rodrigues, E. F., & Brito, E. C. (2007). Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo vermelho-amarelo na região noroeste fluminense (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31, 1421-1428. Doi: 10.1590/S0100-06832007000600019

Goldschimid, O. (1971). Ultraviolet spectra. In K. V. Sarkanen & C. H. Ludwig (Eds.), *Lignins: occurrence, formation, structure and reactions* (pp. 241-298). New York, NY: John Wiley Interprice.

Gomide, J. L., & Demuner, B. J. (1986). Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. *O Papel*, 47, 36-38.

Grassi, G., Millard, P., Gioacchini, P., & Tagliavini, M. (2003). Recycling of nitrogen in the xylem of *Prunus avium* trees starts when spring remobilization of internal reserves declines. *Tree Physiology*, 23, 1061–1068.

Grubešić, R. J., Vuković, J., Kremer, D., & Vladimir-Knežević, S. (2005). Spectrophotometric method for polyphenols analysis: prevalidation and application on *Plantago L.* species. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 39, 837–842. Doi: 10.1016/j.jpba.2005.05.004

Güsewell, S.; & Gessner, M. O. (2009). N:P ratios influence litter decomposition and colonization by fungi and bacteria in microcosms. *Functional Ecology*, 23, 211–219. Doi: 10.1111/j.1365-2435.2008.01478.x

Hättenschwiler, S., & Jørgensen, H. B. (2010). Carbon quality rather than stoichiometry controls litter decomposition in a tropical rain forest. *Journal of Ecology*, 98, 754–763. Doi: 10.1111/j.1365-2745.2010.01671.x

INMET. Instituto nacional de meteorologia. Acessado em: 2 de setembro de 2016. Acesso: <http://www.inmet.gov.br>.

Islam, K. R., & Weil, R. R. (1998). Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biology and Fertility of Soils*, 27, 408-416. Doi: 10.1007/s003740050451

Jacob, M., Weland, N., Platner, C., Schaefer, M., Leuschner, C., Thomas, F. M. (2009). Nutrient release from decomposing leaf litter of temperate deciduous

forest trees along a gradient of increasing tree species diversity. *Soil Biology & Biochemistry*, 41, 2122–2130. Doi: 10.1016/j.soilbio.2009.07.024

Jayamadhavan, A., Sudhakara, K., & Wahid, P. A. (2000). Methods of leaf sampling in teak (*Tectona grandis*) for nutrient analysis. *Journal of Tropical Forest Science*, 12 (2), 227-23.

Jha, K. K. (2014). Temporal patterns of storage and flux of N and P in young Teak plantations of tropical moist deciduous forest, India. *Journal of Forestry Research*, 25 (1), 75–86.

Keiblinger, K. M., Hall, E. K., Wanek, W., Szukics, U., Hämmerle, I., Ellersdorfer, G., Böck, S., Strauss, J., Sterflinger, K., Richter, A., Zechmeister-Boltenstern, S. (2010). The effect of resource quantity and resource stoichiometry on microbial carbon-use-efficiency. *FEMS Microbiology Ecology*, 73 (3), 430-440. Doi: 10.1111/j.1574-6941.2010.00912.x

Kollert, W., & Cherubini, L. (2012). Teak resources and market assessment 2010 (*Tectona grandis* Linn. f.). Rome, IT: Food and Agriculture Organization.

Kraenzel, M., Castillo, A., Moore, T., & Potvin, C. (2003). Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. *Forest Ecology and Management*, 173, 213-225. Doi: 10.1016/S0378-1127(02)00002-6

Kraus, T. E. C., Dahlgren, R. A., & Zasoski, R. J. (2003). Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems - a review. *Plant and Soil*, 256, 41–66. Doi: 10.1023/A:1026206511084

Kumar, J. I. N., Kumar, R. N., Bhoi, R. K., & Sajish, P. R. (2009). Quantification of nutrient content in the aboveground biomass of teak plantation in a tropical dry deciduous forest of Udaipur, India. *Journal of Forest Science*, 55 (6), 251–256.

Kumar, J. I. N., Sajish, P. R., Kumar, R. N., & Bhoi, R. K. (2010). Wood and leaf litter decomposition and nutrient release from *Tectona grandis* Linn. f. in a

tropical dry deciduous forest of Rajasthan, Western India. *Journal of Forest Science*, 26 (1), 17-23.

Laclau, J.-P., Bouillet, J.-P., Ranger, J., Joffre, R., Gouma, R., Saya A. (2001). Dynamics of nutrient translocation in stemwood across an age series of a eucalyptus hybrid. *Annals of Botany*, 88, 1079-1092. Doi: 10.1006/anbo.2001.1550

Lima, R. L. S., Ferreira, G. B., Weber, O. B., & Cazetta, J. O. (2007). Diagnose foliar da gravioleira (*Annona muricata* L.): efeito da posição de ramos e folhas. *Ciência e Agrotecnologia*, 31 (5), 1320-1325. Doi: 10.1590/S1413-70542007000500007

Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Zhao, H., Qiao, Wang, X. S., Zhang, L., Cai, X. (2016). Mixing litter from deciduous and evergreen trees enhances decomposition in a subtropical karst forest in southwestern China. *Soil Biology & Biochemistry*, 101, 44-54. Doi: 10.1016/j.soilbio.2016.07.004

Lowe, L. E. (1993). Total and labile acid extractable polysaccharide analysis of soils. In M. R. Carter (Eds.), *Soil sampling and methods of analysis* (pp. 373–376). Boca Raton, FL: Lewis.

Manzoni, S., Taylor, P., Richter, A., Porporato, A., & Ågren, G. (2012). Environmental and stoichiometric controls on microbial carbon-use efficiency in soils. *New Phytologist*, 196, 79–91. Doi: 10.1111/j.1469-8137.2012.04225.x

Meerts, P. (2002). Mineral nutrient concentrations in sapwood and heartwood: a literature review. *Annals of Forest Science*, 59, 713–722. Doi: 10.1051/forest:2002059

Millard, P., & Grelet, G.-A. (2010). Nitrogen storage and remobilization by trees: ecophysiological relevance in a changing world. *Tree Physiology*, 30, 1083–1095. Doi: 10.1093/treephys/tpq042

Millard, P., Sommerkorn, M., & Grelet, G.-A. (2007). Environmental change and carbon limitation in trees: a biochemical, ecophysiological and ecosystem appraisal. *New Phytologist*, 175, 11–28. Doi: 10.1111/j.1469-8137.2007.02079.x

Min, K., Freeman, C., Kang, H., & Choi, S.-U. (2015). The regulation by phenolic compounds of soil organic matter dynamics under a changing environment. *BioMed Research International*, 1-11. Doi: 10.1155/2015/825098

Moya, R., & Perez, D. (2008). Effects of physical and chemical soil properties on physical wood characteristics of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*, 20 (4), 248-257.

Oliveira, J. R. V. (2003). Sistemas para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamento de teca-NUTRITECA. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Pande, P. K., Meshram, P. B., & Banerjee, S. K. (2002). Litter production and nutrient return in tropical dry deciduous teak forests of Satpura plateau in central India. *Tropical Ecology*, 43 (2), 337-344.

Pelissari, A. L., Guimarães, P. P., Behling, A., & Ebling, A. A. (2014). Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. *Agrarian Academy*, 1 (1), 127-145. Doi: 10.18677/Agrarian\_Academy\_2014\_011

Polyakova, O., & Billor, N. (2007). Impact of deciduous tree species on litterfall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands. *Forest Ecology and Management*, 253, 11–18. Doi: 10.1016/j.foreco.2007.06.049

Pontes, M. S. (2011). Parametrização do modelo 3-PG para teca (*Tectona grandis* L.f.) e dos sistemas ferti-ufv e nutri-ufv para subsidiar o seu manejo nutricional. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Prescott, C. E. (2002). The influence of the forest canopy on nutrient cycling. *Tree Physiology*, 22, 1193–1200.

Ramírez, J. A., León-Peláez, J. D., Craven, D., Herrera, D. A., Zapata, C. M., González-Hernández, M. I., Gallardo-Lancho, J., Osorio, W. (2014). Effects on nutrient cycling of conifer restoration in a degraded tropical montane forest. *Plant Soil*, 378, 215–226. Doi: 10.1007/s11104-014-2024-x

Rasse, D. P., Rumpel, C., & Dignac, M.O. (2005). Is soil carbon mostly root carbon Mechanisms for a speciûc stabilization. *Plant Soil*, 269, 341-356. Doi: 10.1007/s11104-004-0907-y

Reis, M. G. F., & Barros, N. F. (1990). Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In N. F. Barros & R. F. Novais (Eds.), *Relação Solo-eucalipto* (pp. 330). Viçosa, MG: Folha de Viçosa.

Rosa, T. F. D., Scaramuzza, W. L. M. P., & Silva, R. G. (2015). Concentração e acúmulo de nutrientes em povoamentos de teca no estado de Mato Grosso, Brasil. *Cerne*, 21, 51-57. Doi: 10.1590/01047760201521011274

Rousk, J., Bååth, E., Brookes, P. C., Lauber, C. L., Lozupone, C., Caporaso, J. G., Knight, R., Fierer, N. (2010). Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The ISME Journal*, 4, 1340-1351. Doi: 10.1038/ismej.2010.58

Santos, M. L. (2015). Partição de biomassa e nutrientes em plantios clonais e seminais de teca. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Santos, F. M., Chaer, G. M., Diniz, A. R., & Balieiro, F. C. (2017) Nutrient cycling over five years of mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia* on a sandy tropical soil. *Forest Ecology and Management*, 384, 110-121. Doi: 10.1016/j.foreco.2016.10.041

Sariyildiz, T., & Anderson, J. M. (2005). Variation in the chemical composition of green leaves and leaf litters from three deciduous tree species growing on different soil types. *Forest Ecology and Management*, 210, 303-319. Doi: 10.1016/j.foreco.2005.02.043

Saur, E., Nambiar, E. K. S., & Fife, D. N. (2000). Foliar nutrient retranslocation in *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*, 20, 1105-1112.

Schnell, G., & Paludzyszyn Filho, E. (2010). O cenário nacional da silvicultura de teca e perspectivas para o melhoramento genético. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 30 (63), 217-230. Doi: 10.4336/2010.pfb.30.63.217

Sette, C. R., Laclau, J.-P., Tomazello Filho, M., Moreira, R. M., Bouillet, J.-P., Ranger, J., Almeida, J. C. R. (2013). Source-driven remobilizations of nutrients within stem wood in *Eucalyptus grandis* plantations. *Trees*, 27, 827–839. Doi: 10.1007/s00468-012-0837-x

Shimizu, J. Y., Klein, H., & Oliveira, J. R. V. (2007). Diagnóstico das plantações florestais em Mato Grosso. Cuiabá, MT: Central de Texto.

Siddiqui, M. T., Shah, A. H., & Yaqoo, S. (2009). Chronosequence and crown strata effects on foliar nutrient concentrations in teak (*Tectona grandis* L.f) plantations. *Pakistan Journal of Botany*, 41(6), 3023-3034.

Switzer, G.L., & Nelson, L.E. (1972). Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems: the first twenty years. *Soil Science Society of America Proceedings*, 36, 143–147. Doi: 10.2136/sssaj1972.03615995003600010033x

Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H., & Volkweiss, S. J. (1995). Análise de solo, plantas e outros materiais (2nd ed.). Porto Alegre, RS: UFRGS-Departamento de Solos.

Toriyama, J., Hak, M., Imaya, A., Hirai, K., & Kiyono, Y. (2015). Effects of forest type and environmental factors on the soil organic carbon pool and its density fractions in a seasonally dry tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 335, 147-155. Doi: 10.1016/j.foreco.2014.09.037

Viera, M., & Schumacher, M. V. (2009). Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L. *Ciência Florestal*, 19 (4), 375-382. Doi: 10.5902/19805098893

Vitousek, P. M., Sanford, R. L. Jr. (1986) Nutrient Cycling in Moist Tropical Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 137-167.

Wieder, W. R., Cleveland, C. C., & Townsend, A. R. (2009) Controls over leaf litter decomposition in wet tropical forests. *Ecology*, 90 (12), 3333–3341. Doi: 10.1890/08-2294.1

Yeomans, J. C., & Bremner, J. M. A. (1988). Rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19, 1467-1476.