

MARIA DA COSTA CARDOSO

**BALANÇO NUTRICIONAL E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM PLANTIOS
DE EUCALIPTO COM DIFERENTES FERTILIZAÇÕES EM SOLO ARENOSO DE
CERRADO**

Dissertação 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 *Magister Scientiae*.

Orientador: Ivo Ribeiro da Silva

Coorientadores:

Rafael da Silva Teixeira

Samuel Vasconcelos Valadares

Emanuelle Mêrces Barros Soares

Leonardus Vergutz

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2020**

MARIA DA COSTA CARDOSO

**BALANÇO NUTRICIONAL E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM PLANTIOS
DE EUCALIPTO COM DIFERENTES FERTILIZAÇÕES EM SOLO ARENOSO DE
CERRADO**

Dissertação 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 *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de fevereiro de 2020

Assentimento:

Maria da Costa Cardoso
Autor

Ivo Ribeiro da Silva
Orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, pelas oportunidades que tive, pelas pessoas boas que colocou em meu caminho e que me ajudaram a chegar até aqui. A Deus agradeço também a força, persistência, resiliência, coragem e determinação que foram características que me fizeram vencer todos os desafios a mim impostos.

Aos meus pais serei eternamente grata por tudo que tenho e pelo que sou. Sou grata pelos valores que me ensinaram com exemplo de vida deles. Sou grata e reconheço todo o sacrifício que fizeram para que eu tivesse a oportunidade de estudar, e hoje obter o título de mestre...eles são os verdadeiros mestres do que realmente importa, pois são pessoas de bom coração, caráter, honestos, que amam e respeitam o próximo. Meu irmão e eu temos muita sorte por tê-los como pais. Deus foi bom para nós.

Sou grata também ao meu irmão, por estar presente na vida dos meus pais e cuidando deles enquanto estive fora. Talvez você não tenha noção disso, mas tenho muito orgulho do homem de bom caráter e de bom coração que você é. Ainda espero que um dia sejamos mais próximos um do outro, pois futuramente só teremos um ao outro. Desejo que você seja muito feliz.

Agradeço, a Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade concedida para a realização do curso de Mestrado.

Ao Professor Dr. Ivo Ribeiro da Silva pela paciência e orientação durante o mestrado, sobretudo na reta final, sou realmente muito grata. Sou grata também pela confiança e pelo desafio de desenvolver uma pesquisa que me fez sair da zona de conforto e que por isso me fez aprender muito.

Aos coorientadores Prof. Dr. Samuel Vasconcelos Valadares, Prof.^a Dr.^a Emanuelle Mêrces Barros Soares e Prof. Dr. Leonardus Vergutz pela colaboração na realização deste trabalho. Em especial agradeço ao Prof. Dr. Rafael da Silva Teixeira, que me acompanhou e orientou de perto desde o início. Sua ajuda foi fundamental para a realização do trabalho. Obrigada pela orientação e amizade.

Aos membros da banca examinadora, Prof.^a Dr.^a Emanuelle Mêrces Barros Soares, Prof.^a Dr.^a Hermínia Emília P. Martinez, Prof. Dr. Júlio Cesar Lima Neves e Prof. Dr. Rafael da Silva Teixeira, por aceitarem prontamente o convite e por contribuírem com sugestões e críticas.

À Suzano, pela disponibilização da área experimental e dados cedidos gentilmente para a realização desta pesquisa.

A todos os funcionários e professores do Departamento de Solos da UFV, pelos conhecimentos repassados e por toda ajuda durante as análises laboratoriais.

À Maria Carolina Vieira, Vanderlayne Costa e Vanessa Lopes Freitas por atuarem de forma direta na realização desse trabalho. Em especial sou grata à Carol que me ajudou do início ao fim no processamento de amostras e análises. Sempre organizada, esforçada e incansável...muito obrigada de coração por toda a sua ajuda Carol, pois sem você, eu não teria conseguido.

Aos técnicos do LIE João Milagres e Humberto pela paciência e a disponibilidade em ajudar sempre.

À Rosy e Ranyer pela amizade e momentos de descontração no laboratório.

À Dani, Bernardo, Ana Paula, Gustavo, Ivan, Pedro Paulo e Luís pela boa convivência durante esse período no LIE.

Por fim, mas com certeza não menos importante, agradeço imensamente e do fundo do meu coração a amizade do Daniel Nunes da Silva Júnior, David Lukas de Arruda Silva, Maurício Cunha Almeida Leite, Larissa Espinosa de Freitas, Jessica Ribeiro Soares e Jônatas Pedro da Silva. Sem dúvidas vocês fizeram a vida aqui em Viçosa mais leve e divertida. Muito obrigada pelo carinho, companheirismo, cuidado, compreensão, ajuda e amor dedicados a mim. Sou muito grata a Deus por tê-los colocados no meu caminho. Desejo tudo de melhor na vida de todos vocês.

*Senhor, quando te vejo no sacramento da comunhão
Sinto o céu se abrir e uma luz a me atingir
Esfriando minha cabeça e esquentando meu coração*

*Senhor, graças e louvores sejam dados a todo momento
Quero te louvar na dor, na alegria e no sofrimento
E se em meio à tribulação, eu me esquecer de ti
Ilumina minhas trevas com Tua luz*

*Chego muitas vezes em Tua casa, meu Senhor
Triste, abatido, precisando de amor
Mas depois da comunhão Tua casa é meu coração
Então sinto o céu dentro de mim*

*Não comungo porque mereço, isso eu sei, oh meu Senhor
Comungo, pois, preciso de ti
Quando faltei à missa, eu fugia de mim e de Ti
Mas agora eu voltei, por favor aceita-me*

**Sacramento da Comunhão
Nelsinho Corrêa**

Outra frase:

*Aos meus pais e irmão amados, Jaciara do
Socorro da Costa Cardoso, Edivan Santos
Cardoso e Cleyton da Costa Cardoso.*

DEDICO

*Aos meus avós,
Raimunda José Rodrigues da Costa - **Zilza** (in
memoriam), Joana Santos Cardoso (in memoriam),
Francisco Cardoso Caldas (in memoriam) e Gocir
Jordão da Costa.*

*Por terem dado a vida e amor aos meus pais e por
ser e terem sido exemplo de dedicação, integridade
e honestidade a nossa família.*

OFEREÇO

SUMÁRIO

RESUMO	8
1 INTRODUÇÃO	10
2 MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1 <i>Instalação dos experimentos</i>	13
2.2 <i>Coleta e análises da planta</i>	20
2.3 <i>Coleta e análise de solo</i>	21
2.4 <i>Eficiência de uso dos nutrientes</i>	22
2.5 <i>Taxa de recuperação aparente</i>	23
2.6 <i>Coleta e análise do litterfall</i>	23
2.7 <i>Liberação de nutrientes do resíduo da colheita e do litter</i>	23
2.8 <i>Acúmulo dos macronutrientes na planta</i>	24
2.9 <i>Balanço de nutrientes</i>	25
2.10 <i>Análises estatística</i>	26
3 RESULTADOS	26
<i>Produção de tronco do povoamento</i>	26
<i>Massa de matéria seca e conteúdo de nutrientes na planta</i>	28
<i>Coefficiente de utilização biológica (CUB)</i>	31
<i>Deposição de litterfall</i>	33
<i>Estoques de C, N, P, K, Ca, Mg e S no solo</i>	37
<i>Taxa de recuperação aparente dos nutrientes do fertilizante e do corretivo</i>	43
<i>Acúmulo e demanda dos nutrientes na planta</i>	44
<i>Balanço de nutrientes</i>	53
4 DISCUSSÃO	55
<i>Produção e estoques de nutrientes em florestas de eucalipto com permanência de resíduos da colheita e fertilização mineral</i>	55
<i>Estoques de nutrientes e de matéria orgânica do solo em florestas de eucalipto com permanência de resíduos da colheita e fertilização mineral</i>	57
<i>Coefficiente de utilização biológico, taxa de recuperação e balanço de nutrientes em florestas de eucalipto com manutenção de resíduos da colheita e fertilização mineral</i>	59
5. CONCLUSÕES	61
6. REFERÊNCIAS	63
7. MATERIAL SUPLEMENTAR	67

RESUMO

CARDOSO, Maria da Costa., M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **BALANÇO NUTRICIONAL E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM PLANTIOS DE EUCALIPTO COM DIFERENTES FERTILIZAÇÕES EM SOLO ARENOSO DE CERRADO.** Orientador: Ivo Ribeiro da Silva; Coorientadores: Rafael da Silva Teixeira, Samuel Vasconcelos, Emanuelle Mêrces Barros Soares, Leonardus Vergutz.

O entendimento de como o manejo das florestas (fertilização e resíduos da colheita) afetam a produtividade, matéria orgânica do solo e balanço de nutrientes ao longo do tempo é importante para que se realizem cultivos mais sustentáveis e produtivos. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta em produtividade, eficiência de uso de nutrientes, estoque de nutrientes e seus efeitos na matéria orgânica do solo em plantio de eucalipto de segunda rotação em manejo de reforma e condução, com a permanência do resíduo da colheita e diferentes níveis de fertilização mineral, em solo arenoso do Cerrado. O estudo foi realizado no município de Três Lagoas – MS, onde foram instalados dois experimentos em área colhida pelo módulo Harvester e Forwarder, no qual o resíduo da colheita é deixado no talhão. Após a colheita, os resíduos foram deixados nos talhões e espalhados sobre a superfície do solo. Toda a área onde foram instalados os dois experimentos de Reforma e Condução, respectivamente, receberam 28,29 e 28,56 Mg ha⁻¹ de resíduo da colheita da rotação anterior. Na sequência a área de plantio foi dividida em duas, caracterizando cada um dos experimentos. O experimento 1 consistiu de plantio submetido ao manejo de Reforma, enquanto no experimento 2 foi realizada a condução das brotações. Os experimentos foram instalados em delineamento em blocos casualizados, com três repetições e três níveis de adubação. Assim, os tratamentos consistiram em parcelas sem adubação, adubação de reposição e adubação potencial, totalizando 9 unidades experimentais. As unidades experimentais dos experimentos corresponderam a parcelas com 150 árvores de eucalipto, em espaçamento 3,6 x 2,4 m, aproximadamente. A área total da parcela, correspondeu a 1290 m², as quais possuíam uma parcela útil formada pelas 48 árvores centrais e bordadura de 6 plantas entre as parcelas. As doses referentes aos níveis de adubação foram calculadas por meio do software NUTRICALC[®], visando uma produtividade de 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de madeira para a adubação de reposição e 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de madeira para adubação potencial. A avaliação dos experimentos foi realizada nas camadas 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm do solo e material vegetal da cubagem das árvores (folhas, galhos, casca e lenho) coletado aos 60 meses após o plantio das mudas. Além disso, o litterfall foi coletado mensalmente ao longo de três anos (2016-2018) e realizando o inventário contínuo nos experimentos referentes as idades de 17, 34, 43 e 57 meses dos povoamentos de eucalipto para obtenção da curva de produtividade da floresta. Foi realizada análise química para obtenção dos teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) no solo, nos compartimentos da árvore e no litter. Para obtenção dos teores dos macronutrientes nas árvores foram abatidas uma árvore média por parcela e os componentes da parte aérea das árvores foram pesados em campo e subamostras direcionadas para o laboratório para posterior análise. Os tratamentos foram avaliados e comparados por meio da Produtividade da floresta, Deposição de litterfall, Massa de matéria seca, Conteúdo de nutrientes na planta, Estoque dos macronutrientes no solo, Coeficiente de utilização biológica (CUB), Taxa de recuperação aparente dos nutrientes, Acúmulo e demanda dos nutrientes na planta e Balanço de nutrientes. Os dados foram submetidos a análise das pressuposições da estatística paramétrica pelos testes de Kolmogorov – Smirnov e Bartlett

referentes a normalidade e homogeneidade de variância, respectivamente. Posteriormente foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e teste F ao nível de 10 % de probabilidade, enquanto as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 10 % de probabilidade utilizando o software-se R[®]. Os resíduos de colheita (casca, folhas, galhos e raízes), o litter, e o litterfal são componentes importantes para o suprimento de nutrientes, particularmente quando não se aplicam corretivos e fertilizantes, e suportam produtividades satisfatórias de eucalipto mesmo em solos arenosos de baixa fertilidade. A omissão da adubação em sítio com solo arenoso em que foram mantidos todos os resíduos de colheita leva a maior perda de produtividade nos plantios conduzidos do que naqueles reformados. A adubação de reposição com fertilizantes e corretivos tomando como base o balanço de nutrientes e uma produtividade realista para o clone e sítio otimiza a produtividade, melhora a taxa de recuperação de nutrientes aplicados, embora não necessariamente aumente os CUB's para a maioria dos nutrientes, particularmente nos plantios manejados sob condução. A manutenção dos resíduos de colheita e a adubação de reposição com base no balanço de nutrientes há favorecimento da manutenção de frações mais estáveis da MOS (MAM), enquanto nos plantios não adubados a formação da MAM é comprometida pela dificuldade de decomposição da MOP.

Palavras-chave: Fertilização florestal, resíduos da colheita do eucalipto, produtividade do eucalipto, C na MAM.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil apresenta 5,7 milhões de hectares plantados com *Eucalyptus*, o que corresponde a 72 % das áreas com florestas plantadas do país (IBÁ, 2017). O sucesso do gênero no país tem se estabelecido devido a sua adaptabilidade a diversas condições edafoclimáticas aliado as diferentes destinações de uso como a produção de papel e celulose, energia (carvão vegetal), movelaria, mourões, painéis de madeira reconstituída, entre outros.

O estado do Mato Grosso do Sul vem se destacando como a nova fronteira agrícola para a expansão de plantios de eucalipto no país, registrando uma taxa média de crescimento de 13% a.a (IBÁ, 2017), e apresentado produtividade maior que a média nacional. Grande parte das áreas plantadas com eucalipto no Estado estão localizadas em solos arenoquartzosos profundos (Lopes, 2013), que são susceptíveis a degradação, e são de difícil recuperação quando manejados inadequadamente.

O início de um novo ciclo florestal pode ser realizado por dois principais manejos: alto fuste e talhadia. No sistema alto fuste os plantios são reformados, procedendo-se o plantio de novas mudas e material genético. Na talhadia é realizada a condução das brotações nas cepas dos eucaliptos colhidos na rotação anterior (Cipriani et al., 2015).

A principal vantagem da talhadia comparado ao alto fuste é o menor custo de produção, pois não é necessário realizar operações de preparo de área e plantio. Outra vantagem importante é que as brotações crescem mais rápido, quando comparadas com plantios reformados, de mesma idade, principalmente nos estádios iniciais de crescimento; o maior crescimento inicial é atribuído às reservas orgânicas e inorgânicas da cepa e à existência de sistema radicular previamente desenvolvido, que favorece a absorção de água e nutrientes, aumentando a taxa de crescimento da parte aérea das brotações (Reis e Kimmins, 1986). Em contrapartida povoamentos em talhadia, normalmente registram quedas na produtividade em rotações sucessivas, enquanto florestas reformadas podem apresentar incrementos no volume de madeira produzido devido, entre outros fatores, à utilização de material genético mais adaptado e produtivo.

O manejo florestal, sobretudo o relacionado a colheita florestal, pode influenciar de forma indireta no suprimento e disponibilidade de nutrientes no solo, uma vez que ele ditará a permanência ou não dos resíduos da colheita na área de plantio. Quando a colheita é realizada no sistema de toras curtas (Cut-to-length), as árvores são cortadas e processadas no interior do talhão. Desta forma os resíduos (casca, galhos e folhas) são deixados na área, sobre o solo. Contudo, quando a colheita é feita no sistema de toras inteiras (Full-tree), as árvores são apenas

abatidas no interior do talhão, sendo arrastadas e processadas à margem das estradas ou no pátio de estocagem, implicando em exportação dos resíduos florestais e, conseqüentemente, dos nutrientes presentes no tecido vegetal.

A colheita florestal é responsável pela exportação de considerável proporção de nutrientes do solo, acumulados na biomassa aérea das árvores. Em estudo realizado por Santana et al., (2008), ao considerar povoamentos de eucalipto em diferentes estados encontrou que 50 %, 44 %, 36 %, 27 % e 39 % dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, se acumularam na copa (folha e galho) em relação a biomassa da parte aérea. Segundo o mesmo estudo, apesar da biomassa da casca representar em média apenas 13 % da biomassa do tronco, ela contém 72 % do Ca, 66 % do Mg, 47 % do P, 43 % do K e 30 % do N total exportados do sítio pela colheita. Desta forma, os dados indicam que os principais drenos dos nutrientes do solo são a casca, as folhas e galhos das árvores, que após a colheita passam a ser considerados resíduos. Por estes motivos, esses autores sugerem que em regiões tropicais, como é o caso de grande parte do Brasil, devem-se realizar a colheita apenas do lenho do eucalipto, de forma que se possibilite manter a qualidade e a capacidade produtiva dos solos.

Quando o resíduo de colheita é mantido na área de plantio, os nutrientes nele contidos poderão retornar para o solo (tornando-se disponíveis ou não para a planta) por meio de sua decomposição e poderão contribuir para o incremento em matéria orgânica do solo. Em revisão de trabalhos sobre o impacto da colheita florestal nos estoques de C do solo, Johnson e Curtis., (2001), concluíram que a manutenção do resíduo da colheita na área de plantio, foi responsável pelo aumento de 18 % no C orgânico do solo (COS). Segundo Rocha et al., (2018), a remoção do resíduo da colheita por duas rotações consecutivas diminuiu principalmente a fração lábil do COS.

A pesquisa realizada por McMahon et al., (2019), mostrou aumentos nos estoques de C (16 %) e Ca (180 %) no solo sob plantio de eucalipto (20 cm). Aumento significativo também foi observado para K no mesmo estudo. Registrou-se, entretanto, diminuição nos estoques de N de plantios localizado na Mata Atlântica, média de 35 % a 30 %, sem alterações nos plantios sob solo do Cerrado (20 cm). Segundo estes autores os insumos provenientes do resíduo da colheita aumentam os estoques de Ca no solo e sugerem que a entrada de N e K no solo ocorre pela contribuição das folhas e galhos após a colheita; o mesmo se aplica para os estoques de C.

Estudo realizado no Brasil mostrou que a produtividade de plantios de eucalipto em primeira e segunda rotação são afetados pela remoção do resíduo da colheita mesmo com a aplicação de altas doses de fertilizantes, registrando uma diminuição de 15 % da produção de

madeira em segunda rotação (Rocha et al., 2018). Já em pesquisa realizada por Rocha et al., (2016), observou-se diminuição de 10 % na produtividade florestal quando todo o resíduo da colheita foi removido e fertilizantes foram aplicados; e registrando produtividade 36 % menor em plantio sem aplicação de fertilizante, onde foram mantidos apenas os resíduos florestais.

Contudo, em estudo realizado por Kumaraswamy et al., (2014) os autores concluíram que a manutenção de resíduos da colheita na área de plantio pode ajudar a sustentar a fertilidade do solo nas rotações subsequentes e minimizar a perda de nutrientes dos sítios florestais, mas é provável que os fertilizantes ainda sejam uma parte importante do regime de gerenciamento de nutrientes para plantações produtivas.

Neste contexto, a sustentabilidade de um ecossistema florestal, entre outros fatores, está associada com o balanço de nutrientes ao longo do tempo, o qual por sua vez é influenciado pelo coeficiente de utilização biológico (CUB) (Santana et al., 2002). O CUB é utilizado para avaliar a taxa de produção de biomassa por unidade de nutriente e, conseqüentemente, a exportação relativa de nutrientes por unidade de biomassa produzida (Schumacher et al., 2019). Já o balanço de nutrientes fornece informações a respeito da capacidade do solo em suprir a demanda por nutrientes em um novo ciclo florestal e leva em consideração a demanda nutricional do povoamento, ou seja, a quantidade desses nutrientes imobilizados na biomassa da parte aérea até a idade de corte (Leite et al., 1998).

Diante do exposto, acredita-se que o adequado manejo dos resíduos florestais pode ser uma importante ferramenta para a otimização da nutrição e produtividade florestal. Contudo, são incipientes os estudos que mostram se os resíduos da colheita, possibilitam ou não a disponibilização dos nutrientes de forma harmônica com a demanda do eucalipto ao longo da rotação, e se a utilização desses nutrientes pelo eucalipto é realizada de forma mais eficiente (maiores CUBs) comparativamente aos nutrientes aplicados via fertilizantes e corretivos.

Assim, nós hipotetizamos que apenas a permanência do resíduo da colheita não é suficiente para atender a demanda da planta em solos arenosos e de baixa fertilidade natural do Cerrado, e que uma suplementação mineral otimizará a disponibilização/utilização dos nutrientes de forma mais sincronizada com a demanda da planta. Adicionalmente, espera-se que a maior disponibilidade de nutrientes com a fertilização aumente a produtividade, com conseqüente incremento nos estoques de frações mais lábeis e mais estáveis da matéria orgânica do solo (MOS).

Desta forma, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar, em solo de Cerrado, a resposta de povoamentos clonais de eucalipto em segunda rotação à permanência no solo do resíduo da

colheita e diferentes níveis de fertilização mineral, em termos de produtividade, eficiência de uso e balanço de nutrientes, bem como na matéria orgânica do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Instalação dos experimentos

O estudo foi realizado no município de Três Lagoas (20°53' S e 51°44' O, 350 m de elevação), localizado no estado do Mato Grosso Sul – MS, Brasil. O clima da região é do tipo Aw (Classificação de Köppen), típico do Cerrado brasileiro, com verões quentes e chuvosos, e invernos secos e com temperaturas mais amenas. A pluviosidade média anual é de 1273 mm e a temperatura média anual é de 28 ° C (Figura 1). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013) (Tabela 1), anteriormente cultivado com pastagens de *Uroclhoa decumbens* por mais de 20 anos. Essa pastagem foi eliminada com uso de herbicida não seletivo (glifosato) e em seguida foi substituída por povoamento de eucalipto utilizando mudas clonais (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*). A colheita das plantas dessa primeira rotação foi feita com 7 anos (dezembro de 2013), e em seguida foi instalado o presente estudo, na segunda rotação (janeiro de 2014).

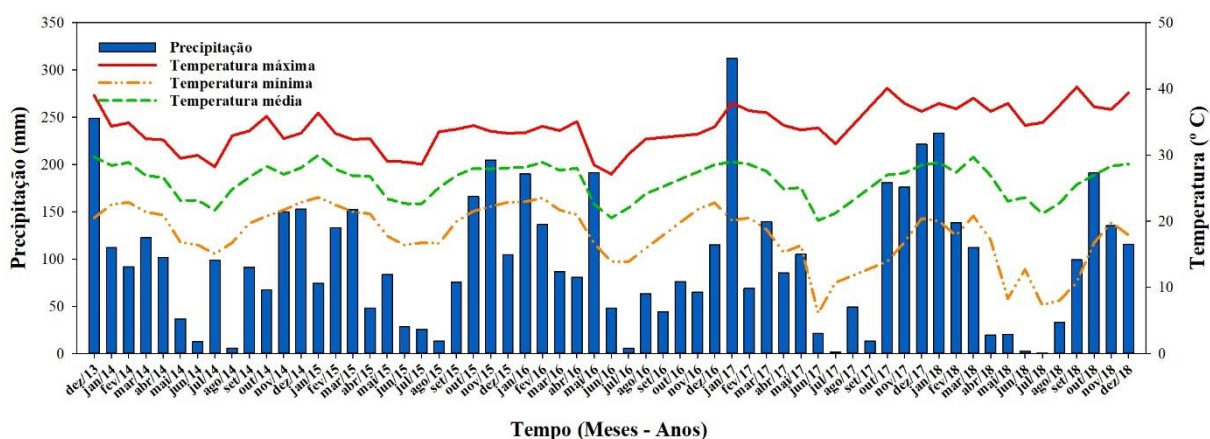


Figura 1. Pluviosidade e temperatura máxima, mínima e média para o município de Três Lagoas – MS no período de dezembro de 2013 a dezembro de 2018. Dados obtidos na estação meteorológica próximo a área experimental.

O estudo foi dividido em dois experimentos. A colheita desse povoamento foi feita no sistema Cut-to-Length, com *Harvester* e *Forwarder* em que após a colheita os resíduos das árvores (cascas, folhas e galhos) permaneceram sobre a superfície do solo em todo o talhão.

Nesse projeto florestal, com dezenas de talhões, foram selecionados dois talhões adjacentes com condições de solo e manejo semelhantes aos da primeira rotação (Figura 2),

onde foram instalados os dois experimentos: no experimento 1, o povoamento da segunda rotação foi reformado procedendo-se o plantio de novas mudas (Alto Fuste), enquanto no experimento 2 o povoamento da segunda rotação teve as brotações conduzidas (Talhadia) (Figura 2). Os clones utilizados nos experimentos eram híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, mas na área em Alto Fuste não foi possível plantar o mesmo clone da rotação anterior (similar ao do experimento em Talhadia) em função da indisponibilidade de mudas no mercado.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do Latossolo Vermelho distrófico dos experimentos na área de Alto Fuste e Talhadia.

Alto Fuste*																				
Prof	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	K	S	Cu	Mn	Fe	Zn	Areia	Silte	Argila	SB	t	T	V	m
cm	-----cmol _c dm ⁻³ -----					-----mg dm ⁻³ -----							-----dag kg ⁻¹ -----			---cmol _c dm ⁻³ ---		----%----		
0-10	4,38	1,22	4,28	0,22	0,15	4,34	19,67	11,35	0,11	2,59	13,20	0,09	85,49	2,67	11,84	0,43	1,65	4,71	9,06	74,13
10-20	4,44	1,07	4,17	0,18	0,12	5,53	17,44	14,43	0,10	2,46	14,07	0,05	85,99	1,56	12,46	0,35	1,42	4,52	7,70	75,51
20-40	4,45	1,09	3,52	0,17	0,05	8,96	8,44	14,88	0,13	1,30	14,10	0,10	84,84	1,92	13,23	0,24	1,33	3,76	6,41	81,88
40-60	4,45	1,01	3,23	0,12	0,03	2,15	4,89	14,36	0,09	0,85	11,82	0,05	82,26	3,41	14,33	0,17	1,18	3,40	4,88	85,92
Talhadia*																				
Prof	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	K	S	Cu	Mn	Fe	Zn	Areia	Silte	Argila	SB	t	T	V	m
cm	-----cmol _c dm ⁻³ -----					-----mg dm ⁻³ -----							-----dag kg ⁻¹ -----			---cmol _c dm ⁻³ ---		----%----		
0-10	4,69	0,78	3,67	0,36	0,23	4,42	19,33	13,45	0,08	4,89	12,42	0,05	86,31	2,40	11,29	0,64	1,42	4,31	14,80	55,13
10-20	4,54	0,86	3,56	0,24	0,16	3,37	15,44	12,31	0,08	4,15	13,23	0,04	86,03	2,47	11,50	0,43	1,29	4,00	10,87	66,32
20-40	4,54	0,93	3,28	0,17	0,07	5,40	12,11	14,22	0,18	2,51	12,94	0,22	84,42	3,26	12,32	0,27	1,20	3,55	7,58	77,51
40-60	4,55	0,83	3,18	0,08	0,05	4,30	8,00	10,22	0,09	1,94	11,13	0,04	83,53	3,46	13,01	0,15	0,98	3,34	4,55	84,51

*Solo coletado em março de 2014. pH em água (Relação 1:2,5); P, K, Fe, Zn, Mn, Cu (Extrator Mehlich⁻¹); V= Índice de saturação por base; m= Índice de saturação por alumínio; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ (Extrator: KCl - 1mol L⁻¹); H+Al (Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0); SB= Soma de bases trocáveis; t= Capacidade de troca catiônica efetiva; T= Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; S (Extrator - Fosfato monocálcio em ácido acético); B (Extrator água quente); Areia, Silte e Argila (Método da pipeta). Os valores apresentados para análise química e física, correspondem a média ponderada das amostras de solo da linha e entrelinha, na proporção 1/3 e 2/3 respectivamente.

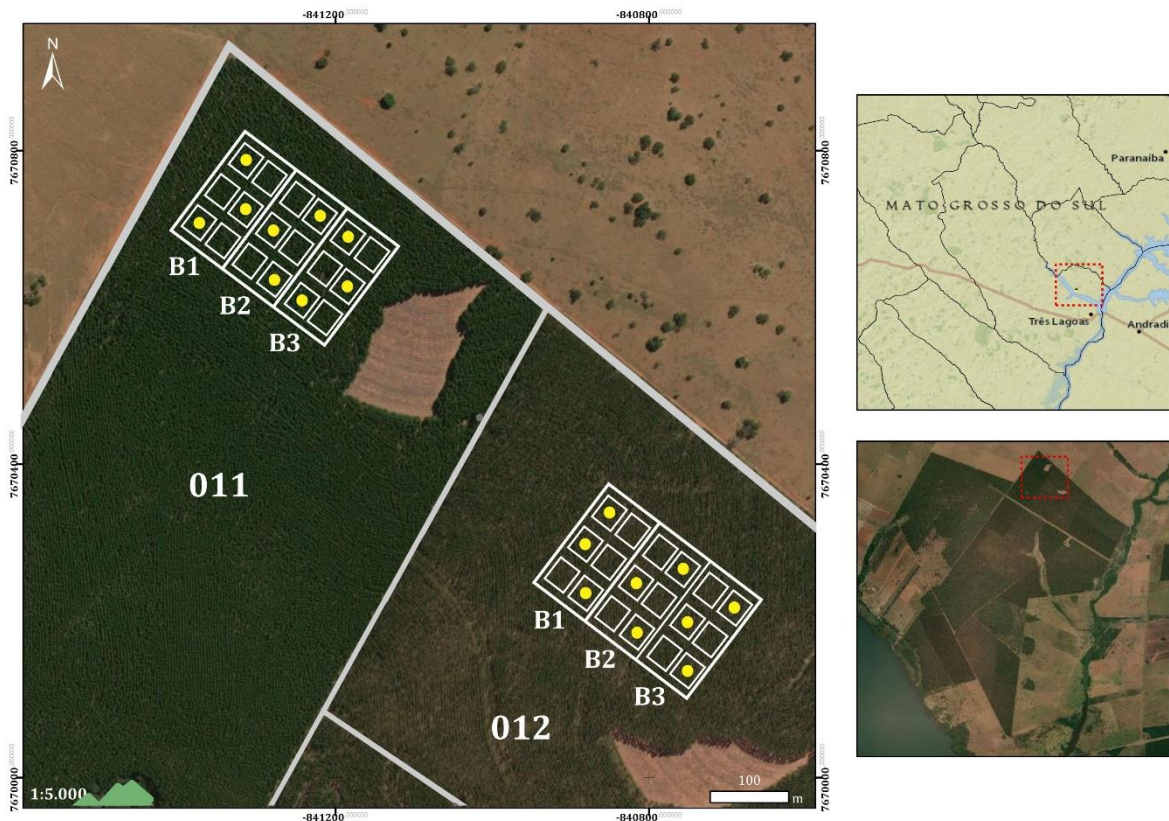


Figura 2. Localização geográfica e croqui básico dos experimentos na área experimental em Três Lagoas-MS. A identificação 011 refere-se ao talhão que recebeu o experimento em Talhadia e 012 é o talhão referente ao experimento em Alto Fuste.

Na área onde foram instalados os dois experimentos de fertilização de povoamentos em Alto Fuste e Talhadia, permaneceram nos talhões respectivamente 28,3 e 28,6 Mg ha⁻¹ de resíduos da colheita (folhas, cascas e galhos), além das raízes. Esses resíduos da colheita da rotação anterior continham as seguintes quantidades de macronutrientes (Tabela 2).

Tabela 2. Conteúdo de macronutrientes nos componentes dos resíduos da colheita e do litter (serrapilheira) mantidos na superfície do solo nos experimentos de Alto Fuste e Talhadia

Alto Fuste							
Componente	Massa aportada	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹					
Folha	3,8	60,1	2,1	18,0	35,7	13,0	3,1
Galho	4,2	11,1	0,7	5,6	0,0	5,7	1,4
Casca	11,3	47,2	0,0	23,6	376,6	28,7	4,1
Serrapilheira	9,0	22,2	1,2	10,5	41,8	11,4	3,0
Total	28,3	140,6	4,0	57,6	454,1	58,8	11,6

Talhadia							
Componente	Massa aportada	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹					
Folha	3,8	35,4	1,3	8,4	38,6	9,4	2,1
Galho	4,3	11,2	0,6	6,0	19,0	5,3	1,5
Casca	11,4	47,7	2,9	21,6	272,9	28,9	4,8
Serrapilheira	9,1	26,6	1,0	0,0	37,0	10,3	2,8
Total	28,6	120,9	5,7	36,3	367,5	54,0	11,3

Os experimentos foram instalados em delineamento em blocos casualizados, com três repetições e três níveis de adubação. Os tratamentos consistiram em parcelas sem adubação (SA), adubação de reposição (AR) e adubação potencial (AP), totalizando 9 parcelas experimentais (PE) em cada experimento. Em todas as PEs foram mantidos a camada de litter e todos os resíduos de colheita. Ou seja, mesmo no tratamento sem adubação houve aporte significativo de nutrientes pelos resíduos da colheita e pelo litter que havia na área (Tabela 2).

As PEs dos experimentos corresponderam a parcelas com 150 árvores de eucalipto (10 linhas de plantio x 15 plantas), em espaçamento 3,6 m x 2,4 m. A área total da parcela experimental, correspondeu a 1290 m², as quais possuíam uma parcela útil (unidade experimental - UE) formada pelas 48 árvores centrais (414,72 m²) e bordadura de 6 plantas entre as parcelas.

Na implantação dos experimentos foram aplicados 1500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (36,75 % de CaO e 4,4 % de MgO), em faixas contínuas de 80 cm de largura, na futura linha de plantio do experimento em Alto Fuste e ao lado da linha de plantio do

experimento em Talhadia. Em seguida foi realizada a subsolagem a 60 cm de profundidade e aplicados 500 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK solúvel 12-20-16 (com 2 % de S, 2 % de Ca, 0,4 % de B, 0,2 % de Zn), a 25 cm de profundidade no experimento em Alto Fuste e 250 kg ha⁻¹ do mesmo fertilizante no experimento em Talhadia. Neste último a aplicação do fertilizante foi realizada em filetes contínuos, ao lado das linhas de plantio, logo após a desbrota.

Para os tratamentos com a adubação de reposição foram aplicados 187 e 260 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK 10-00-30 (com 9 % de S e 0,7 % de B), respectivamente, nos experimentos de Alto Fuste e Talhadia. O experimento em Alto Fuste não recebeu aplicação de calcário aos 12 meses após o plantio, enquanto no experimento de Talhadia foram aplicados 437 kg ha⁻¹.

Nos tratamentos com a adubação potencial aplicaram-se 1869 e 2076 kg ha⁻¹ de calcário para os experimentos de Alto Fuste e Talhadia, respectivamente, quando as árvores estavam com 18 meses de idade. Nessa mesma época foram também aplicados 688 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK 10-00-30 (com 9 % de S e 0,7 % B) em cada experimento.

As quantidades de nutrientes programadas para cada tratamento foram atingidas através das adubações de cobertura. Nos tratamentos com adubação de reposição a quantidade de nutrientes a ser aplicada foi completada em uma única aplicação aos 12 meses, e nos tratamentos com adubação potencial foi realizada uma segunda adubação de cobertura aos 18 meses (Tabelas 3 e 4). Portanto, os tratamentos com AR e AP até os 12 meses, receberam a mesma quantidade de fertilizante (Alto Fuste e Talhadia), e aos 18 meses, os tratamentos com adubação potencial receberam uma adubação de cobertura e calagem adicional. Nas Tabelas 3 e 4 estão representadas as quantidades totais de cada nutriente aplicado nos tratamentos de adubação de reposição e potencial, respectivamente para os experimentos de Alto Fuste e Talhadia (considerando o NPK e calcário aplicados).

As doses referentes aos níveis de adubação foram calculadas por meio do software NUTRICALC[®], visando uma produtividade de 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (6 anos) de madeira para a adubação de reposição e 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (6 anos) de madeira para adubação potencial.

Tabela 3. Quantidade total de nutrientes aplicado nos tratamentos via fertilizante e corretivo no experimento de Alto Fuste

Alto Fuste								
Fertilizações	Entrada de nutrientes	Fonte	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
			-----kg ha ⁻¹ -----					
AR	Implantação	Corretivo	0	0	0	394	40	0
		NPK	60	100	80	10	0	10
	Adubação de cobertura (1 ano)	Corretivo	0	0	0	0	0	0
		NPK	19	0	56	0	0	17
TOTAL			79	100	136	404	40	27
AP	Implantação	Corretivo	0	0	0	394	40	0
		NPK	60	100	80	10	0	10
	Adubação de cobertura (1 ano)	Corretivo	0	0	0	0	0	0
		NPK	19	0	56	0	0	17
	Adubação de cobertura (1,6 anos)	Corretivo	0	0	0	491	50	0
		NPK	69	0	206	0	0	61
TOTAL			148	100	343	895	89	88

Tabela 4. Quantidade total de nutrientes aplicado nos tratamentos via fertilizante e corretivo no experimento de Talhadia

Talhadia								
Fertilizações	Entrada de nutrientes	Fonte	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
			-----kg ha ⁻¹ -----					
AR	Implantação	Corretivo	0	0	0	394	40	0
		NPK	30	50	40	5	0	5
	Adubação de cobertura (1 ano)	Corretivo	0	0	0	115	12	0
		NPK	26	0	78	0	0	23
TOTAL			56	50	118	514	51	28
AP	Implantação	Corretivo	0	0	0	394	40	0
		NPK	30	50	40	5	0	5
	Adubação de cobertura (1 ano)	Corretivo	0	0	0	115	12	0
		NPK	26	0	78	0	0	23
	Adubação de cobertura (1,6 anos)	Corretivo	0	0	0	545	55	0
		NPK	69	0	206	0	0	61
TOTAL			125	50	324	1059	106	89

2.2 Coleta e análises da planta

Crescimento, produção e produtividade dos povoamentos de eucalipto

Em cada um dos experimentos foram realizados inventários aos 17, 34, 43 e 57 meses dos povoamentos de eucalipto, procedendo-se a mensuração do diâmetro a altura do peito (DAP; 1,3 m) e altura comercial (Ht) das árvores para obtenção da curva de produção dos povoamentos. Para tanto, uma vez que não se teve acesso as equações de volume para os sítios florestais onde estavam localizados os experimentos, o volume de madeira ao longo dos 5 anos de idade dos povoamentos foi estimado pela Equação 1 (Soares et al., 2011).

$$V_{est} = \frac{\pi * DAP^2}{4} * Ht * F \quad \text{Equação 1.}$$

Em que V_{est} é o volume estimado (m^3); DAP é o diâmetro a altura do peito (1,3 m); Ht é a altura total (m); F é o fator de forma.

O fator de forma foi obtido por meio da Equação 2 (Soares et al., 2011), indicada abaixo.

$$F = \frac{V_{\acute{a}rv}}{V_{cil}} \quad \text{Equação 2.}$$

Em que F é o fator de forma; $V_{\acute{a}rv}$ é o volume rigoroso da árvore (m^3), determinado pela cubagem; V_{cil} é o volume do cilindro (DAP 1,3 m). No experimento de Alto Fuste o fator de forma foi de 0,5252 e na Talhadia foi 0,5332.

Para o cálculo de fator de forma, foi necessário obter o volume rigoroso, através da cubagem de uma árvore média por parcela aos 60 meses após a instalação dos experimentos, com a Equação 3 (Soares et al., 2011). Cada árvore foi mensurada quanto à sua altura total, DAP, diâmetro e comprimento das seções da árvore nas seguintes porcentagens de altura 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 e 95 %.

$$V = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A+a}{2} \right) * L \quad \text{Equação 3.}$$

Em que V é o volume do tronco; A é a área transversal da seção maior; “a” é a área transversal da seção menor; L é o comprimento da seção e “n” é o número de seções.

Com os valores de volume de tronco ao longo dos 5 anos de idade dos povoamentos, ajustou-se modelos de regressão não linear para a obtenção da curva de produção da floresta. Os modelos que melhor se ajustaram aos dados de volume de tronco foram: $y=a/(1+\exp(b-cx))^{1/d}$ (Richards) e $y=a*\exp(-\exp(b-cx))$ (Gompertz), para os experimentos de Alto Fuste e Talhadia respectivamente. Para determinar qual modelo se ajustou melhor aos dados foram estimadas as seguintes estatísticas: coeficiente de correlação linear entre produções estimadas e observadas (r_{yy}), raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEM), viés – desvio sistemático (Bias) e erro relativo percentual (ER % médio).

As árvores abatidas aos 60 meses tiveram seus componentes (folhas, casca, galhos e lenho) separados e pesados em campo. Posteriormente, uma subamostra foi retirada de cada componente para determinação da massa de matéria seca e determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S.

As amostras de material vegetal foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 70 ° C até atingirem peso constante. Posteriormente, foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de abertura de 1 mm e 0,5 g de material seco e moído foram submetidos a digestão nítrico-perclórica (EMBRAPA, 2009) para, então, se determinar, nos extratos, os teores dos macronutrientes por ICP-OES (espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado). Para a determinação do nitrogênio total nos componentes da planta procedeu-se a digestão sulfúrica e posterior destilação do N em destilador semimicro Kjeldahl (EMBRAPA, 2009).

2.3 Coleta e análise de solo

A amostragem do solo foi realizada ao final do experimento (60 meses) nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm com auxílio de trado tipo sonda (Sondaterra). Em cada UE e camada foi obtida uma amostra composta, originária de 10 amostras simples (5 coletadas na linha de plantio e 5 na entre linha de plantio). Após a coleta, as amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente, as amostras de TFSA foram submetidas à análise química para determinação do pH em água e em CaCl_2 , H^+Al (Quaggio e Raij, 2001), Al^{3+} (Cantarella et al., 2001), macronutrientes (K, P, Ca e Mg extraídos com resina) (Raij e Quaggio, 2001) e S (Cantarella e Prochnow, 2001).

A análise de carbono orgânico total do solo (COT) foi realizada por via úmida conforme Yeomans e Bremner (1988) e o nitrogênio total (NT) pelo método adaptado Bremner e Mulvaney (1982) e Tedesco et al., (1995), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Além disso, foi realizado o fracionamento físico (granulométrico) da matéria orgânica do solo em matéria orgânica particulada (MOP; >53 μm) e matéria orgânica associada aos minerais (MAM; <53 μm) (Cambardella e Elliot, 1992). Posteriormente, as amostras de MOP e MAM foram submetidas a determinação dos teores de COT e NT, conforme descrito no parágrafo anterior nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

A determinação dos teores dos macronutrientes nas camadas de solo amostradas foram utilizados para calcular os estoques dos nutrientes no solo, segundo a Equação 4 expressa abaixo.

$$ES = tNu \times ECs \times DS \quad \text{Equação 4.}$$

Em que, ES é estoque do nutriente na camada de solo (C em Mg ha^{-1} ; demais macronutrientes em kg ha^{-1}); tNu é o teor do nutriente na camada de solo (g dm^{-3}); ECs é o volume de solo contido na camada de solo (dm^3); DS é a densidade do solo (kg dm^{-3}).

Em função do espaçamento e da fertilização utilizada, os resultados de estoque de nutrientes no solo e de C e de N nas frações da MOS apresentados ao longo deste trabalho correspondem a média ponderada das amostras de solo da linha e entre linha, na proporção 1/3 do volume de solo para a linha e 2/3 para a entre linha.

2.4 Eficiência de uso dos nutrientes

A eficiência de uso dos nutrientes absorvidos pelas plantas foi estimada por meio do coeficiente de utilização biológica (CUB; Mg Mg^{-1}), Equação 5, para o lenho (Barros et al., 1986).

$$CUB = \frac{MS}{cNu} \quad \text{Equação 5.}$$

Em que, MS é a massa de matéria seca do lenho (Mg); cNu é o conteúdo do nutriente no lenho (Mg).

2.5 Taxa de recuperação aparente

A taxa de recuperação aparente dos nutrientes pela árvore foi estimada por meio da Equação 6.

$$TRA = \frac{(cNu_{CF} - cNu_{SF})}{dNu} \times 100 \quad \text{Equação 6.}$$

Em que, TRA é a taxa de recuperação do nutriente pela árvore; cNu_{CF} é o conteúdo do nutriente na árvore nos tratamentos com fertilização (kg); cNu_{SF} é o conteúdo do nutriente na árvore nos tratamentos sem fertilização (kg); dNu é a dose do nutriente aplicado (kg).

2.6 Coleta e análise do litterfall

As amostras de litterfall foram coletadas mensalmente, a partir dos 25 meses de idade até os 60 meses, por meio de um coletor de tela de nylon (malha de 2 mm de abertura) com área de 9 m², suspenso a aproximadamente 1 m da superfície do solo. Os materiais retidos nos coletores foram separados em folhas e galhos (quando presentes), a partir dos 45 meses de idade dos povoamentos. Após a coleta, todo o litterfall foi pesado e uma subamostra retirada para secagem (65° C até peso constante) e determinação da massa de matéria seca (MS). As amostras secas foram posteriormente trituradas em moinho de facas (tipo Wiley) e submetidas a análise de macronutrientes, conforme procedimentos descritos anteriormente para o material vegetal, obtendo-se o teor e conteúdo de nutrientes presentes no litterfall coletados mensalmente entre 2016 e 2018.

2.7 Liberação de nutrientes do resíduo da colheita e do litter

A liberação dos nutrientes do resíduo da colheita e litter presentes no início da rotação e, do material de folhas e galhos do novo litter da rotação corrente aportado via litterfall ao longo da rotação foram estimados por meio do modelo exponencial proposto por Olson (1963) Equação 7.

$$X = X_0 e^{-kt} + \varepsilon \quad \text{Equação 7.}$$

Em que X é a massa de matéria seca remanescente ou o conteúdo de determinado nutriente após um período t; X_0 é a massa de matéria seca inicial ou o conteúdo inicial de determinado nutriente; k é a constante de decomposição ou de liberação do nutriente.

Utilizando modelos de regressão previamente estudados para a decomposição dos resíduos de colheita e do litter na mesma região do presente estudo (Mendes, 2017) foi possível estimar o parâmetro X de massa seca remanescente e nutrientes liberados para os componentes do resíduo da colheita e litter (Material Suplementar 1). Para a estimativa da decomposição e liberação de nutrientes do litter foram utilizados os modelos de regressão ajustados para a folha e galho apenas.

2.8 Acúmulo dos macronutrientes na planta

As demandas dos nutrientes pelos povoamentos de eucalipto foram estimadas pela determinação dos conteúdos de nutrientes presentes nos componentes da parte aérea da planta (folhas, casca, galhos e lenho) aos 60 meses de idade. As quantidades dos nutrientes acumulados nas raízes foram estimadas com base na partição relativa dos nutrientes para as raízes em relação ao total acumulado pelas plantas de eucalipto em área experimental vizinha, e levando em consideração os respectivos níveis de adubação (tratamentos SA, AR e AP) (Barros, 2019).

Para estimar o acúmulo (demanda) dos macronutrientes pela planta foram usados modelos e equações a fim de obter as informações que não foram mensuradas em campo. Os procedimentos realizados estão apresentados abaixo:

i) Foi calculada a proporção de massa de tronco em relação a massa de parte aérea total (Pr) da árvore de eucalipto em função da idade do povoamento. Esta relação percentual foi obtida por meio da Equação 8. Esta equação foi construída com dados provenientes de experimentos de campo e povoamentos comerciais com espécies no gênero *Eucalyptus* em 23 municípios do Brasil, abrangendo as regiões norte, sudeste, centro-oeste e sul (Valadares, 2015).

$$Pr = \frac{89,152}{1+3,954e^{-0,093t}} \quad \text{Equação 8.}$$

Em que t é a idade do povoamento florestal em meses.

ii) Os dados de produção volumétrica ($m^3 \text{ ha}^{-1}$) de tronco dos experimentos obtidos por meio dos inventários aos 17, 34, 43 e 57 meses realizado nas unidades experimentais do presente estudo foram transformados em massa de tronco ($Mg \text{ ha}^{-1}$), multiplicando o volume pela densidade do tronco. Em seguida, a massa da parte aérea foi estimada dividindo-se a massa de tronco pelo Pr calculado através da equação 8.

iii) Para estimar a proporção de raiz (Pr_{raiz}) em relação à massa da PA em função da idade (tempo) após o plantio/condução do eucalipto, foi utilizado a Equação 9 ajustada por Mayrink (2017), a qual prevê essa relação ao longo do ciclo da cultura. O valor obtido pela Equação 9 foi multiplicado pela massa da PA para a obtenção da massa de raiz ($Mg\ ha^{-1}$).

$$Pr_{raiz} = 0,141 + (0,315e^{-0,408t}) \quad \text{Equação 9.}$$

Em que t é a idade do plantio florestal em anos.

iv) De posse dos dados de massa da PA e R das árvores ($Mg\ ha^{-1}$) aos 17, 34, 43 e 57 meses (2015 a 2018) foi possível ajustar uma equação ao longo do tempo (Equação 10), com base na qual foram geradas estimativas da produtividade a cada três meses, estendendo-se até dezembro de 2018 (término do experimento).

$$P = \frac{a}{(1+e^{-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)})} \quad \text{Equação 10.}$$

Em que P é a biomassa total da planta; t é a idade do plantio florestal em anos.

v) As curvas de demanda dos macronutrientes foram estimadas multiplicando-se a produção da PA e R pelo teor de cada nutriente na matéria seca da planta, obtidos por meio da análise química do tecido vegetal dos componentes das árvores cubadas ao final dos experimentos. No presente estudo, foi assumido que os teores dos nutrientes nos componentes da planta não variaram ao longo do tempo e que as proporções dos componentes da PA da planta (folhas, casca, galhos e lenho) se mantiveram constantes no decorrer do período estudado.

2.9 Balanço de nutrientes

O balanço de nutrientes foi calculado considerando os estoques de nutrientes presentes no solo, no litter e na parte aérea das árvores de eucalipto. O balanço nutricional foi obtido pela Equação 11 (Zaia e Gama-Rodrigues, 2004).

$$BN = \text{Solo} - (\text{Parte aérea} + \text{Litter}) \quad \text{Equação 11.}$$

Em que BN é o balanço de nutrientes; Solo é o estoque de nutrientes na camada de 0-60 cm (kg ha^{-1}); Parte aérea é o conteúdo de nutrientes na biomassa da planta acima do solo (kg ha^{-1}); Litter é o conteúdo de nutrientes contido na massa de litter não decomposta.

2.10 Análises estatística

Os dados de produtividade, massa de matéria seca das árvores, conteúdo dos nutrientes nos componentes das árvores e no litterfall, estoque de nutrientes no solo, estoque de C e N na MOP, MAM, solo e coeficiente de utilização biológico foram submetidos a análise das pressuposições da estatística paramétrica por testes normalidade e homogeneidade de variância. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo teste F ao nível de 10 % de probabilidade e as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 10 % de probabilidade utilizando o software R[®].

3 RESULTADOS

Produção de tronco do povoamento

As curvas de produção de tronco dos povoamentos de eucalipto na área experimental indicam que no experimento em Alto Fuste os tratamentos AP e AR promoveram os maiores ganhos em volume de tronco do início ao final da rotação (Figura 3a); esses volumes de madeira foram comparativamente ao tratamento SA, cerca de 12 % maiores (final do período de avaliação). No experimento em Talhadia, foi observado o mesmo comportamento da curva de produção de tronco, sendo que os tratamentos AP e AR apresentaram valores cerca de 22 % maiores que o tratamento SA ao final da rotação (Figura 3b).

A produção de tronco do povoamento aos 5 anos de idade, no experimento de Alto Fuste, não foi influenciada pela adubação (Figura 3a), tendo o povoamento em solo com AP maior IMA (5 anos) sendo $45,13 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Tabela 5). Contudo, para o povoamento em Talhadia foi observado efeito significativo da adubação, sendo AR e AP os que promoveram maiores volumes de tronco (Figura 3b), atingindo IMA (5 anos) de $48,90$ e $48,73 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e não diferindo entre si respectivamente (Tabela 5). No entanto, a AR foi a que levou a produção de maior volume de tronco no final da rotação.

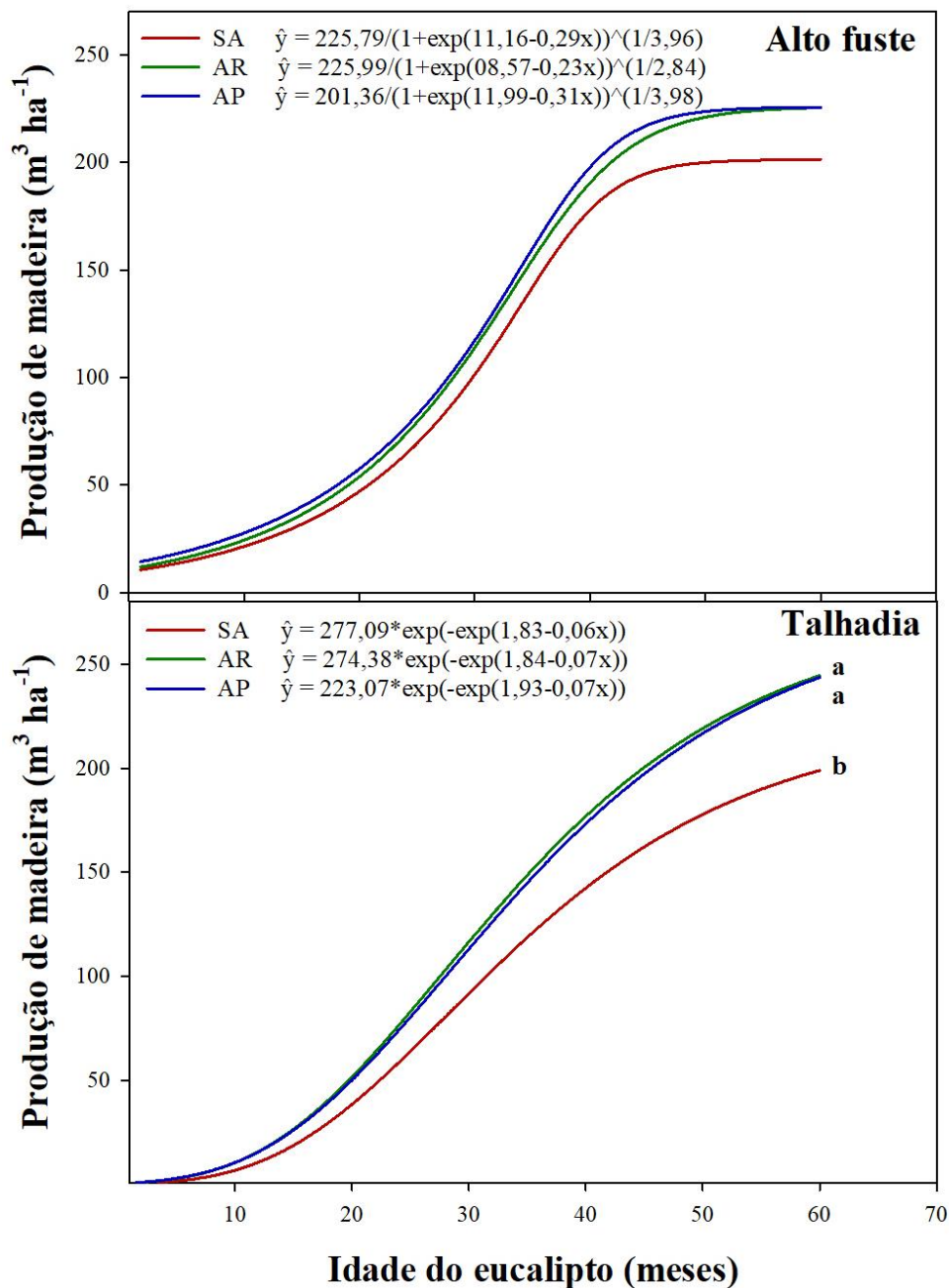


Figura 3. Curva de produção de tronco nos experimentos em Alto Fuste (3a) ou Talhadia (3b) sob distintos regimes de fertilização (SA: sem adubação; AR: adubação de reposição; AP: adubação potencial) para o período de 5 anos. A análise de variância foi realizada para os dados obtidos aos 5 anos de idade da floresta. Médias seguidas por mesma letra não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,10$). Médias sem letra não diferem entre os tratamentos pelo teste F ($p > 0,10$)

Tabela 5. Incremento médio anual (IMA; m³ ha⁻¹ ano⁻¹) aos 5 anos de idade e sobrevivência relativa (%) aos 57 meses de idade de povoamentos de eucalipto em Alto Fuste e Talhadia e com distintos regimes de fertilização (SA: sem adubação; AR: adubação de reposição; AP: adubação potencial)

	Alto Fuste		
	SA	AR	AP
	Fertilizações		
IMA (5 anos)	40,26	45,09	45,13
Sobrevivência	80,55	81,94	78,47
	Talhadia		
	SA	AR	AP
	Fertilizações		
IMA (5 anos)	39,79	48,90	48,73
Sobrevivência	83,68	88,88	90,63

Aos 57 meses de idade dos povoamentos observou-se que no experimento em Alto Fuste o tratamento AR, conferiu maior porcentagem de sobrevivência às árvores (81,94 %), seguida por SA (80,55 %) e AP (78,47 %) (Tabela 5). No experimento em Talhadia a maior porcentagem de sobrevivência foi observada no povoamento que recebeu o tratamento AP (90,63 %), seguida por AR (88,88 %) e SA (83,68 %) (Tabela 5).

Massa de matéria seca e conteúdo de nutrientes na planta

Na distribuição relativa da massa entre os diversos componentes da parte aérea (PA; folhas, galhos, casca, lenho) nas plantas do experimento em Alto Fuste, observou-se que a maior proporção foi alocada no lenho (SA: 77,05 %; AR: 75,66 %; AP: 75,80 %), seguido por raiz (SA: 8,26 %; AR: 9,91 %; AP: 8,26 %), casca (SA: 7,59 %; AR: 6,35 %; AP: 6,57 %), galhos (SA: 4,85 %; AR: 5,31 %; AP: 6,87 %) e folhas (SA: 2,24 %; AR: 2,77 %; AP: 3,73 %) (Figura 4a). Nas plantas do experimento em Talhadia a maior proporção de massa de matéria seca, também foi observada no lenho (SA: 76,15 %; AR: 75,59 %; AP: 76,71 %), seguindo a ordem de raiz (SA: 8,26 %; AR: 9,91 %; AP: 8,26 %), galhos (SA: 6,63 %; AR: 5,90 %; AP: 6,28 %), casca (SA: 5,76 %; AR: 5,43 %; AP: 5,84 %) e folhas (SA: 3,21 %; AR: 3,17 %; AP: 2,91 %).

A produção de matéria seca da parte aérea e seus componentes e das raízes (R) não foram influenciados pelos níveis de adubação no experimento em Alto Fuste (Figura 4a). Contudo, foram observadas diferenças substanciais entre os tratamentos quanto ao conteúdo de N e de Ca nas raízes, os quais foram maiores nas plantas dos tratamentos AR e AP, não

diferindo entre si (Figura 5a e 5e). A ordem de acumulação de nutrientes nas plantas do povoamento em Alto Fuste foi: Ca > N > K > Mg > P > S para todas as fertilizações.

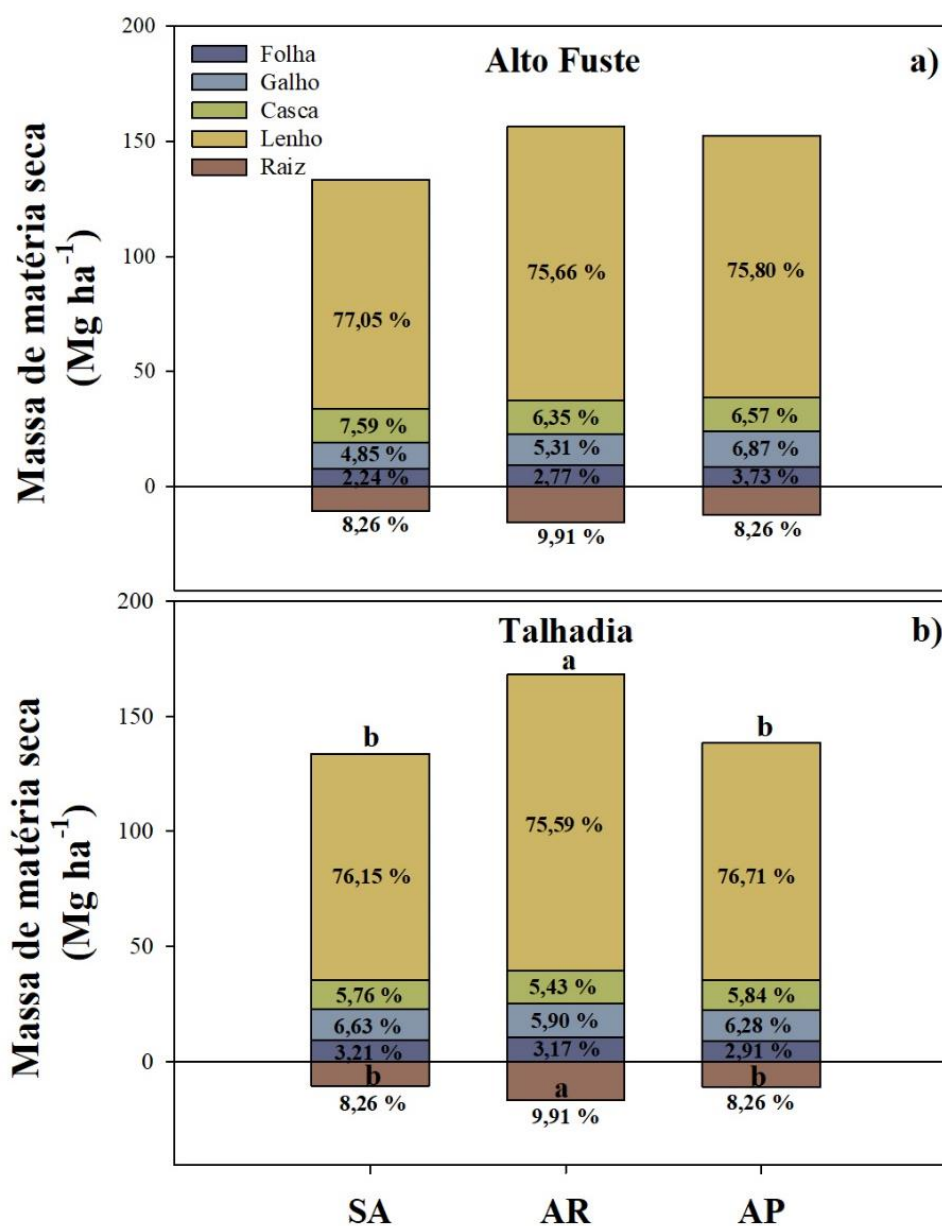


Figura 4. Massa seca dos componentes do eucalipto (folhas, galhos, casca e lenho) nos experimentos em Alto Fuste (a) ou Talhadia (b) e sob diferentes regimes de fertilização aos 5 anos de idade. A massa de raiz foi estimada a partir da proporção R:PA obtida em área experimental vizinha ao presente estudo com povoamento de eucalipto. Médias seguidas por mesma letra não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,10$) para os valores de massa seca da parte aérea (somatório da massa de matéria seca de folhas, galhos, casca e lenho) ou de raízes. A ausência de letras sob as médias indica não diferença pelo teste F ($p > 0,10$)

Já no experimento de Talhadia, foi observado efeito dos níveis de adubação no incremento em massa da PA e R (Figura 4b), sendo o tratamento AR o responsável pela maior massa nos compartimentos da árvore. A comparação para cada componente da PA entre os tratamentos não revelou diferença pelo teste F ($p > 0,10$), exceto para massa de lenho.

Em geral, a maioria dos conteúdos dos macronutrientes na PA e R apresentaram diferença pelo teste F ($p > 0,10$), seguindo os conteúdos de P, K, Ca e Mg a mesma tendência observada para a massa de matéria seca, sendo o tratamento AR o responsável pelos maiores valores de conteúdo (Figuras 5b, 5c, 5d, 5e). Similar efeito foi observado nas raízes, à exceção do conteúdo de K que foi maior nas plantas dos tratamentos AP e AR (Figura 5c). Os conteúdos de N e S na PA não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, no entanto o N nas raízes das plantas do tratamento AR foram maiores que nos demais (Figura 5a). A ordem de acumulação de nutrientes nas plantas do experimento em Talhadia foi: $Ca > K > N > Mg > P > S$ para todos os tratamentos.

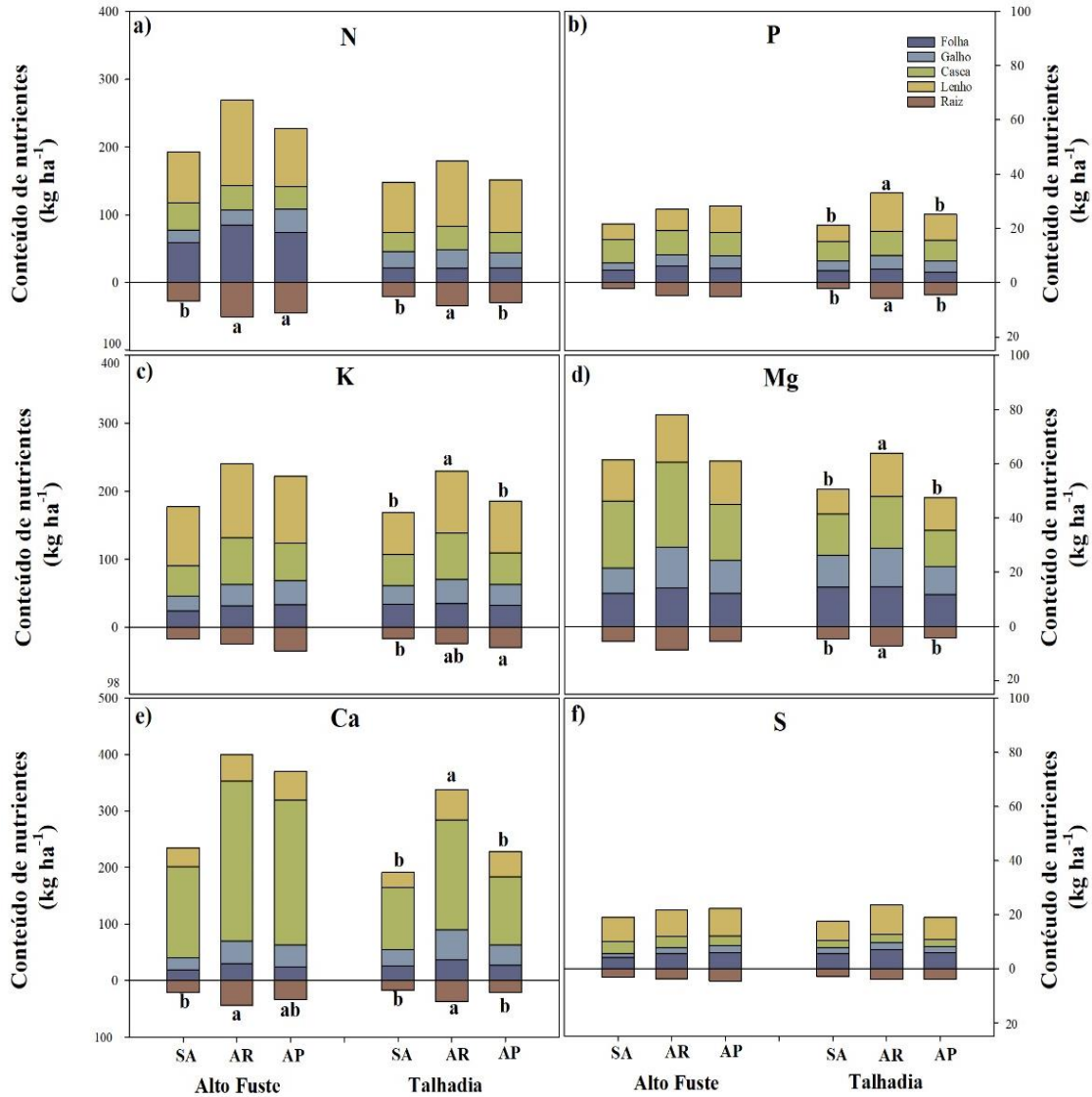


Figura 5. Conteúdo dos nutrientes N (a), P (b), K (c), Ca (e), Mg (d) e S (f) nos componentes do eucalipto (folhas, galhos, casca e lenho) nos experimentos em Alto Fuste e Talhadia e sob diferentes regimes de fertilização aos 5 anos de idade. O conteúdo de nutrientes na raiz foi estimado a partir da proporção R:PA obtida em área experimental vizinha ao presente estudo com povoamento de eucalipto. Médias seguidas por mesma letra não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,10$) para os valores de conteúdo de nutrientes na parte aérea (somatório da massa de matéria seca de folhas, galhos, casca e lenho) ou de raízes. A ausência de letras sob as médias indica não diferença pelo teste F ($p > 0,10$)

Coefficiente de utilização biológica (CUB)

A eficiência de produção de lenho por unidade nutriente, dada pelo CUB (coeficiente de utilização biológica) para os macronutrientes avaliados estão apresentados na Tabela 6. Observa-se que esta variável foi pouco influenciada pelos níveis de adubação, havendo

Deposição de litterfall

a) Povoamento em Alto Fuste

De modo geral, no experimento em Alto Fuste a maior deposição de litterfall ocorreu nos períodos com menor precipitação pluviométrica e temperaturas mais amenas em 2016 e 2018 (3 e 5 anos de idade), entre os meses de abril a setembro (período seco) (Figuras 6a). Observou-se que em 2017 (4 anos de idade), a deposição foi mais constante durante o ano. Contudo, fugindo ao padrão observado, no mês de janeiro de 2018 (5 anos de idade), houve grande aporte de litterfall justamente quando houve elevada precipitação (Figura 6).

Na média de avaliações dos três anos, durante os meses do período seco, nos tratamentos SA, AR e AP ocorreram a queda, respectivamente de 57 %, 50 % e 56 % de todo litterfall produzido. O período de menor deposição de litterfall, em geral, ocorreu no período chuvoso, com elevadas temperaturas, correspondendo aos meses de outubro a março, independentemente do tratamento (Figura 6).

Nota-se neste experimento, que apesar de algumas variações mensais, a deposição anual de litterfall aumentou ao longo dos anos, mas foi semelhante entre os tratamentos, sendo de: 2,16, 2,47 e 2,47 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no terceiro ano de idade, de 3,18, 3,17 e 3,22 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no quarto ano de idade e de 4,55, 5,07 e 4,99 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no quinto ano de idade para os tratamentos SA, AR e AP, respectivamente.

A quantidade média de litterfall acumulada ao longo dos três anos de avaliação, considerando as diferentes épocas de coleta, nos tratamentos SA, AR e AP foi de 9,90, 10,72 e 10,69 Mg ha⁻¹, respectivamente. De acordo com o teste F ($p > 0,10$), não houve diferença entre os tratamentos (Figura 6b e Tabela 7).

Embora os teores dos macronutrientes na massa de litterfall depositada mensalmente tenham sido analisados e posteriormente calculado o conteúdo de nutrientes, a análise estatística foi realizada apenas nos valores de conteúdo de nutrientes acumulados ao final do período experimental. Não houve diferença (teste F; $p > 0,10$) para o conteúdo dos macronutrientes no litterfall acumulado, exceto para K, que foi menor no litterfall do tratamento sem adubação. Observou-se que o conteúdo dos nutrientes no litterfall, obedeceu a seguinte ordem: N > Ca > K > Mg > S > P em todos os tratamentos analisados (Tabela 7).

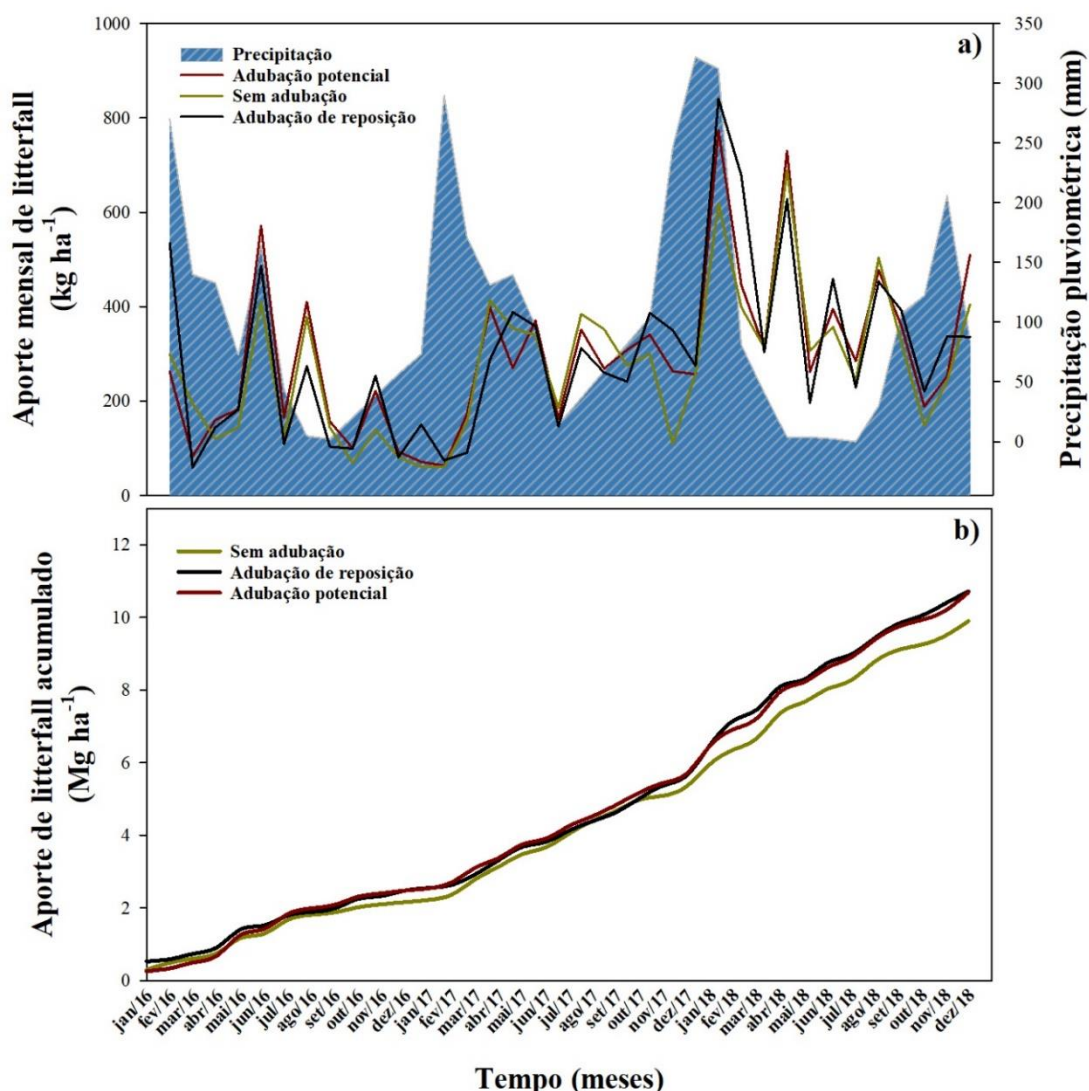


Figura 6. Precipitação na área experimental e média da massa de litterfall aportada mensalmente (6a) e média acumulada da massa de letterfall aportada mensalmente (6b) no experimento em Alto Fuste. A ANOVA foi realizada com os dados de massa total acumulada de litterfall aportado durante os três anos de coleta, do terceiro ao quinto ano de idade do povoamento. De acordo com o teste F ($p > 0,10$), não houve diferença entre os tratamentos de fertilização

Tabela 7. Média da massa de matéria seca e conteúdo de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) do litterfall acumulado ao longo de três anos, do terceiro ao quinto ano de idade da floresta (2016 a 2018) no experimento de fertilização (SA: sem adubação; AR: adubação de reposição; AP: adubação potencial) em regime de corte Alto Fuste

Fertilizações	Massa Mg ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
		N	P	K	Ca	Mg	S
SA	9,90	81,16	7,06	33,73 b	67,84	25,88	8,33
AR	10,72	83,98	8,69	39,04 ab	75,70	24,46	9,00
AP	10,69	95,30	8,26	42,42 a	70,03	23,67	10,14

Médias com mesma letra em cada coluna não diferem quanto ao regime de fertilização pelo teste Tukey ($p > 0,10$). Médias sem letras, em cada coluna, não diferem pelo teste F ($p > 0,10$)

b) Povoamento em Talhadia

No povoamento em Talhadia, de modo geral, a maior deposição de litterfall, ocorreu, assim como no Alto Fuste, no período seco nos anos de 2016 e 2018 (3 e 5 anos de idade). Em 2017 (4 anos de idade), a deposição manteve-se mais constante ao longo do ano. No entanto, observou-se que no mês de janeiro de 2016 e 2018, houve grande aporte de litterfall, juntamente com elevada precipitação. O mesmo fenômeno aconteceu em março de 2017 (Figura 7a).

Em média nos três anos avaliados, durante os meses do período seco, nos tratamentos SA e AR, ocorreu, respectivamente, a queda de 53 % e 54 % de todo litterfall produzido. No tratamento AP, a queda de litterfall no período chuvoso foi maior (50,5 %). O período de menor deposição de litterfall, em geral, ocorreu no período chuvoso, com elevadas temperaturas, correspondendo aos meses de outubro a março para SA e AR.

Nota-se que na Talhadia, apesar de algumas variações mensais, a deposição anual de litterfall foi semelhante entre os tratamentos, sendo no terceiro ano de idade 4,35, 5,75 e 4,46 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, no quarto ano de idade 4,44, 4,43 e 4,00 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e no quinto ano de idade 6,10, 6,72 e 6,32 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para os tratamentos SA, AR e AP, respectivamente.

A quantidade média de litterfall acumulada ao longo dos três anos de avaliação nos tratamentos SA, AR e AP foi de 14,84, 16,75 e 14,70 Mg ha⁻¹, respectivamente. Entretanto, não houve diferença de acordo com o teste F ($p > 0,10$) (Figura 7b e Tabela 8).

O conteúdo de nutrientes no litterfall acumulado ao final do período de avaliação não apresentou diferença pelo teste F ($p > 0,10$) (Tabela 7). A quantidade de nutrientes ciclados via litterfall obedeceu a ordem: Ca > N > K > Mg > S > P em todos os tratamentos analisados.

Tabela 8. Média da massa de matéria seca e conteúdo de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) do litterfall acumulado ao longo de três anos, do terceiro ao quinto ano de idade da floresta (2016 a 2018) no experimento de fertilização (SA: sem adubação; AR: adubação de reposição; AP: adubação potencial) em regime de corte Talhadia

Fertilizações	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
SA	14,84	94,19	5,62	52,59	104,23	39,87	10,40
AR	16,75	118,30	8,06	69,75	122,47	38,95	13,12
AP	14,70	103,73	6,96	66,88	98,09	33,50	11,46

Médias com mesma letra em cada coluna não diferem quanto ao regime de fertilização pelo teste Tukey ($p > 0,10$). Médias sem letras, em cada coluna, não diferem pelo teste F ($p > 0,10$)

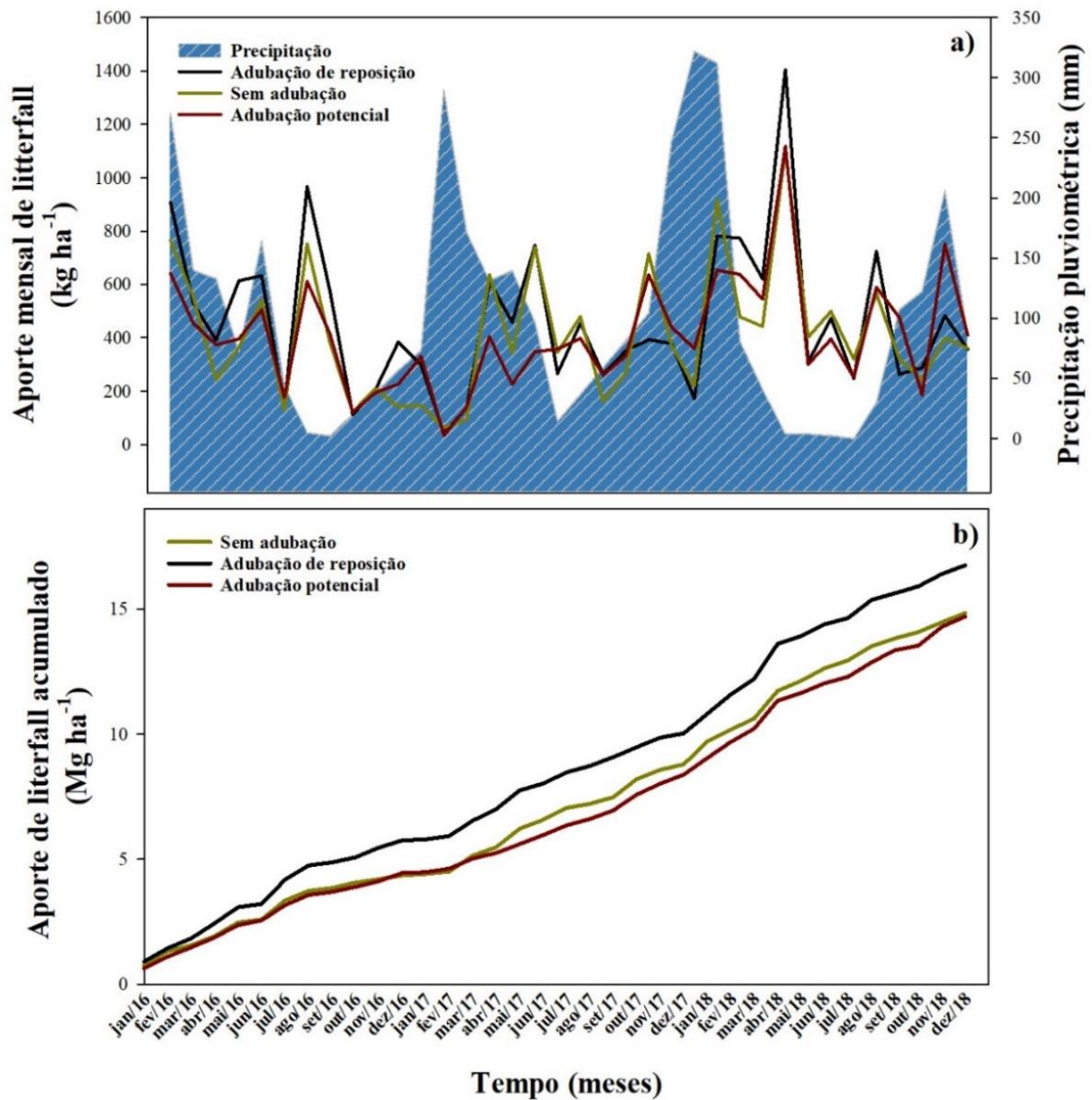


Figura 7. Precipitação na área experimental e média da massa de litterfall aportada mensalmente (7a) e média acumulada da massa de letterfall aportada mensalmente (7b) no experimento em Talhadia. A ANOVA foi realizada com os dados de massa total acumulada de litterfall aportado durante os três anos de coleta, do terceiro ao quinto ano de idade do povoamento. De acordo com o teste F ($p > 0,10$), não houve diferença entre os tratamentos de fertilização

Estoques de C, N, P, K, Ca, Mg e S no solo

No experimento em Alto Fuste as variações no estoque de C do solo foram influenciadas pela adubação apenas na camada de 0-20 cm, sendo os solos dos tratamentos SA e AR os responsáveis pelos maiores incrementos em C no solo (Figura 8e). Nas frações da MOS houve diferença apenas na fração MAM, em todas as camadas avaliadas, onde de modo geral, o solo do tratamento AR apresentou o maior estoque de C (Figura 8c).

Para o estoque de NT no solo e nas frações da MOS, não houve efeito dos níveis de adubação sobre os tratamentos, exceto na profundidade de 0-10 cm, no qual o solo do tratamento AR apresentou valor de NT superior aos dos demais tratamentos, tanto na MOP quanto no solo (Figuras 8b e 8f).

No experimento em Talhadia as variações nos estoques de COT do solo e nas frações MOP e MAM, em geral, se mostraram influenciadas pelos regimes de fertilização (Figuras 9a, 9c e 9e). O estoque de C na MOP foi maior no solo do tratamento SA em todas as camadas estudadas (Figura 9a). Já na fração MAM o maior estoque de C foi observado nos solos dos tratamentos AR e SA nas camadas 10-20 e 0-20 cm, como representado na Figura 9c. O mesmo padrão de incremento de C foi encontrado para todas as camadas do solo, onde os tratamentos AR e SA foram os responsáveis pelos maiores estoques de C, não diferindo entre si (Figura 9e).

Para o estoque de NT no solo e nas frações da MOS, não houve efeito dos níveis de adubação sobre os tratamentos, exceto na camada de 0-20 cm na MOP (Figura 9b), sendo os solos dos tratamentos SA e AP aqueles que apresentaram maiores valores de N nesta fração. O mesmo padrão foi observado no solo na cada de 10-20 cm (Figura 9f).

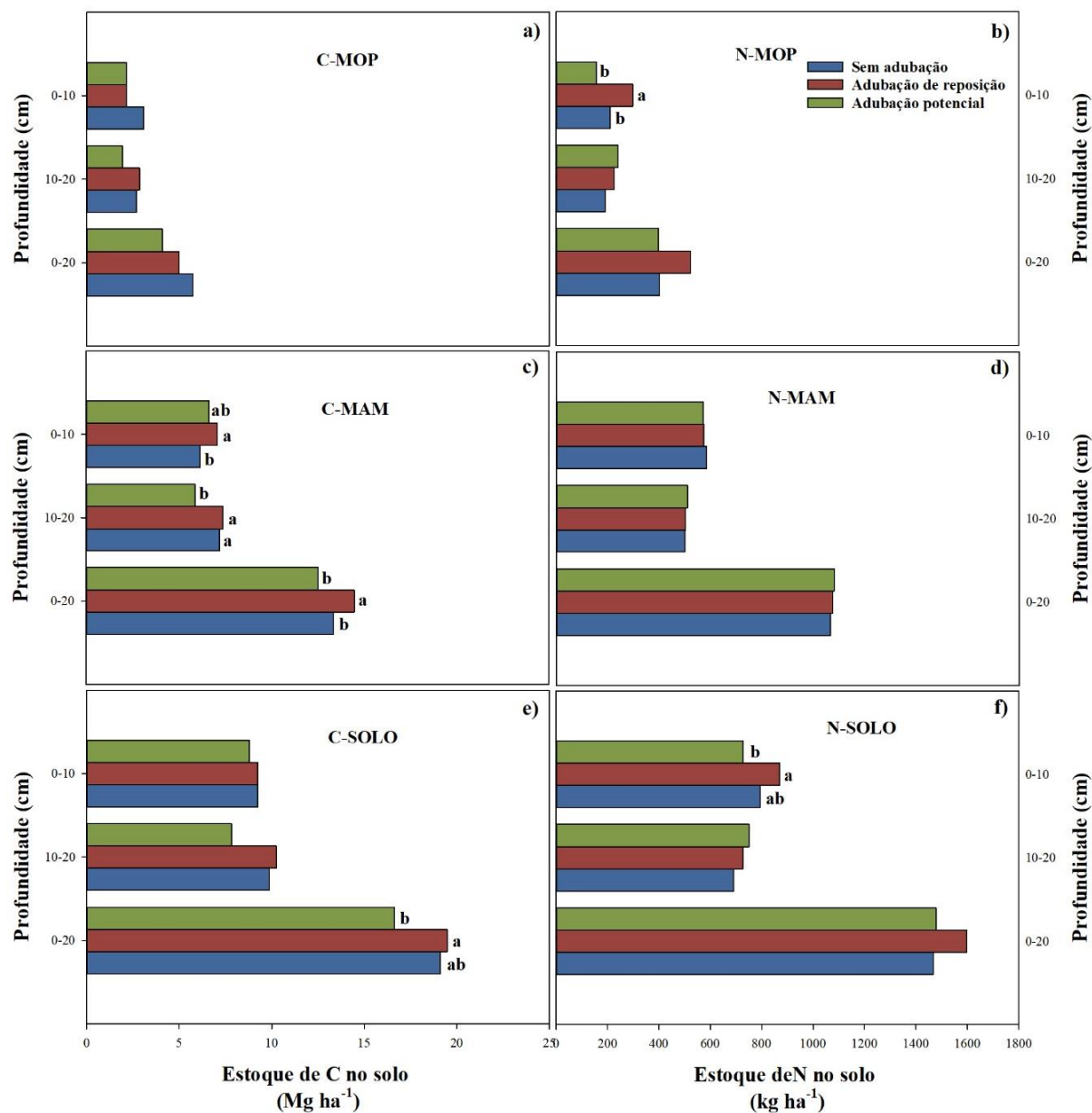


Figura 8. Média dos estoques de C orgânico (8a, 8c, 8e) e N total (8b, 8d, 8f) nas frações da MOS (MOP e MAM) e no solo, nas camadas de 0-10, 10-20 e 0-20 cm, em povoamentos em Alto e sob distintos regimes de fertilização, aos 5 anos de idade. A análise de variância foi realizada comparando os tratamentos em cada camada do solo separadamente. Médias seguidas por mesma letra, dentro de cada camada, não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,10$). A ausência de letras sob as médias, dentro de cada camada, indica que não houve diferenças pelo teste F ($p > 0,10$).

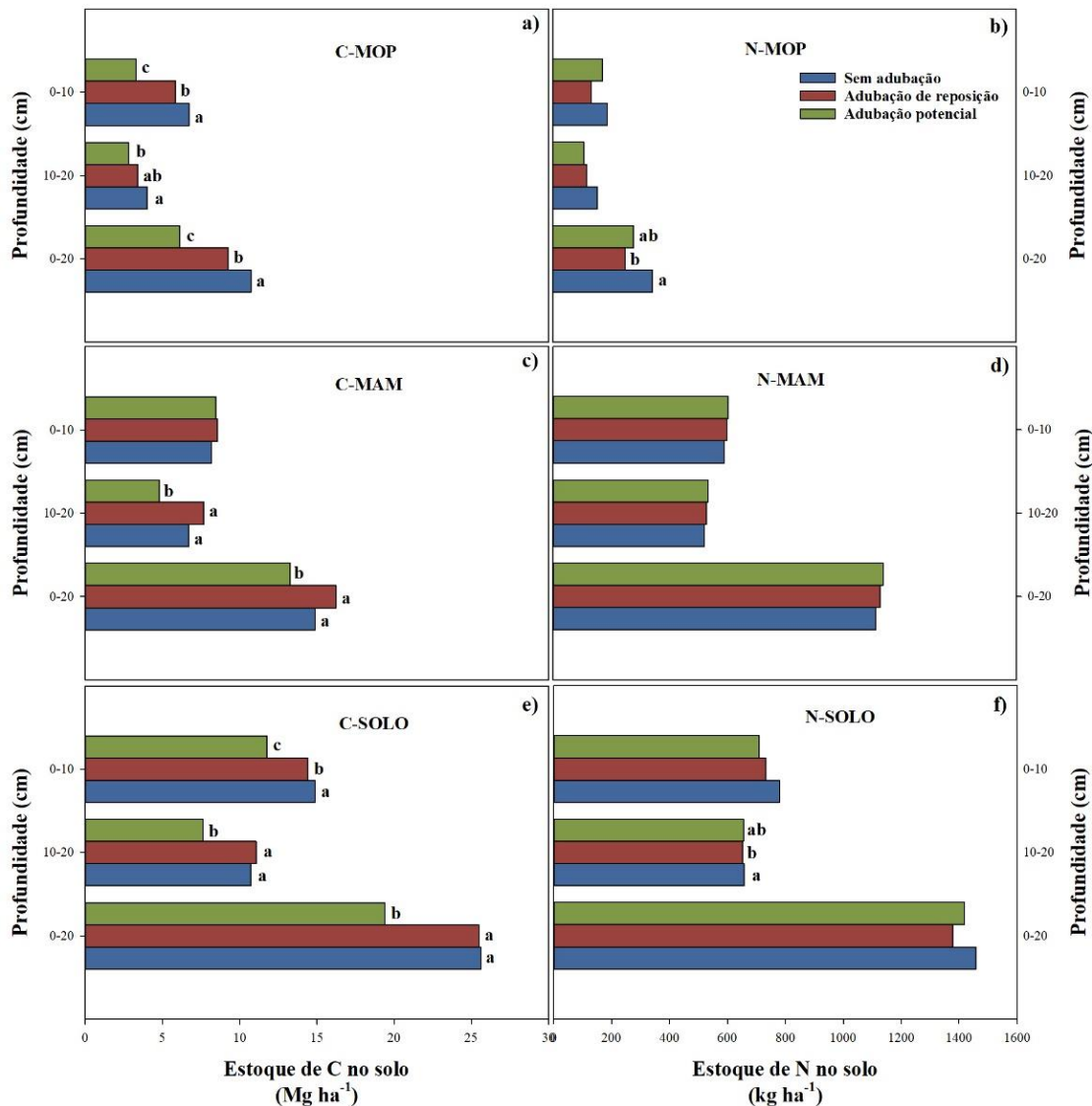


Figura 9. Média dos estoques de C orgânico (9a, 9c, 9e) e N total (9b, 9d, 9f) nas frações da MOS (MOP e MAM) e no solo, nas camadas de 0-10, 10-20 e 0-20 cm, em povoamentos em Talhadia e sob distintos regimes de fertilização, aos 5 anos de idade. A análise de variância foi realizada comparando os tratamentos em cada camada do solo separadamente. Médias seguidas por mesma letra, dentro de cada camada, não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,10$). A ausência de letras sob as médias, dentro de cada camada, indica que não houve diferenças pelo teste F ($p > 0,10$).

Os estoques dos macronutrientes trocáveis ou disponíveis no solo do experimento em Alto Fuste, em geral, não foram influenciados pelo regime de adubação empregado, na maioria das camadas avaliadas, exceto para P e Mg (Figura 10). O estoque de P disponível foi maior no solo do tratamento AP apenas na camada de 20-40 cm (Figura 10b). Já os estoques de Mg trocável nas camadas 20-40, 40-60 e 0-60 cm foram maiores para os solos

dos tratamentos SA e AP (Figura 10f). Os estoques de nutrientes no solo (camada 0-60 cm) do povoamento reformado seguiram a ordem: N total > Ca > Mg > K > P > S para todos os regimes de fertilização.

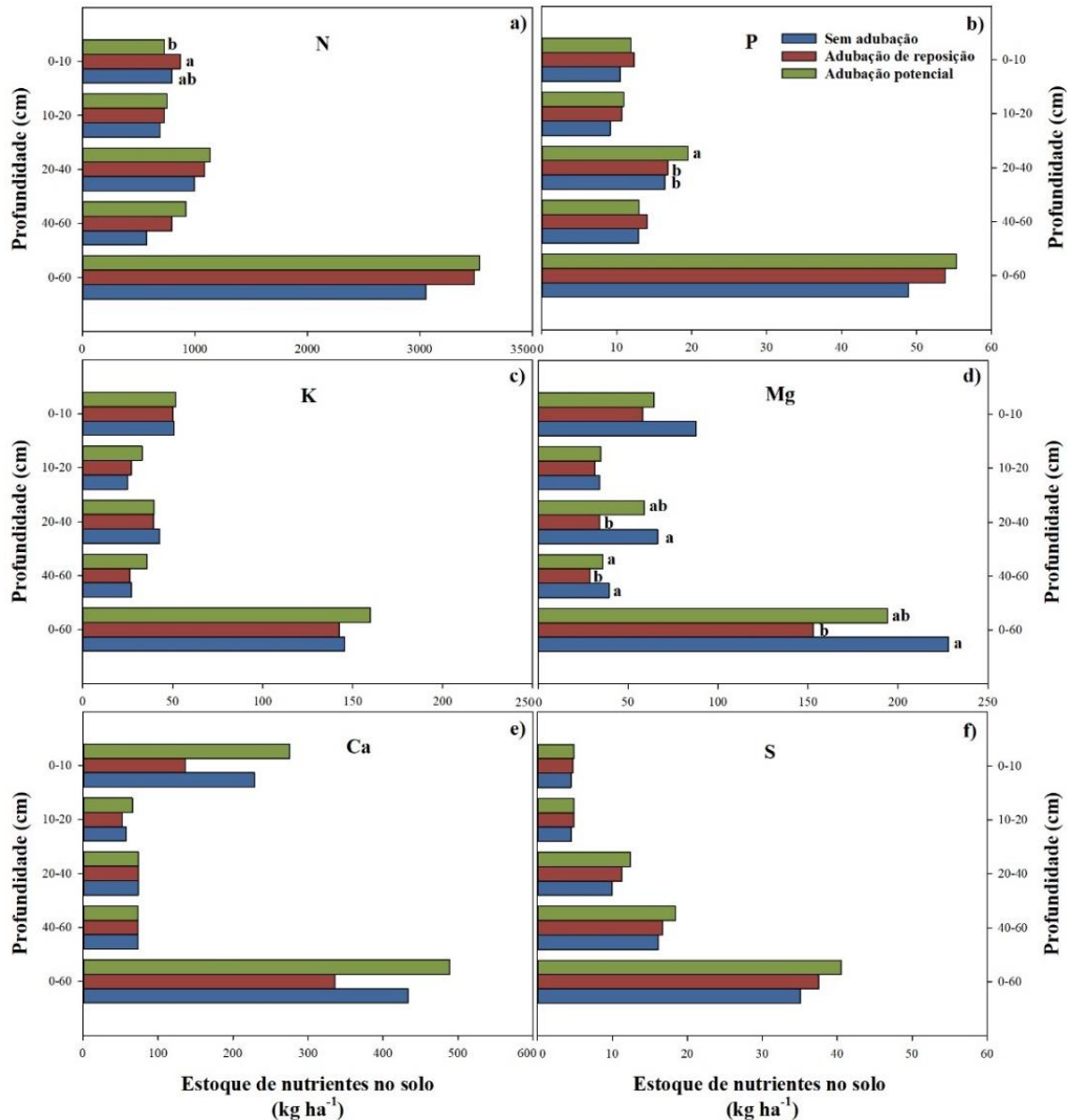


Figura 10. Média dos estoques no solo dos nutrientes N total (a), P (b), K (c), Ca (e), Mg (d) e S (f), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, no povoamento em Alto Fuste e sob distintos regimes de fertilização aos 5 anos de idade. A análise de variância foi realizada comparando os tratamentos em cada camada do solo separadamente. Médias seguidas por mesma letra, dentro de cada camada, não diferem pelo teste Tukey ($p > 0,10$). A ausência de letras sob as médias, dentro de cada camada, indica que não houve diferenças pelo teste F ($p > 0,10$).

Em geral, no experimento de Talhadia, os estoques dos macronutrientes no solo foram influenciados pelos níveis de adubação (camada de 0-60 cm; Figura 11), exceto para o N total e P disponível (Figura 11). Para Ca e Mg trocáveis o tratamento AR foi o responsável pelo maior estoque desses nutrientes no solo (Figuras 11e e 11d), enquanto para o K trocável o maior estoque foi observado no solo do tratamento AP (Figura 11c), e para S foram os tratamentos AP e AR (Figura 11f). Os estoques de nutrientes no solo (camada 0-60 cm) do povoamento conduzido seguiram a ordem: N total > Ca > K > Mg > P > S para todos os tratamentos.

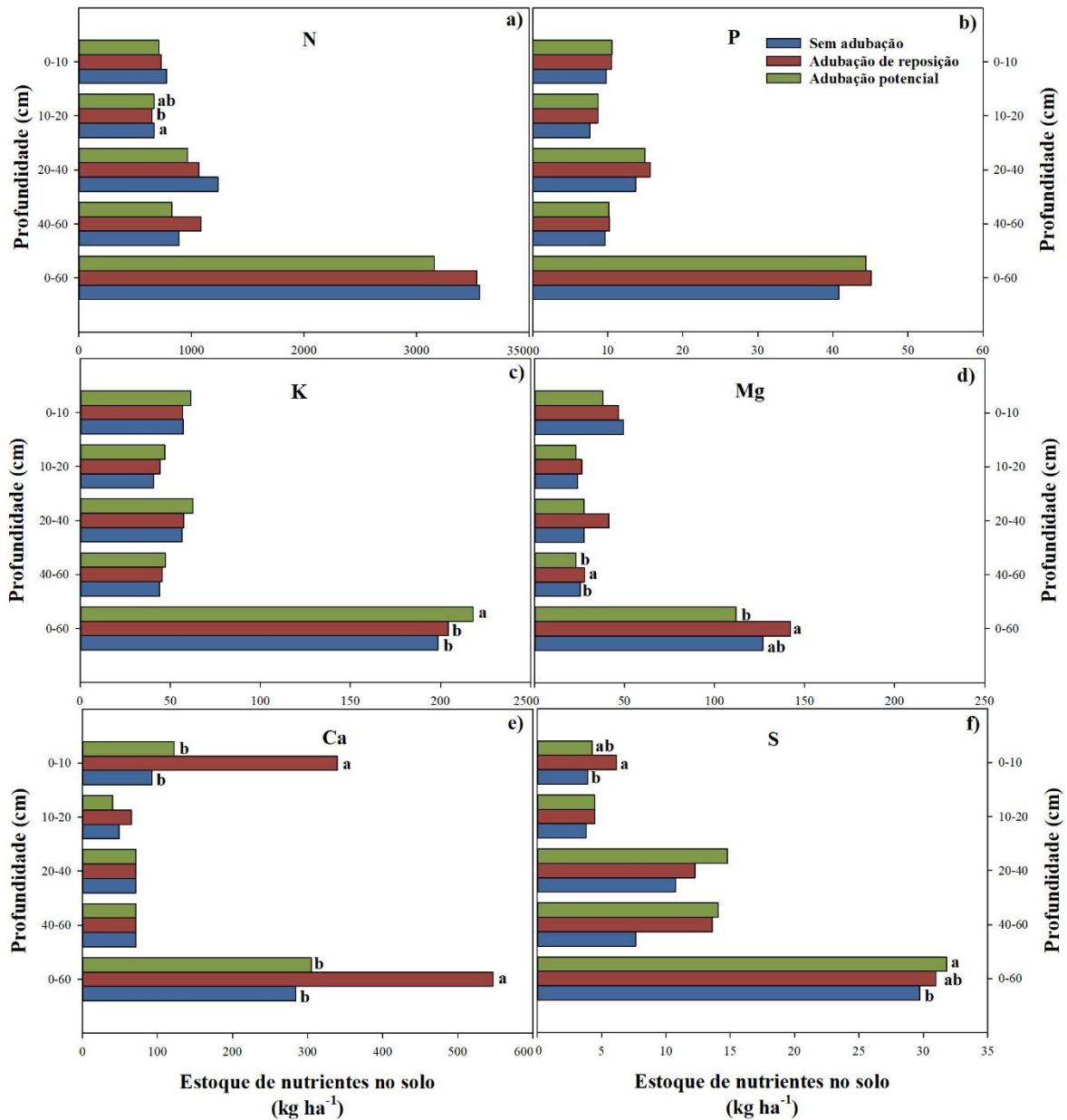


Figura 11. Média dos estoques no solo dos nutrientes N total (a), e P (b), K (c), Ca (e), Mg (d) e S (f), nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, em povoamentos manejados sob Condução e sob distintos regimes de fertilização aos 5 anos de idade. A análise de variância foi realizada comparando os tratamentos em cada camada do solo separadamente. Médias seguidas por mesma letra, dentro de cada camada, não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,10$). A ausência de letras sob as médias, dentro de cada camada, indica diferenças não significativas entre os tratamentos pelo teste F ($p > 0,10$).

Taxa de recuperação aparente dos nutrientes do fertilizante e do corretivo

As taxas de recuperação aparente (TRA) dos nutrientes derivados do fertilizante (N, P, K e S) e do corretivo (Ca e Mg), em geral, tanto no povoamento em Alto Fuste, quanto naquele em Talhadia foram maiores no tratamento AR, exceto P no experimento de Alto Fuste e S na Talhadia (Tabela 8).

Para Mg, a TRA para as plantas no tratamento AP foi negativa (Alto Fuste e Talhadia), indicando que as plantas do tratamento SA acumularam mais Mg em sua biomassa do que no tratamento que recebeu o nutriente via corretivo.

As taxas de recuperação aparente de N, K, Ca e S decresceram 76 %, 72 %, 63 % e 62 % nas plantas do tratamento AP em Alto Fuste, enquanto no povoamento em Talhadia o decréscimo da taxa de recuperação aparente de N, P, K e Ca foi de 95 %, 68 %, 90 % e 88 %. A ordem da TRA para os nutrientes no povoamento em Alto Fuste foi: N > K > Mg > Ca > S > P; e na Talhadia a TRA foi: N > K > Ca > Mg > P > S.

Tabela 8. Taxa de recuperação aparente (TRA; %) de nutrientes dos fertilizantes (N, P, K e S) e corretivo (Ca e Mg) em povoamentos de eucalipto sob distintos regimes de fertilização (AR: adubação de reposição; AP: adubação potencial) e regimes de colheita Alto Fuste ou Talhadia

Alto Fuste						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- TRA (%) -----					
AR	97,1	5,4	46,2	40,9	41,3	9,7
AP	23,2	6,6	13,0	15,1	-0,6	3,7
Talhadia						
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- TRA (%) -----					
AR	56,4	23,7	51,1	28,2	26,1	1,4
AP	2,6	7,7	5,2	3,4	- 2,8	2,6

Taxa de recuperação aparente expressa em percentagem (%) em relação ao tratamento SA, e com a manutenção de todos os resíduos de colheita.

Acúmulo e demanda dos nutrientes na planta

A curva de demanda, cinética de liberação e partição do N na planta estão apresentados na Figuras 12 (Alto Fuste) e Figura 13 (Talhadia).

Para os três regimes de fertilização estudados a demanda de N pela planta atingiu seu ápice aos 2 e 3 anos de idade da floresta para os povoamentos em Alto Fuste e Talhadia, respectivamente.

Nos povoamentos em Alto Fuste (Figura 12) percebe-se que a liberação inicial de N do resíduo da colheita e as duas primeiras adubações de cobertura com fertilizante nos tratamentos AR (Figura 12c) e AP (Figura 12d) coincidiram com o aumento da demanda do nutriente pela planta. Comparativamente ao tratamento SA (Figura 12a) as plantas desses tratamentos apresentaram demandas 28 e 17 % maiores, respectivamente. No tratamento AP, a aplicação adicional de fertilizante aos 18 meses, foi realizada próximo ao ápice da demanda de N, e mesmo sendo uma quantidade elevada de N a planta foi capaz de absorvê-la (Figura 12f). Contudo, o tratamento que apresentou maior acúmulo de N na planta foi o tratamento AR, que acumulou em sua biomassa N derivado do resíduo da colheita, do fertilizante e do solo em quantidades semelhantes (Figura 12d). Porém a quantidade de N advinda do solo foi menor que no tratamento SA.

Na Talhadia, assim como no Alto Fuste, a liberação inicial de N do resíduo da colheita e as aplicações de fertilizantes nos tratamentos AR (Figura 13c) e AP (Figura 13d), coincidiram com o aumento da demanda do nutriente pela planta, comparativamente àquelas plantas do tratamento SA (Figura 13a). A demanda de N pelas plantas do tratamento AR foi 14 % maior, enquanto no tratamento AP, as plantas apresentaram praticamente a mesma demanda daquelas do SA. O tratamento com maior acúmulo de N na planta no experimento de Talhadia também foi o AR (Figura 13d). Contudo, diferentemente do experimento em Alto Fuste, as plantas do tratamento AP da Talhadia (Figura 13f), não foram capazes de acumular em sua biomassa todo o N fornecido via resíduo de colheita e fertilizante, podendo esse N ter sido perdido ou ter sido incorporado a frações orgânicas e inorgânicas de N no solo.

A liberação de N do litter, que corresponde ao N ciclado pela planta, iniciou-se no período próximo ao ápice da demanda do nutriente pela planta nos três tratamentos de fertilização avaliados, tanto para o experimento em Alto Fuste (Figuras 12a, 12c e 12e) quanto para a Talhadia (Figuras 13a, 13c, 13e).

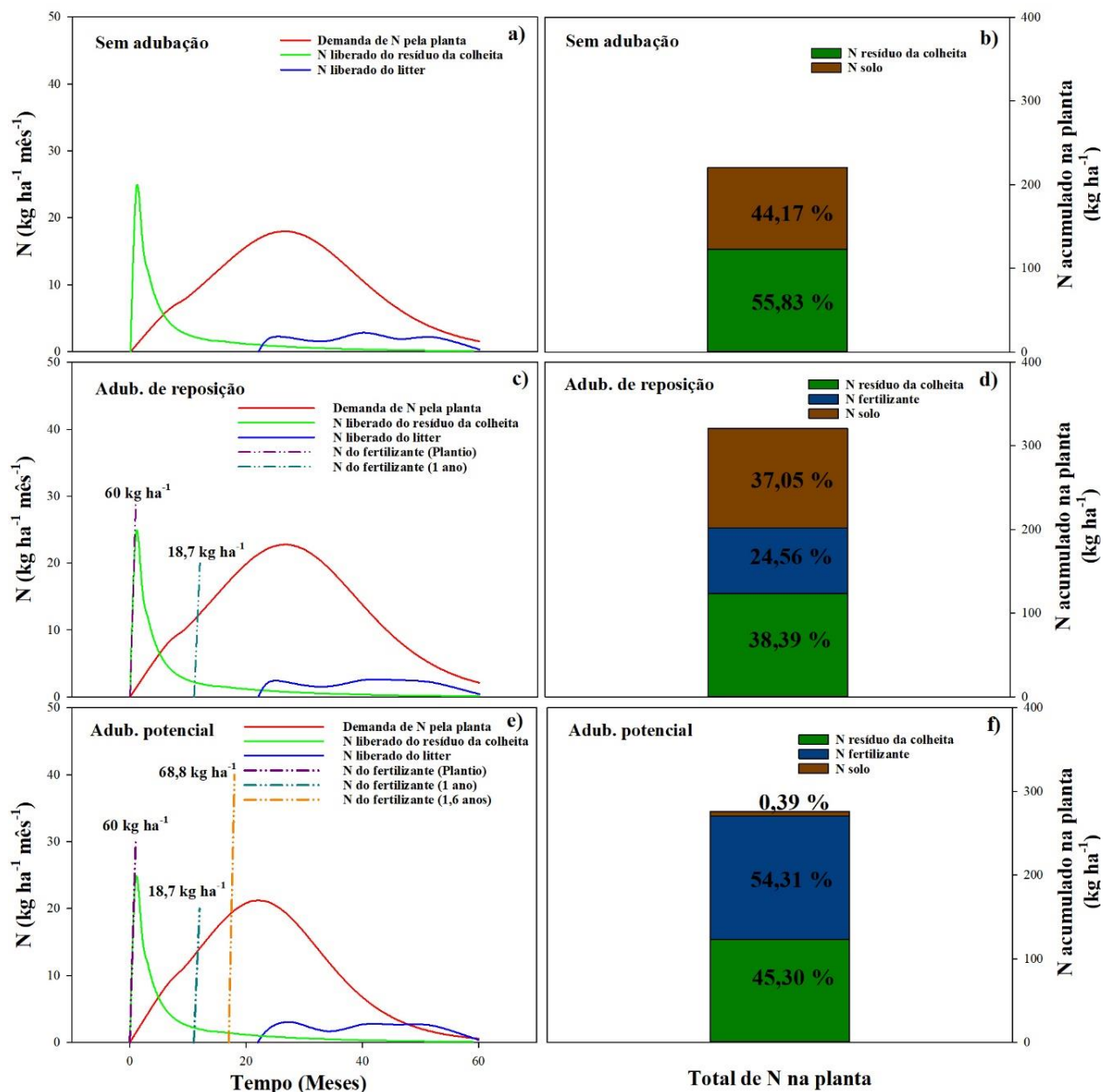


Figura 12. À esquerda gráficos de demanda de N pela planta, cinética de liberação de N do resíduo da colheita, fertilizante e litter nos tratamentos SA (a), AR (c) e AP (e). À direita particionamento quanto as possíveis fontes do total de N acumulado pela planta nos tratamentos SA (b), AR (d) e AP (f) no experimento de Reforma.

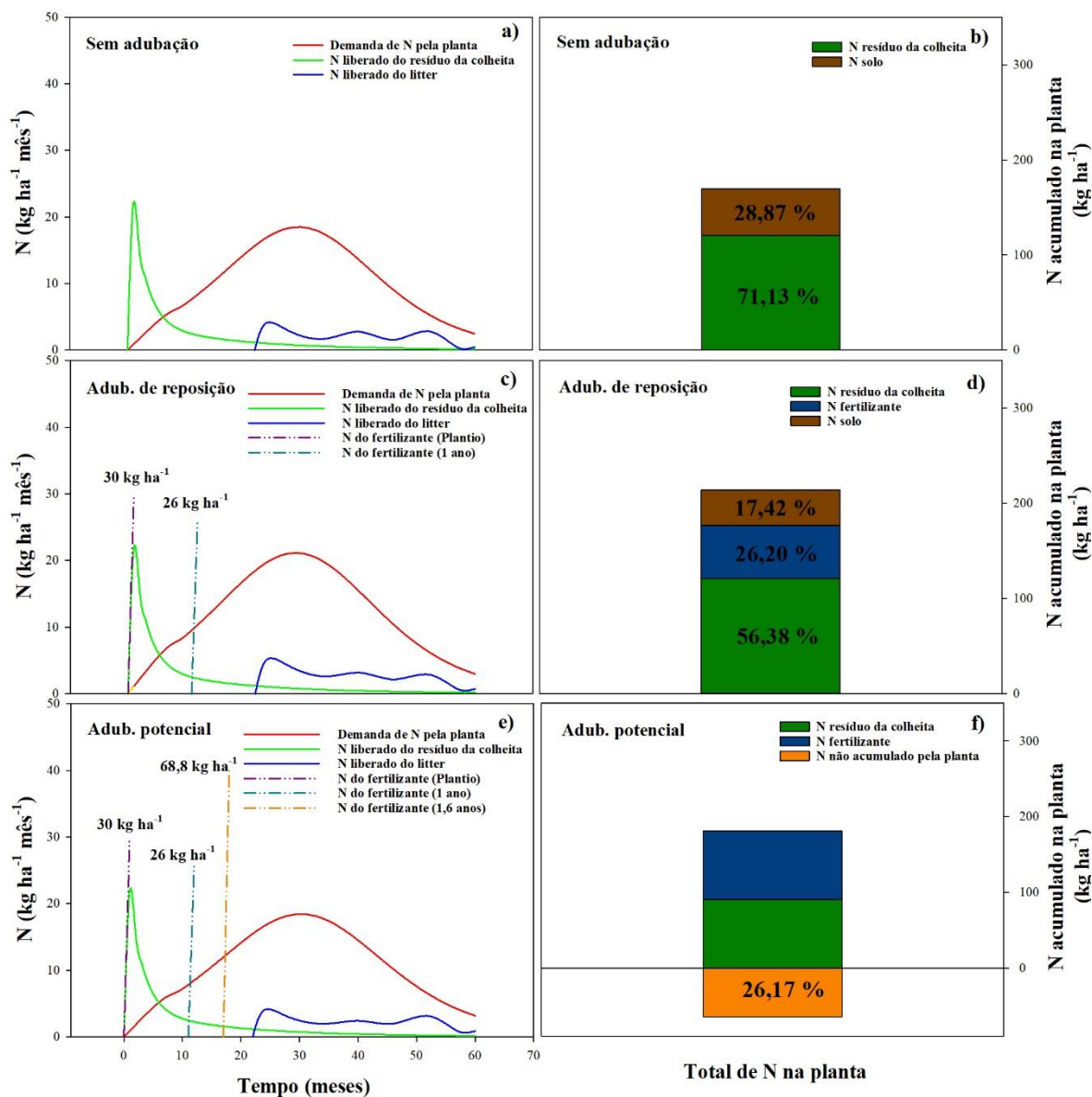


Figura 13. À esquerda gráficos de demanda de N pela planta, cinética de liberação de N do resíduo da colheita, fertilizante e litter nos tratamentos SA (a), AR (c) e AP (e). À direita particionamento quanto as possíveis fontes do total de N acumulado pela planta nos tratamentos SA (b), AR (d) e AP (f) no experimento de Condução.

A demanda, cinética de liberação e particionamento do P na planta estão apresentados nas Figuras 14 (Reforma) e Figura 15 (Condução). Observa-se que o ápice da demanda de P pela planta tanto para Reforma, quanto para Condução aconteceu na mesma época do N, aos 2 e 3 anos de idade da floresta, respectivamente. Percebe-se também que o fornecimento de P via fertilizante dos tratamentos AR e AP não coincidiram com a demanda de P pela planta ao longo da rotação.

No plantio manejado sob Reforma (Figura 14) observa-se que a demanda por P é em torno de $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ para todos os tratamentos, sendo um pouco maior no tratamento AP (Figura 14e), e que a liberação de P do resíduo da colheita é baixa, sendo aproximadamente 50 % da demanda de P pela planta em todos os tratamentos (Figuras 14a, 14c e 14e). Já o P liberado do litter inicia-se aproximadamente na mesma época em que ocorre o ápice da demanda de P pelas plantas.

O fornecimento de P via fertilizante é muito maior que a demanda do nutriente pela planta (Figuras 14c e 14e), porém essa quantidade de P aplicada não se reflete em P acumulado na planta. De fato, 69,44 e 65,84 % do P fornecido (resíduo da colheita + fertilizante) para AR e AP, respectivamente, não foi acumulado na biomassa da planta. Neste caso a provável causa para este fato foi a adsorção específica e indisponibilização do P do fertilizante solúvel pelo solo. No tratamento SA a maior porção de P acumulado na planta adveio do solo (83,11 %). Contudo, o tratamento que promoveu maior acúmulo de P na biomassa da planta foi o AR.

Na Condução, o comportamento das curvas de demanda de P, liberação de P do fertilizante e do litter foram semelhantes àqueles das plantas sob Reforma. No entanto, a quantidade de P demandada pelas plantas dos tratamentos de fertilização foram distintas; observou-se demanda de 1,9, 2,8 e $2,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ para plantas dos tratamentos SA, AR e AP, respectivamente. Na Condução também observou-se que as plantas nos tratamentos que receberam adubação não foram capazes de acumular em sua biomassa todo o P aplicado; 30,27 e 46,77 % do P fornecido (resíduo da colheita + fertilizante) para AR e AP, respectivamente, não foram acumulados na biomassa da planta. No tratamento SA a maior proporção de P acumulado na planta veio do solo (75,62 %). E o tratamento que promoveu maior acúmulo de P na biomassa da planta foi o AR, atingindo $34,23 \text{ kg ha}^{-1}$.

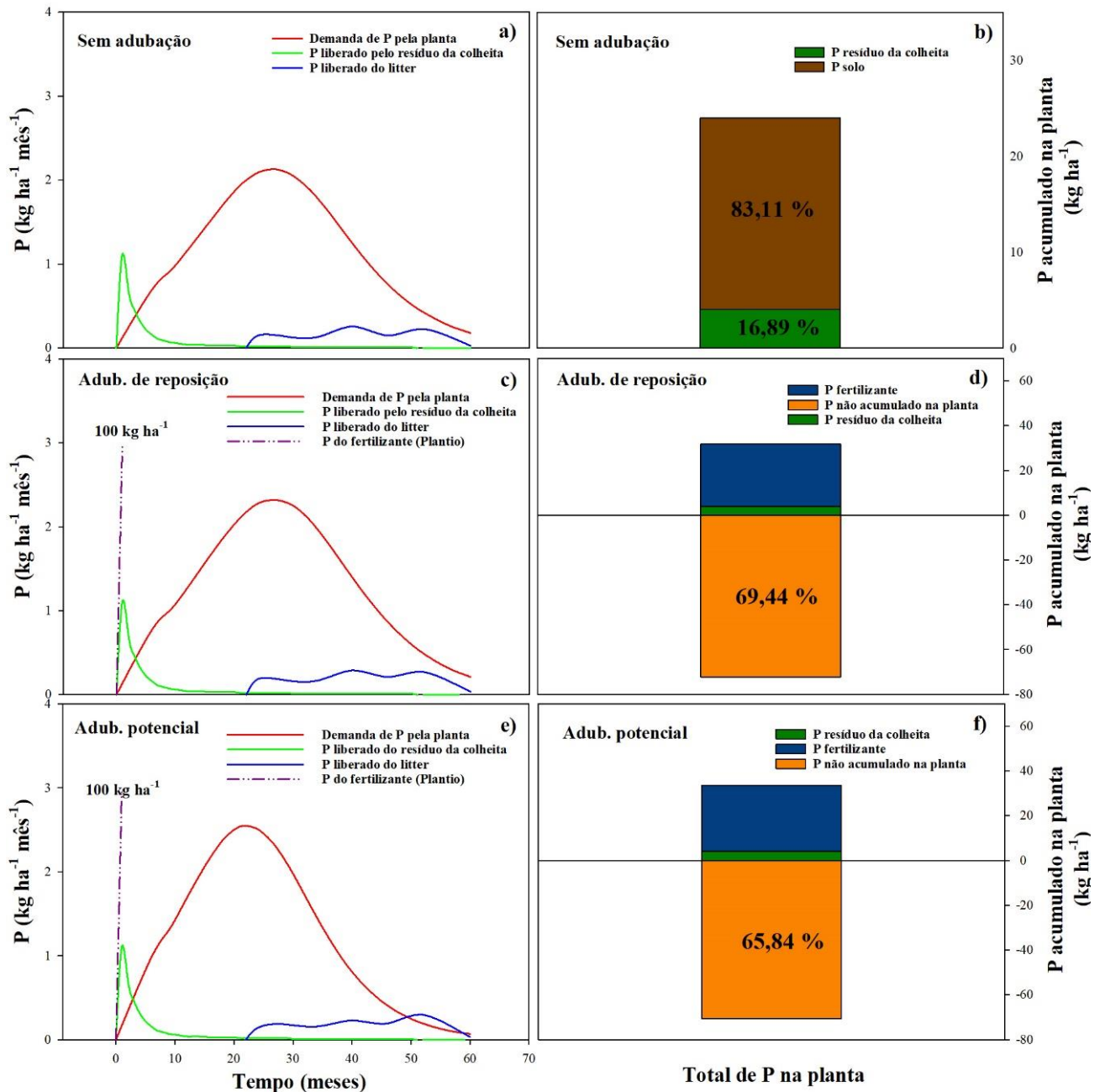


Figura 14. À esquerda gráficos de demanda de P pela planta, cinética de liberação de P do resíduo da colheita, fertilizante e litter nos tratamentos SA (a), AR (c) e AP (e). À direita particionamento quanto as possíveis fontes do total de P acumulado pela planta nos tratamentos SA (b), AR (d) e AP (f) no experimento de Reforma.

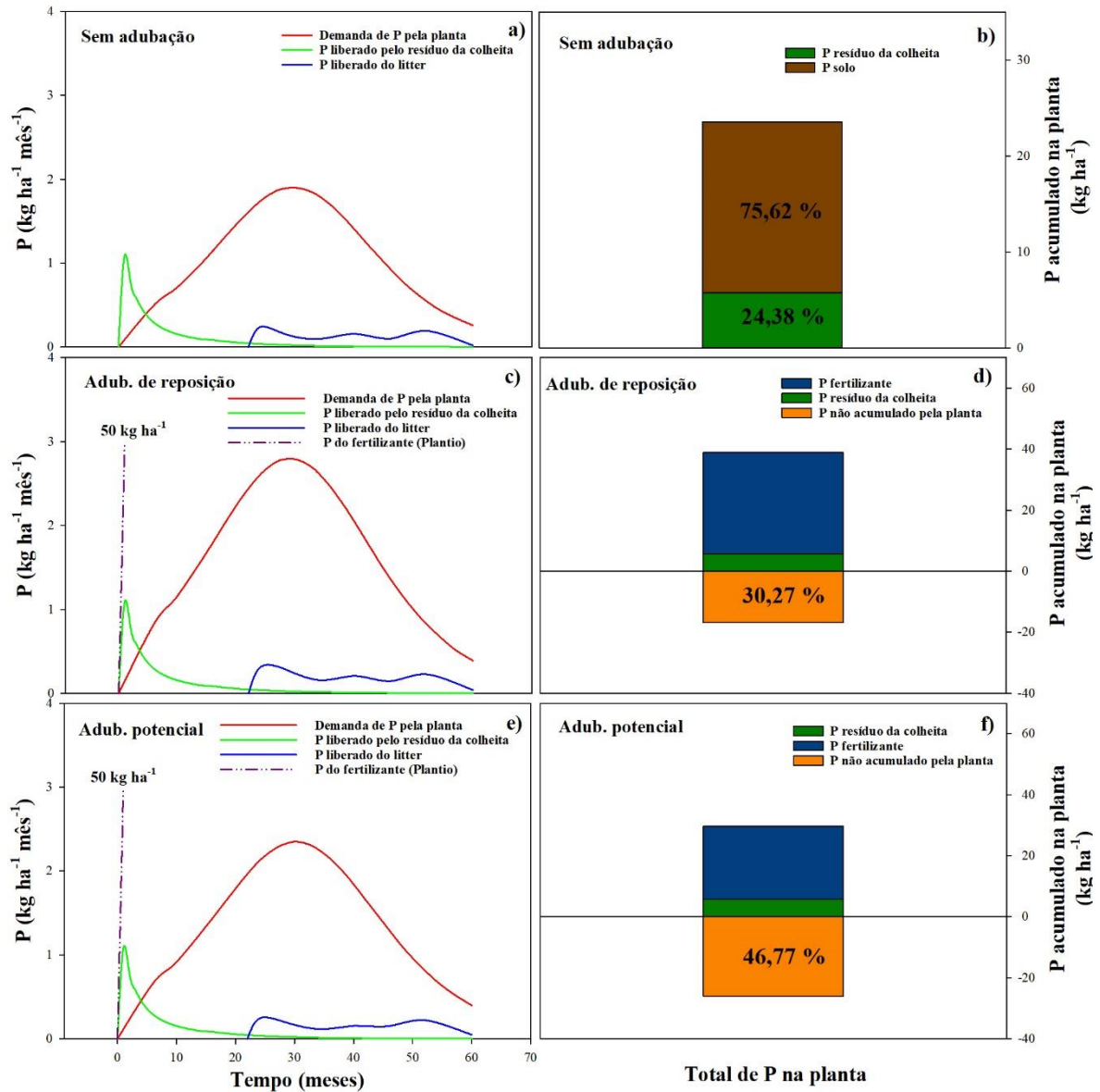


Figura 15. À esquerda gráficos de demanda de P pela planta, cinética de liberação de P do resíduo da colheita, fertilizante e litter nos tratamentos SA (a), AR (c) e AP (e). À direita particionamento quanto as possíveis fontes do total de P acumulado pela planta nos tratamentos SA (b), AR (d) e AP (f) no experimento de Condução.

A demanda, cinética de liberação e particionamento do K na planta estão a apresentados nas Figuras 16 (Reforma) e Figura 17 (Condução). Assim, como para N e P, o pico da demanda de K pela planta aconteceu aos 2 e 3 anos de idade dos povoamentos manejados sob Reforma e Condução, respectivamente.

No manejo sob Reforma, percebe-se que a liberação inicial de K do resíduo da colheita e as duas primeiras aplicações de fertilizante, nos tratamentos AR (Figura 16c) e AP (Figura 16d), coincidiram com o aumento da demanda do nutriente pela planta, e que comparativamente ao tratamento SA (Figura 16a) apresentaram demandas 9 e 13 % maiores, respectivamente. No tratamento AP, a aplicação adicional de fertilizante aos 1,6 ano, foi realizada próximo ao ápice da demanda de K, e ao que tudo indica (Figura 17e) foi maior que a capacidade da planta de acumular o nutriente em sua biomassa, sendo que 35,76 % do K fornecido à planta (resíduo da colheita + fertilizante) não foi acumulado.

O tratamento que apresentou maior acúmulo de K na planta foi o tratamento AR ($264,73 \text{ kg ha}^{-1}$), que acumulou em sua biomassa K vindo do resíduo da colheita, fertilizante e do solo (Figura 17d), porém a quantidade de K vinda do solo, foi menor que o tratamento SA, sendo portanto, mais sustentável para o solo deste sítio.

Na Condução, assim como na Reforma, a liberação inicial de K do resíduo da colheita e as aplicações de fertilizantes, nos tratamentos AR (Figura 18c) e AP (Figura 18d), coincidiram com o aumento da demanda do nutriente pela planta, e comparativamente ao tratamento SA (Figura 18a), a demanda de K foi 17 e 10 % maiores, respectivamente. O tratamento com maior acúmulo de K na planta no experimento de Condução, também foi o AR, com $215,0 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 18d). E assim como na Reforma, no tratamento AP as plantas não acumularam em sua biomassa o total de K fornecido a elas via resíduo da colheita e fertilizante, sendo esse percentual de 40,31 % (Figura 18f).

Quanto a liberação de K do litter, que corresponde ao K ciclado pela planta, iniciou no período correspondente ao ápice e início do decréscimo da demanda do nutriente pela planta nos três tratamentos avaliados, tanto para Reforma (Figuras 17a, 17c e 17e) quanto para Condução (Figuras 18a, 18c, 18e).

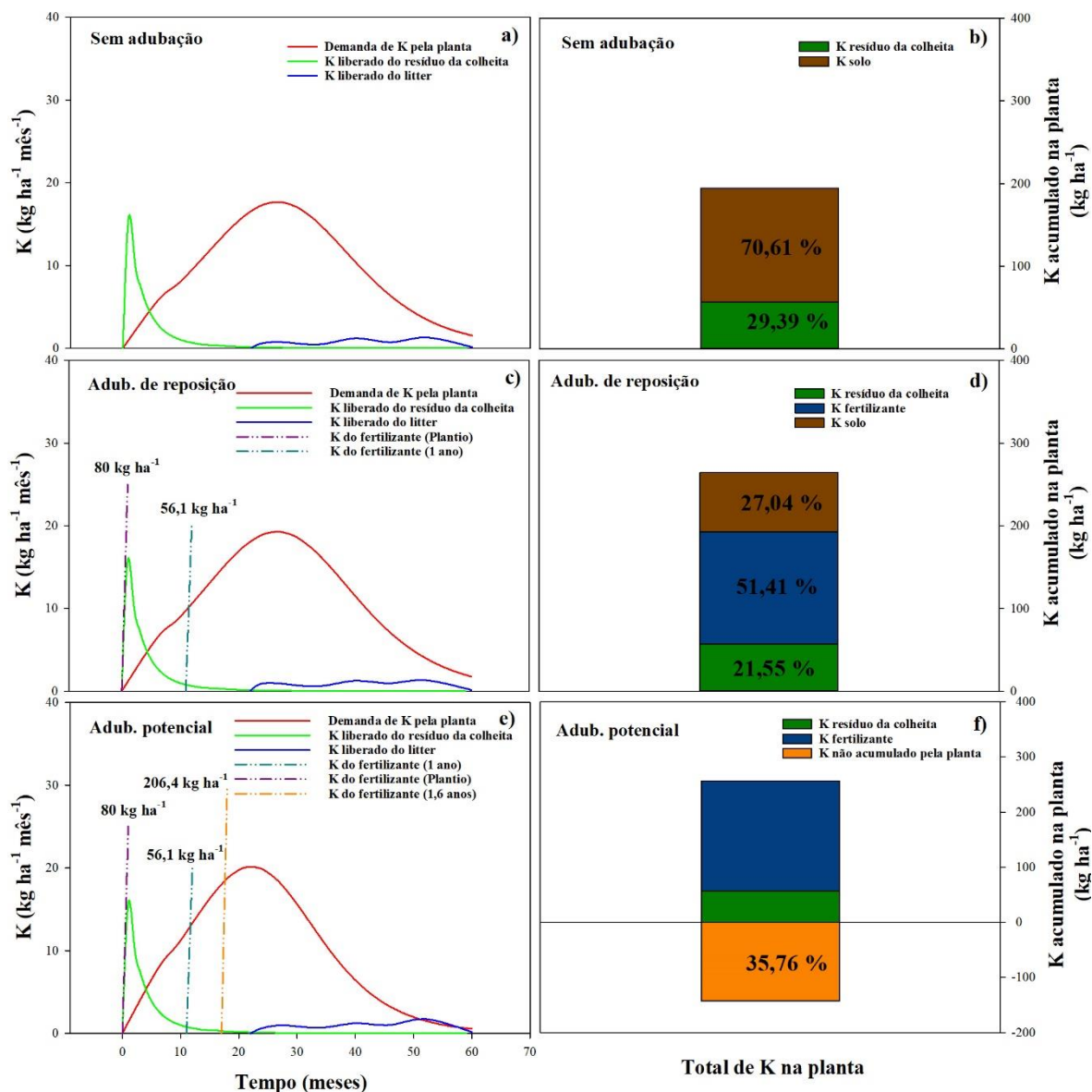


Figura 16. À esquerda gráficos de demanda de K pela planta, cinética de liberação de K do resíduo da colheita, fertilizante e litter nos tratamentos SA (a), AR (c) e AP (e). À direita particionamento quanto as possíveis fontes do total de K acumulado pela planta nos tratamentos SA (b), AR (d) e AP (f) no experimento de Reforma.

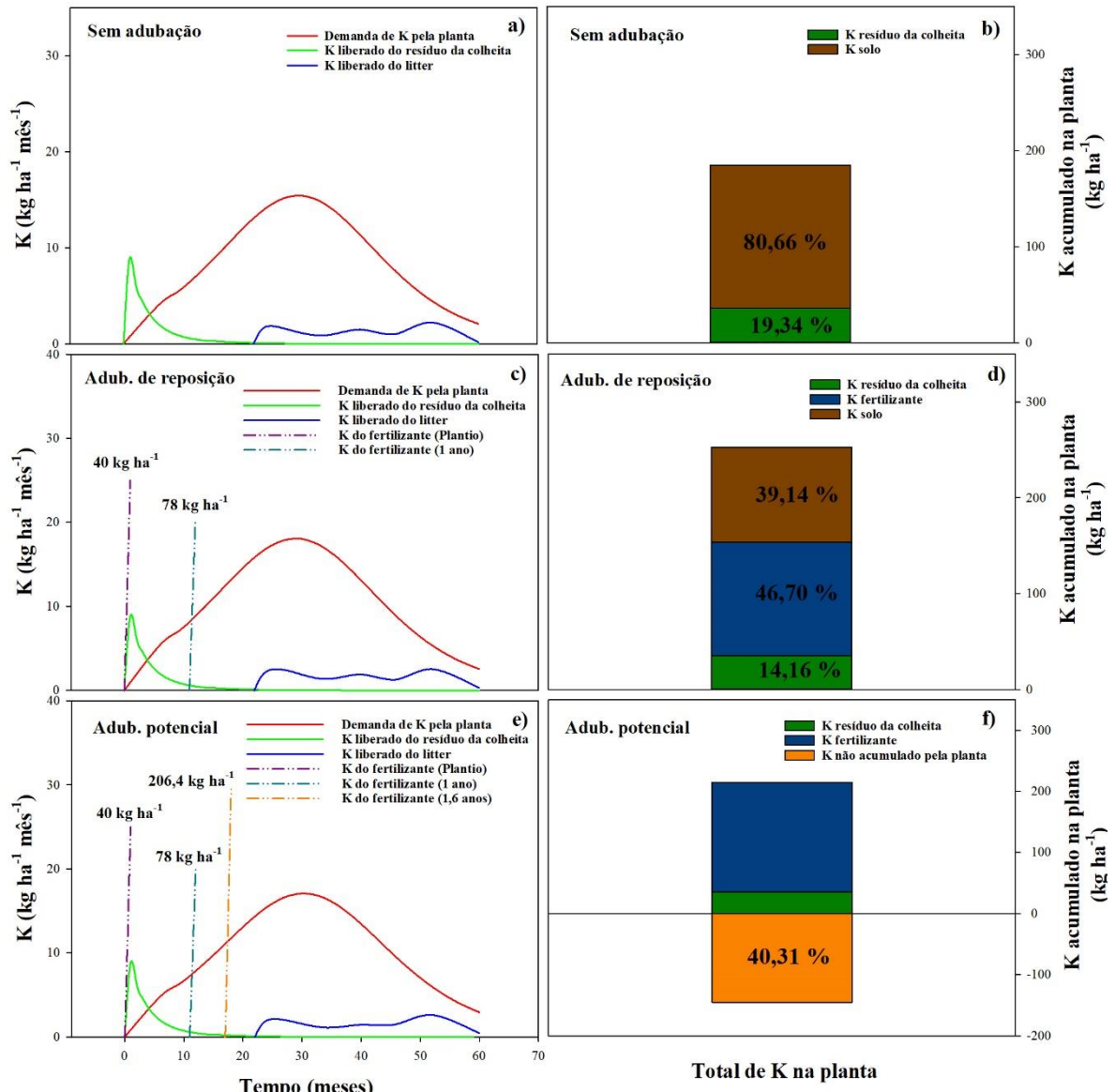


Figura 17. À esquerda gráficos de demanda de K pela planta, cinética de liberação de K do resíduo da colheita, fertilizante e litter nos tratamentos SA (a), AR (c) e AP (e). À direita particionamento quanto as possíveis fontes do total de K acumulado pela planta nos tratamentos SA (b), AR (d) e AP (f) no experimento de Condução.

Balanço de nutrientes

O balanço de nutrientes no sistema-solo-planta para área sob Reforma, em todos os tratamentos, mostrou que para a maioria dos nutrientes estudados o balanço de nutrientes foi positivo (Tabela 9). Apenas o do K para todos os tratamentos, e aquele do Ca no tratamento AR apresentaram balanço negativo de nutrientes. No plantio que recebeu o tratamento AR, por ter apresentado maior produtividade, obviamente haveria maior exportação de nutrientes do sistema solo-planta, sendo N (8 %), P (35 %), K (63 %), Ca (50 %), Mg (35 %) e S (38 %). Por isso, comparado aos demais tratamentos, é o que apresentou os menores valores do balanço para todos os nutrientes. O solo sob este tratamento suportaria menos ciclos da cultura do eucalipto caso não sejam adicionadas fontes externas de nutrientes no cultivo do eucalipto.

No eucalipto manejado sob Condução o balanço de nutrientes foi positivo para todos os nutrientes, exceto para o K no tratamento AR. Assim, semelhante ao que foi observado na área manejada sob Reforma, devido à maior produtividade do tratamento AR, este foi responsável pela maior exportação de nutrientes do sítio florestal, sendo: N (6 %), P (44 %), K (53 %), Ca (39 %), Mg (32 %) e S (43 %). E por isso também, esse tratamento apresenta os menores valores do balanço para a maioria dos macronutrientes, exceto para Ca e Mg.

- 1 **Tabela 9.** Estoques de nutrientes no solo (camada de 0-60 cm) e na vegetação (Parte aérea + Litter), em valores absolutos e relativos (%; entre parênteses),
 2 e balanço nutricional ⁽¹⁾ em plantios de eucalipto manejados sob Reforma e Condução e regimes distintos de fertilização (AS: sem adubação; AR: adubação
 3 de reposição; AP: adubação potencial) ao final de uma rotação de 5 anos.

	Reforma																	
	Solo (kg ha ⁻¹)						Vegetação (kg ha ⁻¹)						Balanço (kg ha ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
SA	364 ()	49 (68)	145 (44)	433 (64)	228 (78)	35 (63)	206 (7)	23 (32)	182 (56)	248 (36)	65 (22)	20 (37)	+158	+26	-37	+186	+163	+15
AR	395 ()	54 (65)	142 (37)	336 (50)	153 (65)	38 (62)	284 (8)	29 (35)	245 (63)	342 (50)	82 (35)	23 (38)	+112	+25	-103	-6	+71	+14
AP	416 ()	55 (65)	160 (41)	489 (59)	194 (75)	41 (63)	242 (7)	30 (35)	228 (59)	343 (41)	64 (25)	24 (37)	+174	+26	-68	+146	+130	+17
	Condução																	
	Solo (kg ha ⁻¹)						Vegetação (kg ha ⁻¹)						Balanço (kg ha ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
SA	401 ()	43 (66)	199 (53)	284 (58)	127 (70)	30 (61)	161 (5)	22 (34)	173 (47)	206 (42)	54 (30)	19 (39)	+240	+21	+25	+79	+73	+11
AR	384 ()	43 (56)	204 (47)	547 (61)	142 (68)	33 (57)	195 (6)	34 (44)	235 (53)	354 (39)	67 (32)	25 (43)	+190	+9	-31	+193	+75	+8
AP	392 ()	42 (62)	218 (53)	305 (55)	112 (68)	30 (59)	168 (5)	26 (38)	193 (47)	245 (45)	52 (32)	21 (41)	+223	+16	+25	+60	+60	+10

- 4 ⁽¹⁾ Balanço de Nutrientes = Solo – (Parte aérea + Litter).

5 4 DISCUSSÃO

6

7 *Produção e estoques de nutrientes em florestas de eucalipto com permanência de resíduos* 8 *da colheita e fertilização mineral*

9 A manutenção do resíduo da colheita sobre o solo tem sido realizada em extensas
10 áreas de cultivos comerciais no Brasil e no exterior pois, entre os vários benefícios, o mais
11 frequentemente observado é o potencial para fornecimento de nutrientes para as plantas
12 (Santana et al., 2008; Paes et al., 2013; Rocha et al., 2016, 2018). No presente estudo, ao
13 longo da rotação, os resíduos da colheita (e o litter) da rotação anterior forneceram
14 quantidades substanciais de macronutrientes: 123, 4, 57, 449, 59 e 11 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca,
15 Mg e S, respectivamente, no plantio reformado, enquanto nos plantios conduzidos houve
16 fornecimento de 120, 5, 35, 364, 54 e 11 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S respectivamente.
17 Porém, conforme havíamos hipotetizado inicialmente, sozinhos eles não foram suficientes
18 para atender a demanda total das plantas e maximizar a produtividade dos plantios (Figura
19 3a e b).

20 Esses resultados suportam claramente que a suplementação dos nutrientes com a
21 filosofia de fertilização de reposição (AR) com base no balanço de nutrientes no sistema ,
22 promoveu a maior absorção de nutrientes nas florestas (Figura 5), e promoveu ganhos em
23 volume (tronco) e massa de madeira (lenho) no povoamento conduzido (Figura 3b e 4b).
24 De maneira contrastante, nos plantios de eucalipto sem nenhuma suplementação de
25 nutrientes com fertilização mineral as perdas de produtividade ocorreram (Figura 3b), mas
26 foram de menor magnitude do que observado em outros estudos em que se omitiu a
27 fertilização (Rocha et al., 2016). Parte dos nutrientes certamente foi suprida pelo solo e outra
28 fração significativa veio dos resíduos da colheita e do litter, pois as plantas possuíam em sua
29 biomassa conteúdos de nutrientes superiores àqueles fornecidos pelos resíduos da colheita
30 (Figuras 12b, 13b, 14b, 15b, 16b e 17b). Não menos importante, deve-se considerar que uma
31 fração significativa de nutrientes, em especial o N e o K, foram reciclados via deposição de
32 litterfall (Tabela 6 e 7) contribuindo para atender a demanda de nutrientes pelas plantas.
33 Nesse sentido, com o intuito de manter a sustentabilidade do sítio florestal e obter ganhos
34 em produtividade na floresta é necessário a manutenção dos resíduos da colheita e o
35 fornecimento de nutrientes via fertilizantes (Kumaraswamy et al., 2014; McMahon et al.,
36 2019).

37 Por outro lado, no manejo do eucalipto sob reforma as fertilizações não
38 influenciaram a produtividade em volume de madeira e massa de matéria seca da planta

39 (Figura 3a e 4a), fato que poderia ser interpretado como indicativo da falta de necessidade
40 da aplicação de fertilizante e corretivos para atingir a produtividade desejada. Contudo, a
41 ausência de fertilização induziu as florestas a utilizarem os nutrientes presentes no solo
42 (Figuras 12b, 13b, 14b), o qual poderá acarretar a longo prazo, se não forem repostos, uma
43 exaustão desse recurso e tornar o sistema menos sustentável.

44 O suprimento de nutrientes deve obedecer critérios técnicos bem definidos
45 (exemplo: balanço de nutrientes, como na adubação de reposição, e monitoramento do
46 estado nutricional das plantas), visto que tanto o desequilíbrio quanto o desbalanço
47 nutricional pode não necessariamente levar a ganhos de produtividade, como pode ser
48 observado no presente estudo para os plantios que receberam a fertilização potencial (AP).
49 Os valores de IMA observados nos tratamentos com fertilização potencial foi de 49,21 e
50 51,58 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, para os plantios reformados ou conduzidos. Na
51 verdade, a adubação mais elevada promoveu maiores ganhos em crescimento do eucalipto
52 somente até o segundo ano, mas que ao final da rotação não obteve maior produtividade que
53 os demais manejos de fertilização (Figura 3a e 3b).

54 Uma possível explicação para esse comportamento é que aos 18 meses foi feita
55 uma adubação de cobertura adicional nas plantas do tratamento AP tentando se obter uma
56 produtividade de acordo com o potencial climático da região, estimada pelo modelo
57 ecofisiológico 3-PG (Borges et al., 2012), mas a baixa CTC do solo do estudo pode ter
58 favorecido um desbalanço e, ou desequilíbrio nutricional nas plantas. Além disso, não pode
59 ser descartado a ocorrência de efeito negativo para as plantas da salinidade da alta dose do
60 fertilizante solúvel aplicado localizadamente, em filete contínuo. Tal fato parece ser
61 suportado pelo maior percentual de mortalidade das plantas no tratamento AP sob reforma
62 (Tabela 4). Ainda não pode ser excluído que a ausência de ganhos em produtividade de
63 madeira pelo eucalipto foi devido à existência de outros fatores limitantes de ordem não
64 nutricional, tal como a disponibilidade hídrica, que é bem mais limitante ao potencial
65 produtivo do eucalipto quando as fertilizações dos povoamentos estão sendo adequadamente
66 realizadas (Stape et al., 2010).

67 No sistema solo planta do tratamento AP o balanço positivo dos nutrientes N, K,
68 Ca, Mg e S em 68, 206, 545, 55 e 61 kg ha⁻¹ ao final da rotação, sem que houvesse retorno
69 adicional em produtividade sugere que para os materiais genéticos plantados atualmente as
70 adubações com base no balanço são as mais adequadas e que para novos clones, mais
71 adaptados e mais produtivos poderão viabilizar a aplicação de doses maiores de fertilizantes.

72 Nosso trabalho sinaliza que os resíduos da colheita, o litter e o litterfall são
73 importantes componentes no suprimento de nutrientes para as plantas e podem suportar
74 florestas bastante produtivas e sustentáveis com um gasto bem menor de fertilizantes e
75 corretivos no médio prazo. Tal fato é corroborado por trabalho recente de reamostragem de
76 solo conduzido em plantios clonais de eucalipto no Brasil (McMahon et al., 2019), onde os
77 autores observaram que após duas rotações de eucalipto o estoque de nutrientes e a matéria
78 orgânica do solo foram mantidos nos povoamentos onde se fez o cultivo mínimo com a
79 manutenção de todos os resíduos de colheita na área (folhas, galhos, casca e raízes).

80

81 *Estoques de nutrientes e de matéria orgânica do solo em florestas de eucalipto com*
82 *permanência de resíduos da colheita e fertilização mineral*

83 A MOS é essencial para a fertilidade do solo em regiões tropicais sobretudo em
84 solos arenosos, uma vez que contribui expressivamente para a capacidade de troca catiônica
85 (CTC) do solo e apresenta potencial para fornecer nutrientes para as plantas, sustentando-se
86 principalmente pela queda de serapilheira, contribuição radiculares e pelos resíduos da
87 colheita florestal (Gatto et al., 2010; Ferreira et al., 2016). As plantações comerciais de
88 eucalipto no Brasil produzem aproximadamente 34 Mg ha⁻¹ de resíduo de colheita, o qual
89 representa 16 % do total de C do sistema solo-planta (Gatto et al., 2010). Assim, a
90 manutenção do resíduo da colheita na área de plantio pode representar potencial incremento
91 nos estoques de C orgânico no solo (Epron et al., 2006; Nave et al., 2010; Wan et al., 2018).

92 No entanto, apenas o imput de C orgânico ao solo via resíduos não garante sua
93 permanência no sistema solo; faz-se necessário a sua fragmentação pela fauna e
94 decomposição microbiana com subsequente atuação de mecanismos de estabilização, tal
95 como a interação dos compostos orgânicos com a fração fina (coloidal) da matriz mineral do
96 solo, favorecendo assim a permanência do C orgânico no sistema, no médio e longo prazo
97 (Ling et al., 2017; Souza et al., 2018, 2020). Durante essas transformações de natureza
98 molecular nos compostos orgânicos ao longo do gradiente de degradação dos resíduos
99 vegetais ocorre a liberação de nutrientes que podem então ser reaproveitados pelos
100 microrganismos do solo e pelas plantas. O suprimento de nutrientes via fontes minerais ou
101 orgânicas pode, portanto, não apenas alterar essa intrincada cadeia de composição dos
102 resíduos vegetais pelos microrganismos, mas também a taxa ciclagem da MOS pré-existente
103 no solo, e a taxa de formação da nova MOS uma vez que a maior parte da MOS é constituída
104 por compostos orgânicos de origem microbiana (Ling et al., 2019). Estudos têm demonstrado
105 que a decomposição do resíduo vegetal ou o aumento do C no solo pode ser influenciada

106 pela aplicação de fertilizante mineral em conjunto com o resíduo vegetal (Su et al., 2006;
107 Kirkby et al., 2013, 2014, 2016; Poeplau et al., 2017; Coonan et al., 2019), indicando que a
108 disponibilidade de nutrientes no solo afeta a eficiência de utilização do C (EUC) pela
109 microbiota do solo (Manzoni, 2017).

110 Em nosso estudo, possivelmente a aplicação de fertilizante com base no balanço
111 nutricional (AR) disponibilizou nutrientes em quantidades aproximadas daquelas
112 necessárias para manter o equilíbrio estequiométrico microbiano, estimulando uma maior
113 decomposição dos resíduos da colheita e eficiência de uso do C (EUC) pela microbiota do
114 solo, com consequente estabilização de C na matriz mineral do solo por meio da formação
115 de associações organominerais de tamanho pequeno (matéria orgânica associada aos
116 minerais - MAM) observado em ambos os manejos da colheita (camada de 0-20 cm na
117 Reforma e Condução; Figura 8 e 9). Concomitantemente, foi possível observar que nos solos
118 com fertilização AR as plantas produziram maior biomassa radicular (Figura 4) na
119 Condução, a qual apresenta grande influência para a entrada de C ao solo via rizodeposições
120 e renovação radicular de raízes finas (Kirkby et al., 2016).

121 Em contrapartida, onde não houve aplicação de fertilizante e corretivo ao solo
122 (SA) foi observado maiores estoques de matéria orgânica particulada (MOP, fração muito
123 semelhante ao material vegetal, em estágios iniciais de decomposição) (Figura 8a e 9a),
124 sugerindo que nesta situação os microrganismos tiveram limitação nutricional para
125 decompor o resíduo da colheita (Fontaine et al., 2004; Kirkby et al., 2014). Resultado
126 semelhante foi encontrado por Coonan et al., (2019), no qual a ausência da aplicação de
127 nutrientes em conjunto com resíduos de cana-de-açúcar favoreceu maiores estoques de C na
128 MOP, ao passo que ao aplicar os nutrientes houve incrementos nos estoques de C na MAM.
129 Os maiores estoques de C no solo foram observados nos solos sem (SA) e com fertilização
130 de reposição (AR) (Figura 8e e 9e), o qual seguiu a tendência observada no C presente nas
131 frações MOP e MAM (Figura 8a-c; 9a-c).

132 Por outro lado, para os solos com fertilização potencial (AP), provavelmente
133 houve um estímulo maior a decomposição da MOS pré-existente no solo favorecido pelo
134 desbalanço estequiométrico de C:nutrientes ao realizar uma elevada fertilização. Assim, em
135 busca de energia e C as comunidades microbianas do solo foram estimuladas a decompor a
136 MOS reduzindo os estoques de C nas frações e no solo (Figura 8a-c-e; 9a-c-e). Desta forma,
137 como mencionado por Kirkby et al., (2016), quando se deseja incrementar os estoques de C
138 no solo é necessário fornecer quantidades adequadas de nutrientes juntamente com o aporte
139 de resíduos vegetais.

140 A permanência do resíduo da colheita, sem e com fertilização mineral, não
141 resultou em alterações significativas nos estoques de macronutrientes (N, P, K, Ca e S) no
142 solo no povoamento reformado (0-60 cm), com exceção do Mg (Figura 10a-f). Similar
143 comportamento foi observado para produtividade, podendo por esse motivo não ter
144 ocasionado diferenças nos estoques de nutrientes no solo ao aplicar as diferentes
145 fertilizações. Estudo realizado por Paes et al., (2013) demonstrou que nos tratamentos cuja
146 produtividade foi semelhante, também não houve diferenças na fertilidade do solo ao final
147 da rotação.

148 No plantio manejado sob Condução, os resultados sugerem maior efeito da
149 adubação sobre os estoques dos nutrientes no solo, especialmente para K, S, Ca e Mg (Figura
150 11). Para K e S, observou-se que no solo fertilizado com AP proporcionou maiores estoques
151 dos nutrientes no solo. Isto se deve provavelmente a aplicação de maior dose de fertilizantes,
152 não sendo acompanhado pela maior absorção pela planta. Resultado semelhante foi
153 observado por (Rocha, 2017), no qual os solos que receberam resíduo da colheita e
154 fertilização apresentaram maiores estoques de N e P.

155

156 *Coefficiente de utilização biológico, taxa de recuperação e balanço de nutrientes em* 157 *florestas de eucalipto com manutenção de resíduos da colheita e fertilização mineral*

158 Os nossos resultados indicam que no plantio reformado, as plantas que receberam
159 adubação de reposição em geral foram mais eficientes na conversão dos nutrientes
160 absorvidos P, K, Ca e Mg em biomassa de lenho (Tabela 5). Isto significa, que
161 comparativamente às demais fertilizações, as plantas que receberam AR requererão menores
162 doses desses nutrientes para uma dada produtividade e, após a colheita, a remoção do lenho
163 exportara a menor quantidade desses nutrientes do sítio florestal. Já as plantas que receberam
164 AP apresentaram menores CUB's para os mesmos nutrientes, além do N. A menor
165 disponibilidade de nutrientes para as plantas no tratamento AR em relação àquelas do AP
166 proporcionou maiores CUB's, como já relatado anteriormente por Barros et al., (1986).

167 Contudo, ao analisar o balanço de nutrientes (Tabela 9), percebe-se que para a
168 maioria dos nutrientes avaliados o tratamento AR promoveu menor balanço (P, Mg e S) e
169 balanço negativo (K e Ca) dos nutrientes no sítio florestal. Esse resultado indica que a maior
170 massa de matéria seca (Figura 4a) observada nos plantios com a fertilização AR, em termos
171 absolutos, foi o motivo pela maior acumulação de nutrientes. Esse maior acúmulo de
172 nutrientes pode, potencialmente, resultar em maior exportação futura do nutriente do sítio
173 uma vez que a magnitude da exportação de nutrientes para fora do talhão é diretamente

174 proporcional a quantidade de biomassa e o teor de nutrientes dos componentes explorados
175 na colheita (Schumacher et al., 2019).

176 De acordo com o balanço (Tabela 9), os nutrientes limitantes no próximo ciclo
177 florestal seria o K e Ca para todos as fertilizações, apresentando um maior déficit em AR.
178 Similar comportamento para o K e Ca também pode ser observados no estabelecimento de
179 novos plantios sob solos arenosos em estudos prévios (Melo et al., 1995). Esses resultados
180 indicam a necessidade do manejo de fertilização para a manutenção da sustentabilidade do
181 solo (Laclau et al., 2005).

182 Assim, uma vez que o manejo de fertilização deve ser mantido, com o objetivo de
183 aumentar a produtividade (Smethurst, 2010) e manter a sustentabilidade do sítio florestal, as
184 plantas que receberam fertilização AR mostrou maior eficiência na taxa de recuperação de
185 N, K, Ca, Mg e S aplicados ao solo via fertilizantes e corretivos em relação àquelas do
186 tratamento AP (TRA; Tabela 8). Corroborando com o nosso trabalho, Jesus et al., (2012) ao
187 estudar doses de N em plantios de eucalipto observou reduções da TRA em maiores doses
188 aplicadas do nutriente.

189 No plantio conduzido, diferentemente daquele reformado, o CUB para P, K, Ca e Mg
190 foram maiores nas plantas que não receberam fertilização (SA), mas que, no entanto,
191 apresentaram as menores produtividades (Figura 3b). Segundo Santana et al., (2002), a alta
192 produtividade não está necessariamente associada ao alto CUB. Assim, na Condução, os
193 resultados evidenciam que SA seria o tratamento responsável por proporcionar menor
194 exportação dos nutrientes na colheita florestal. No entanto, é importante ressaltar que o
195 aumento na eficiência de utilização de nutrientes, em função da não aplicação de fertilizantes
196 e corretivos, indicaria a tendência de exaustão de nutriente no solo, como sugerido por
197 (Teixeira et al., 1989). Em contrapartida, a AP proporcionou menor eficiência do K, Ca e S
198 em incremento de biomassa, indicando haver um possível consumo de “luxo”. Além do
199 potencial para maior exportação desses nutrientes se os resíduos da colheita não forem
200 mantidos na área.

201 O balanço de nutrientes nos plantios sob Condução se alinha a resposta observada
202 para os CUB's; no qual nos solos sem fertilização (SA), foram observados balanços mais
203 positivos para N, P, K, S, Ca e Mg. De modo geral, para todos os nutrientes nos três regimes
204 diferentes de fertilização, não haveria grandes limitações na disponibilidade de nutrientes
205 para o desenvolvimento do novo povoamento florestal, exceto para o K no solo fertilizado
206 no regime AR. No que se refere ao balanço de K no ecossistema solo-planta, as árvores

207 imobilizam grande quantidade de K na parte aérea, superior ao que permanece no solo, por
208 isso esse nutriente frequentemente é limitante ao próximo ciclo florestal (Faria et al., 2002).

209 Quanto a TRA, assim como observado na Reforma, para a maioria dos nutrientes as
210 plantas que receberam AR foram mais efetivas na recuperação de nutrientes pela planta, pois
211 apresentaram maior eficiência na recuperação dos nutrientes aplicados no solo para N, P, K,
212 Ca e Mg em relação a AP (Tabela 8).

213 Entretanto, nos plantios manejados sob condução é importante salientar que aqueles
214 não adubados (SA) têm apresentado maior eficiência na conversão de nutrientes em
215 biomassa de lenho e balanço mais produtivo de nutrientes, contudo obtiveram menores
216 produtividades.

217 Neste contexto, a fertilização de reposição com base no balanço de nutrientes para
218 atingir uma produtividade realista e calibrada para um dado clone e sítio florestal apresenta-
219 se como a mais recomendável quando se objetiva maior produtividade, menor gasto com
220 adubação e maior sustentabilidade ambiental e econômica, visto que esta fertilização (AR)
221 promoveu maior produtividade, maiores CUB's para N, K, Ca e S e maior eficiência de
222 recuperação dos fertilizantes aplicados ao solo comparado a AP.

223 Em suma, depreende-se dos resultados encontrados que a diminuição ou ajuste das
224 doses de fertilizantes aplicado em plantios de eucalipto, quando mantido o resíduo da
225 colheita, é uma medida sustentável do ponto de vista econômico e ambiental, uma vez que
226 o gasto com fertilizantes é um dos principais custos nas empresas florestais. Além disso, a
227 aplicação de elevadas doses de fertilizantes, acima da demanda ou da capacidade da planta
228 de absorver os nutrientes (Figuras 13f, 15f, 16f e 17f) pode incorrer em perda do nutriente
229 por lixiviação (Silva et al., 2013).

230

231 **5. CONCLUSÕES**

232 Os resíduos de colheita (casca, folhas, galhos e raízes), o litter, e o litterfall são
233 componentes importantes para o suprimento de nutrientes, particularmente quando não se
234 aplica corretivos e fertilizantes, e suportam produtividades satisfatórias de eucalipto mesmo
235 em solos arenosos de baixa fertilidade.

236 A omissão da adubação em sítio com solo arenoso em que foram mantidos todos
237 os resíduos de colheita leva a maior perda de produtividade nos plantios conduzidos do que
238 naqueles reformados.

239 A adubação de reposição com fertilizantes e corretivos tomando como base o
240 balanço de nutrientes e uma produtividade realista para o clone e sítio, otimiza a

241 produtividade, melhora a taxa de recuperação de nutrientes aplicados, embora não
242 necessariamente aumente os CUB's para a maioria dos nutrientes, particularmente nos
243 plantios manejados sob condução.

244 Com a manutenção dos resíduos de colheita e a adubação de reposição com base
245 no balanço de nutrientes favorecem a manutenção de frações mais estáveis da MOS (MAM),
246 enquanto nos plantios não adubados a formação da MAM é comprometida pela dificuldade
247 de decomposição da MOP.

248 A obtenção de produtividades mais próximas do potencial climático estimado
249 para a região dependerá não apenas da aplicação mais balanceada e equilibrada de nutrientes,
250 mas também da seleção de clones mais adaptados e com maior potencial produtivo.

251

252

253 6. REFERÊNCIAS

254

255 Barros NF de, Novais RF de, Carmo DN do, Neves JCL. Classificação Nutricional de Sítios
256 Florestais - Descrição de uma metodologia. *Revista Árvore*. 1986;10:112–120.

257 Barros IB. Adubação e manejo de resíduos em florestas plantadas de eucalipto em solos
258 leves da região central do Brasil. Universidade Federal de Viçosa; 2019.

259 Borges JS, Neves JCL, Lourenço HM, de Barros NF, Dias SCM. Parametrização do modelo
260 3-pg para eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. *Ciencia Florestal*. Universidade
261 Federal de Santa Maria; 2012;22:567–578.

262 Bremner J, Mulvaney C. Nitrogen—total. *Methods of soil analysis Part 2*. 1982;9:595–624.

263 Cambardella CA, Elliot ET. Particulate soil organic-matter changes across a grassland
264 cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*. 1992;56:777–783.

265 Cantarella H, Prochnow LI. Determinação de Sulfato em Solos. In: Raij B van, Andrade JC
266 de, Cantarella H, Quaggio JA, organizadores. *Análise Química para a Avaliação da*
267 *Fertilidade de Solos Tropicais*. 1º ed Campinas: Instituto Agronômico; 2001. p. 285.

268 Cantarella H, Raij B van, Coscione AR, Andrade JC de. Determinação de alumínio, cálcio e
269 magnésio trocáveis em extrato de cloreto de potássio. In: Raij B van, Andrade JC de,
270 Cantarella H, Quaggio JA, organizadores. *Análise Química para a Avaliação da Fertilidade*
271 *de Solos Tropicais*. 1º ed Campinas: Instituto Agronômico; 2001. p. 285.

272 Cipriani HN, Vieira AH, Rocha RB, Costa JNM, Mendes AM, Araújo LV de, Júnior JRV.
273 Cultivo do eucalipto para madeira em Rondônia. 1º ed. Cipriani HN, Vieira AH, Rocha RB,
274 Costa JNM, Mendes AM, Araújo LV de, Júnior JRV, organizadores. *Sistemas de Produção*
275 *- Embrapa Rondonia*. Porto Velho: EMBRAPA; 2015.

276 Coonan EC, Richardson AE, Kirkby CA, Kirkegaard JA, Amidy MR, Strong CL. Soil
277 fertility and nutrients mediate soil carbon dynamics following residue incorporation.
278 *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2019;

279 de Jesus GL, de Barros NF, da Silva IR, Neves JCL, Henriques EP, Lima VC, Fernandes
280 LV, Soares EMB. Doses e Fontes de Nitrogênio na Produtividade do Eucalipto e nas Frações
281 da Matéria Orgânica em Solo da Região do Cerrado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de*
282 *Ciencia do Solo*. 2012;36:201–214.

283 EMBRAPA. *Análise química de tecido vegetal*. 2º ed. Silva FC da, organizador. Manual de
284 análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA; 2009.

285 EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3º ed. Beltrão SLL, Andrade LM
286 de, Sette NM da C, organizadores. Brasília: EMBRAPA; 2013.

287 Epron D, Nouvellon Y, Delepote P, Ifo S, Kazotti G, Thongo M'Bou A, Mouvondy W,
288 Andre L Saint, Rousard O, Jourdan C, Hamel O. Soil carbon balance in a clonal Eucalyptus
289 plantation in Congo: effects of logging on carbon inputs and soil CO₂ efflux. *Global Change*
290 *Biology*. 2006;12:1021–1031.

291 Faria GE de, Barros NF de, Novais RF de, Lima JC, Teixeira JL. Produção e estado
292 nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à
293 adubação potássica. *Revista Árvore*. 2002;26:577–584.

- 294 Fontaine S, Bardoux G, Abbadie L, Mariotti A. Carbon input to soil may decrease soil carbon
295 content. *Ecology Letters*. 2004;7:314–320.
- 296 Gatto A, Félix de Barros N, Ferreira Novais R, Ribeiro da Silva I, Garcia Leite H. Estoques
297 de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. 2010.
- 298 IBÁ. Relatório 2017 [Internet]. Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ. 2017.
- 299 Johnson DW, Curtis PS. Effects of forest management on soil C and N storage: meta
300 analysis. *Forest Ecology and Management*. Elsevier; 2001;140:227–238.
- 301 Kirkby CA, Richardson AE, Wade LJ, Batten GD, Blanchard C, Kirkegaard JA. Carbon-
302 nutrient stoichiometry to increase soil carbon sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*.
303 2013;60:77–86.
- 304 Kirkby CA, Richardson AE, Wade LJ, Conyers M, Kirkegaard JA. Inorganic Nutrients
305 Increase Humification Efficiency and C-Sequestration in an Annually Cropped Soil. Bradley
306 R, organizador. *PLOS ONE*. 2016;11:e0153698.
- 307 Kirkby CA, Richardson AE, Wade LJ, Passioura JB, Batten GD, Blanchard C, Kirkegaard
308 JA. Nutrient availability limits carbon sequestration in arable soils. *Soil Biology and*
309 *Biochemistry*. 2014;68:402–409.
- 310 Kumaraswamy S, Mendham DS, Grove TS, O’Connell AM, Sankaran K V., Rance SJ.
311 Harvest residue effects on soil organic matter, nutrients and microbial biomass in eucalypt
312 plantations in Kerala, India. *Forest Ecology and Management*. Elsevier; 2014;328:140–149.
- 313 Laclau J-P, Ranger J, Deleporte P, Nouvellon Y, Saint-André L, Marlet S, Bouillet J-P.
314 Nutrient cycling in a clonal stand of Eucalyptus and an adjacent savanna ecosystem in
315 Congo: 3. Input–output budgets and consequences for the sustainability of the plantations.
316 *Forest Ecology and Management*. Elsevier; 2005;210:375–391.
- 317 Ling N, Chen D, Guo H, Wei J, Bai Y, Shen Q, Hu S. Differential responses of soil bacterial
318 communities to long-term N and P inputs in a semi-arid steppe. *Geoderma*. Elsevier B.V.;
319 2017;292:25–33.
- 320 Lopes CR. Expansão da silvicultura de eucalipto do bioma Cerrado: Uma análise sob a
321 perspectiva dos fatores físicos e socioeconômicos. Universidade Federal de Goiás; 2013.
- 322 Mayrink GCV. Nutreecarbon: a simple model to simulate soil organic matter dynamics in
323 short-rotation eucalypt. Universidade Federal de Viçosa; 2017.
- 324 McMahon DE, Vergütz L, Valadares S V., Silva IR da, Jackson RB. Soil nutrient stocks are
325 maintained over multiple rotations in Brazilian Eucalyptus plantations. *Forest Ecology and*
326 *Management*. Elsevier; 2019;448:364–375.
- 327 Melo VDF, Cruz CD, Barros NF De, Novais RF De, Costa LM Da, Fontes MPF. Balanço
328 nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilizade do solo em P, K, Ca e Mg em
329 plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Ipef*. 1995;48/49:8–17.
- 330 Mendes APT. Fertilização e planta e a dinâmica da decomposição de resíduos da colheita de
331 eucalipto [Internet]. Universidade Federal de Viçosa; 2017.
- 332 Nave LE, Vance ED, Swanston CW, Curtis PS. Harvest impacts on soil carbon storage in
333 temperate forests. *Forest Ecology and Management*. 2010;259:857–866.
- 334 Olson JS. Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposers in Ecological

- 335 Systems Author (s): Jerry S . Olson Published by : Ecological Society of America Stable
336 URL : <http://www.jstor.org/stable/1932179> Your use of the JSTOR archive indicates your
337 acce. America. 1963;44:322–331.
- 338 Paes FASV, Lima AMN, Hakamada RE, de Barros NF. Impacto do manejo dos resíduos da
339 colheita, do preparo do solo e da adubação na produtividade de Eucalipto. Revista Brasileira
340 de Ciencia do Solo. 2013;37:1081–1090.
- 341 Poeplau C, Reiter L, Berti A, Kätterer T. Qualitative and quantitative response of soil organic
342 carbon to 40 years of crop residue incorporation under contrasting nitrogen fertilisation
343 regimes. Soil Research. 2017;55:1.
- 344 Quaggio JA, Raij B van. Determinação do pH em Cloreto de Cálcio e da Acidez Total. In:
345 Raij B van, Andrade JC de, Cantarella H, Quaggio JA, organizadores. Análise Química para
346 a Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. 1º ed Campinas: Instituto Agrônômico; 2001.
347 p. 285.
- 348 Raij B van, Quaggio JA. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos
349 com resina trocadora de íons. In: Raij B van, Andrade JC de, Cantarella H, Quaggio JA,
350 organizadores. Análise Química para a Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. 1º ed
351 Campinas - SP: Instituto Agrônômico; 2001. p. 285.
- 352 Reis M das GF, Kimmins JP. Importancia do sistema radicular no crescimento inicial de
353 brotos de Eucalyptus spp. Revista Árvore. 1986;10:196–201.
- 354 Rocha JHT. Manejo de resíduos florestais e deficiência nutricional em duas rotações de
355 cultivo de eucalipto. [Piracicaba]: Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura
356 “Luiz de Queiroz”; 2017.
- 357 Rocha JHT, Gonçalves JL de M, Brandani CB, Ferraz A de V, Franci AF, Marques ERG,
358 Arthur Junior JC, Hubner A. Forest residue removal decreases soil quality and affects wood
359 productivity even with high rates of fertilizer application. Forest Ecology and Management.
360 Elsevier; 2018;430:188–195.
- 361 Rocha JHT, Marques ERG, Gonçalves JL d. M, Hübner A, Brandani CB, Ferraz A d. V,
362 Moreira RM. Decomposition rates of forest residues and soil fertility after clear-cutting of
363 Eucalyptus grandis stands in response to site management and fertilizer application. Soil Use
364 and Management. 2016;32:289–302.
- 365 Santana RC, Barros NF de, Neves JCL. Eficiência de utilização de nutrientes e
366 sustentabilidade da produção em procedências de Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna
367 em sítios florestais do estado de São Paulo. Revista Árvore. 2002;26:447–457.
- 368 Santana RC, Barros NF de, Novais RF, Leite HG, Comerford NB. Alocação de nutrientes
369 em plantios de eucalipto no Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2008;32:2723–
370 2733.
- 371 Schumacher MV, Witschoreck R, Lopes VG, Calil FN. Manejo da biomassa e
372 sustentabilidade nutricional em povoamentos de *Eucalyptus* spp. em pequenas propriedades
373 rurais. Ciência Florestal. 2019;29:144.
- 374 Silva PHM da, Poggiani F, Libardi PL, Gonçalves AN. Fertilizer management of eucalypt
375 plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. Forest Ecology and
376 Management. 2013;301:67–78.
- 377 Smethurst PJ. Forest fertilization: Trends in knowledge and practice compared to agriculture.

- 378 Plant and Soil. 2010;335:83–100.
- 379 Soares CPB, Neto Fr de P, Souza AL de. Dendrometria e inventário florestal. 2º ed. Soares
380 CPB, Neto Fr de P, Souza AL de, organizadores. Viçosa: Editora UFV; 2011.
- 381 Souza IF, Almeida LFJ, Jesus GL, Pett-Ridge J, Nico PS, Kleber M, Silva IR. Carbon Sink
382 Strength of Subsurface Horizons in Brazilian Oxisols. Soil Science Society of America
383 Journal. Wiley; 2018;82:76–86.
- 384 Souza IF, Barros NF, Novais RF, Vergütz L, Silva IR. Potential contribution of eucalypt
385 harvest residues to soil organic carbon in Brazil. New Forests. Springer; 2020;1–22.
- 386 Stape JL, Fonseca S, Loos RA, Takahashi EN, Silva CR, Silva SR, Hakamada RE, Ferreira
387 JM de A, Lima AMN, Gava JL, Leite FP, Andrade HB, Alves JM, Silva GGC, Azevedo
388 MR. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and
389 stand uniformity on wood production. Forest Ecology and Management. Elsevier;
390 2010;259:1684–1694.
- 391 Su Y-Z, Wang F, Suo D-R, Zhang Z-H, Du M-W. Long-term effect of fertilizer and manure
392 application on soil-carbon sequestration and soil fertility under the wheat–wheat–maize
393 cropping system in northwest China. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 2006;75:285–
394 295.
- 395 Tedesco MJ, Gianello C, Bissiani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. Análises de solo, plantas e
396 outros materiais. 2º ed. Tedesco MJ, Gianello C, Bissiani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ,
397 organizadores. Porto Alegre: EMBRAPA; 1995.
- 398 Teixeira JL, de Barros NF, Costa LM Da, Campos JCC, Leal PGL. Biomassa e conteúdo de
399 nutrientes de duas espécies de eucalipto em diferentes ambientes do Médio Rio Doce, MG.
400 Revista Árvore. 1989;13:34–50.
- 401 Valadares SV. Modelagem da aquisição de fósforo e da eficiência nutricional de eucalipto.
402 Universidade Federal de Viçosa; 2015.
- 403 Wan X, Xiao L, Vadeboncoeur MA, Johnson CE, Huang Z. Response of mineral soil carbon
404 storage to harvest residue retention depends on soil texture: A meta-analysis. Forest Ecology
405 and Management. 2018;408:9–15.
- 406 Yeomans JC, Bremner JM. A rapid and precise method for routine determination of organic
407 carbon in soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1988;19:1467–1476.
- 408 Zaia FC, Gama-Rodrigues AC. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de
409 eucalipto na região Norte Fluminense. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2004;28:843–
410 852.
- 411

412 **7. MATERIAL SUPLEMENTAR**

413

414 **Material Suplementar 1.** Valor estimado do parâmetro X para massa seca remanescente e
415 nutrientes liberados dos componentes do resíduo da colheita (folha, casca e galho) e litterfall (folha
416 e galho)

Valor de X							
Componente	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
Folha	0,99988	0,99957	0,99968	0,99988	0,99960	0,99965	0,99959
Galho	1,04040	1,14026	1,08214	0,99907	1,09470	1,04831	1,22411
Casca	0,99589	1,00708	0,99673	0,97757	0,98858	1,01335	1,01502

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

441

442

443 **Material Suplementar 2.** Massa seca e conteúdo dos nutrientes nos componentes da árvore média
 444 de eucalipto manejadas sob Reforma e sob diferentes regimes de fertilização e que foi cubada em
 445 cada unidade experimental, sendo parte aérea (folhas, galhos, casca, lenho) aos 5 anos de idade. A
 446 massa de raiz não foi medida em campo; foi estimada a partir da proporção R:PA obtida em área
 447 experimental vizinha com plantio de eucalipto

Folha							
Fertilizações	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
SA	2,89	58,79	4,66	24,57	18,92	12,21	4,22
AR	4,34	85,07	6,10	31,92	30,21	14,33	5,70
AP	3,73	74,12	5,29	33,37	24,22	12,24	5,88
Galho							
Fertilizações	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
SA	6,26	18,42	2,74	21,24	20,80	9,23	1,50
AR	8,33	22,34	4,07	31,05	40,15	14,85	2,04
AP	10,27	33,90	4,52	35,52	38,20	12,16	2,58
Casca							
Fertilizações	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
SA	9,79	39,92	8,54	44,56	161,60	24,77	4,26
AR	9,97	35,33	8,93	68,81	282,33	31,53	4,13
AP	9,83	32,99	8,79	54,73	256,92	20,70	3,51
Lenho							
Fertilizações	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
SA	99,36	75,39	5,74	86,96	33,48	15,32	9,01
AR	118,71	126,51	8,00	108,44	47,36	17,33	9,73
AP	113,27	85,82	9,72	98,21	50,61	15,89	10,28
Raiz							
Fertilizações	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
SA	10,65	27,81	2,31	16,78	21,13	5,54	3,10
AR	15,55	51,16	4,69	24,51	44,01	8,58	3,70
AP	12,34	44,74	5,15	34,86	33,30	5,49	4,58

448

449

450

451

452

453 **Material Suplementar 3.** Massa seca e conteúdo dos nutrientes nos componentes da árvore média
 454 de eucalipto manejadas sob Condução e sob diferentes regimes de fertilização e que foi cubada em
 455 cada unidade experimental, sendo parte aérea (folhas, galhos, casca, lenho) aos 5 anos de idade. A
 456 massa de raiz não foi medida em campo; foi estimada a partir da proporção R:PA obtida em área
 457 experimental vizinha com plantio de eucalipto

Folha							
Fertilizações	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
SA	4,15	21,76	4,42	33,85	26,16	14,44	5,65
AR	5,38	20,72	5,03	35,34	37,35	14,79	7,05
AP	3,92	21,35	3,81	32,40	26,94	11,74	5,78
Galho							
Fertilizações	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
SA	8,58	23,69	3,56	27,59	28,84	11,80	2,09
AR	10,01	27,59	4,94	35,41	52,21	13,99	2,53
AP	8,46	22,67	4,08	30,77	35,55	10,51	2,40
Casca							
Fertilizações	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
SA	7,46	27,97	7,15	45,60	109,22	15,19	2,61
AR	9,22	34,91	9,03	68,07	194,88	19,08	3,07
AP	7,86	29,37	7,67	46,12	121,43	13,27	2,58
Lenho							
Fertilizações	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
SA	98,53	74,65	6,15	61,95	27,49	9,21	7,20
AR	128,33	96,42	14,14	90,47	53,37	16,09	10,86
AP	103,22	77,87	9,54	76,52	44,12	12,11	8,08
Raiz							
Fertilizações	Massa	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----					
SA	10,68	21,39	2,26	15,99	17,25	4,56	2,87
AR	16,82	34,14	5,73	23,40	37,16	7,03	4,03
AP	11,11	29,84	4,56	29,20	20,52	4,29	3,88

458
 459
 460
 461
 462
 463

