



VITOR AUGUSTO CORDEIRO MILAGRES

**CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA
NUTRICIONAL DE *Eucalyptus urophylla* EM RESPOSTA AO
MANEJO DA FERTILIZAÇÃO NO CERRADO**

LAVRAS – MG

2020

VITOR AUGUSTO CORDEIRO MILAGRES

**CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA
NUTRICIONAL DE *Eucalyptus urophylla* EM RESPOSTA AO
MANEJO DA FERTILIZAÇÃO NO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura e Genética Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Otávio Camargo Campoe

Orientador

LAVRAS – MG

2020

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Milagres, Vitor Augusto Cordeiro.

Crescimento, produtividade e eficiência nutricional de
Eucalyptus urophylla em resposta ao manejo de fertilização no
Cerrado / Vitor Augusto Cordeiro Milagres. - 2020.

77 p. : il.

Orientador(a): Otávio Camargo Campoe.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Adubações em dose única. 2. Adubações parceladas. 3.
Fertilizantes de tecnologia agregada. I. Campoe, Otávio Camargo.
II. Título.

VITOR AUGUSTO CORDEIRO MILAGRES

CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE *Eucalyptus urophylla* EM RESPOSTA AO MANEJO DA FERTILIZAÇÃO NO CERRADO

GROWTH, PRODUCTIVITY AND NUTRITIONAL EFFICIENCY OF *Eucalyptus urophylla* IN RESPONSE TO FERTILIZATION MANAGEMENT IN CERRADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura e Genética Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de novembro de 2020.

Dr. Otávio Camargo Campoe UFLA

Dr. Júlio Cesar Lima Neves UFV

Dr. Alexandre de Vicente Ferraz IPEF

Prof. Dr. Otávio Camargo Campoe

Orientador

LAVRAS – MG

2020



Ad maiorem Dei gloriam

Dedico

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas fizeram parte dessa história, e merecem meu agradecimento:

Àquele que dedico este trabalho, é Quem merece meu agradecimento majoritário, Nosso Senhor Jesus Cristo.

Agradecimento imensamente a todos que colaboraram na implantação e nas atividades de campo, aos amigos José Wilson Francisco da Rocha, Gabriel Victor Alves Nascimento, Luiza Belfort, Bruna Sampaio Crivilin, Guilherme Henrique Carvalho Oliveira.

Agradeço à Gerdau Florestal pela disponibilidade da área e dos dados para realização deste trabalho, especialmente aquele que primeiro incentivou a fazer um programa de mestrado, Guilherme Henrique Dutra Siqueira.

Agradeço de forma especial, Francisco Sérgio Gomes, pelos anos de ensinamento em nutrição e manejo florestal.

Aos professores que contribuíram diretamente com este trabalho: Hélio Garcia Leite com o auxílio em modelagem e manejo, Júlio César Lima Neves com o auxílio nos dados de biomassa, Tales Jesus Fernandes com o auxílio em estatística.

Ao meu orientador, Otávio Camargo Campoe, pela aceitação na orientação, e sugestões ao longo desse projeto.

Aos meus queridos pais, Hernani Ladislau Milagres, Maria Auxiliadora Cordeiro Milagres, pelo constante incentivo, que merecem páginas e páginas de agradecimento.

Por fim, as minhas três marias, Isabela Maria Costa Cordeiro Milagres, fiel e querida esposa que sempre esteve do meu lado, e as minhas pequenas Maria Vitória Costa Cordeiro Milagres e Catarina Maria Costa Cordeiro Milagres que me ensinaram a trabalhar e estudar entre as 22h e 07h da manhã e a ser uma pessoa melhor.

RESUMO

Apesar da adubação ser uma atividade essencial para obtenção da produtividade atingível, esta prática, pode ser bastante onerosa para o silvicultor pelo custo dos adubos e das operações envolvidas. A utilização de um nível tecnológico mais elevado de fertilizantes pode reduzir eventuais perdas que ocorrem no sistema, tais como lixiviação, volatilização, fixação de fósforo ou ainda reduzir operações de adubação, em regiões do Cerrado em que a baixa fertilidade é um fator limitante para a produtividade. Pretendeu-se, neste trabalho, comparar diferentes pacotes nutricionais, aplicados em duas formas distintas, dose única e parcelado, avaliando aspectos produtivos e econômicos e eficiências nutricionais de um plantio de *Eucalyptus urophylla* no centro-norte de Minas Gerais. O solo do talhão experimental é um Latossolo Amarelo Ácrico típico, A moderado, textura média arenosa. O experimento constou de sete tratamentos em um delineamento em faixas com efeitos de tratamentos corrigidos para linhas e colunas. O mesmo foi avaliado até aos 71 meses de idade, sendo avaliados a modelagem de crescimento e produção, índice de área foliar (IAF), índice de uniformidade (PV 50), quantificação da biomassa e coeficiente de utilização biológica integralizado (CUB int) e eficiência de utilização de nutrientes. Análises descritivas foram utilizadas para avaliar as tendências de comportamento dos parâmetros de crescimento ao longo dos anos. Teste de Tukey foi utilizado para avaliação dos dados volumétricos, comparação de biomassa e partição do conteúdo de nutrientes nos compartimentos, CUBint e eficiência do conteúdo do nutriente para produção do tronco e parte aérea. Teste de contrastes de grupos de médias foram estabelecidos para comparar os tratamentos com fertilização NPK em dose única e os tratamentos em dose parcelada. Não foi observado diferença no incremento ao utilizar a tecnologia MPPA (ácido polifenólico macromolecular) ou CSP (complexo superfosfato) na adubação fosfatada junto da subsolagem. Durante a realização deste trabalho foi observado déficit hídrico na região, resultando em perda de produtividade de pelo menos 20 m³.ha⁻¹ ao longo dos 71 meses. O custo da adubação por volume de madeira produzida foi inferior no tratamento MPPA280 + META400SS + META200Cb. A eficiência de utilização de nutrientes da parte aérea para os grupos de adubação em dose única e parcelado não apresentaram diferenças significativas. Os custos referentes à colheita foram os mesmos para os tratamentos adubados com NPK, uma vez que o VMI dos mesmos se encontravam na mesma classe de pagamento. A redução do parcelamento da fertilização apresenta-se viável, tanto em rendimento volumétrico, eficiência de utilização de nutrientes, como em custos da colheita, utilizando-se a mesma quantidade de nutrientes e fertilizantes de tecnologia agregada.

Palavras-chaves: Adubações em dose única. Adubações parceladas. Fertilizantes de tecnologia agregada.

ABSTRACT

Although fertilization is an essential activity to obtain attainable productivity, this practice can be quite costly for the forester due to the cost of fertilizers and the operations involved. The use of a higher technological level of fertilizers can reduce eventual losses that occur in the system, such as leaching, volatilization, phosphorus fixation or even reduce fertilization operations, in regions under Cerrado where low fertility is a limiting factor for the productivity. The aim of this work was to compare different nutritional packages, applied in two different forms, single and split dose, evaluating productive and economic aspects and nutritional efficiencies of a plantation of *Eucalyptus urophylla* in the center-north of Minas Gerais. The soil of the experimental plot is a typical Yellow Oxisol, A moderate, medium sandy texture. The experiment consisted of seven treatments in a banded design with the effects of corrected treatments for rows and columns. It was evaluated up to 71 months of age, with growth and production modeling, leaf area index (LAI), uniformity index (PV 50), biomass quantification and integrated biological utilization coefficient (CBU int) and efficiency of nutrient use. Descriptive analyzes were used to assess trends in the behavior of growth parameters over the years. Tukey's test was used to assess volumetric data, compare biomass and partition nutrient content in compartments, CUBint, and efficiency of nutrient content for trunk, and shoot production. Contrast tests of groups of means were established to compare treatments with NPK fertilization in a single dose and treatments in split doses. No difference was observed in the increment when using the technology MPPA (macromolecular polyphenolic acid) or CSP (superphosphate complex) in phosphate fertilization in subsoiling. During this work, a water deficit was observed in the region, resulting in a loss of productivity of at least 20 m³.ha⁻¹ over the 71 months. The cost of fertilization by volume of wood produced was lower in the MPPA280 + META400SS + META200Cb treatment. The efficiency of use of nutrients from the aerial part for the fertilization groups in single and split doses did not present significant differences. The costs related to the harvest were the same for treatments fertilized with NPK, since their VMI were in the same payment class. Reducing the spread of fertilization is feasible, both in terms of volumetric yield, efficiency in the use of nutrients, and in harvest costs, using the same amount of nutrients and fertilizers from aggregate technology.

Keywords: Single dose fertilization. Fertilization in split doses. Aggregate technology fertilizers.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. Características do solo do Cerrado.....	12
2.2. Produtividade potencial e conceitos de adubação	13
2.3. Manejo de adubação	16
2.3.1. Modos de aplicação dos fertilizantes	16
2.3.2. Época de aplicação	17
2.3.3. Fontes de fertilizantes.....	18
2.3.4. Dose aplicada.....	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1. Área de estudo	22
3.2. Caracterização do experimento	23
3.3. Avaliações volumétricas e modelagem de crescimento e produção	27
3.4. Índice de Área foliar (IAF)	28
3.5. Índice de uniformidade (PV 50).....	31
3.6. Quantificação da Biomassa	31
3.7. Coeficiente de utilização biológica (CUB)	32
3.8. Análises estatística.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1. Crescimento e produção.....	36
4.2. Biomassa e avaliações nutricionais	48
5. CONCLUSÃO.....	63
6. REFERÊNCIAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

O Brasil está no topo da produção de florestas plantadas, setor este que fortalece a economia e auxilia no fornecimento de energias sustentáveis e renováveis. A produção de eucalipto e pinus no país atinge a marca de 95% de toda madeira produzida para fins comerciais, e, em 2019, já possui um total de 8,61 milhões de hectares de área plantada. Entre estes gêneros, o eucalipto é a cultura de maior destaque nesse cenário, pois representa 77,44% desse montante, (Relatório 2020 IBÁ, 2020).

O Cerrado brasileiro é hoje muito explorado devido ao seu potencial florestal, contudo, de maneira geral, este bioma possui solos de baixa fertilidade natural, e, por isso, exigentes em correção nutricional (CHICHORRO et al., 1994), levando a redução da capacidade produtiva do sítio (SANTANA; BARROS; NEVES, 1991). A região deste bioma também é bastante atingida por deficiência hídrica, dificultando ainda mais seu manejo (GONÇALVES, 1995). Stape (2002) concluiu que o aporte hídrico foi o principal elemento controlador da produtividade do eucalipto (clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus uroplhylla*) e do uso de recursos naturais, impactando na produção de madeira em períodos de seca. Com isso, vemos o grande desafio de manejar florestas plantadas nesta parte do país.

Um ecossistema florestal sustentável depende diretamente da estabilidade do balanço de nutrientes a curto, médio e longo prazo. Empregar técnicas de manejo adequadas como escolha do material genético com maior eficiência de utilização de nutrientes, fazer poucas intervenções antrópicas, garantir que o ciclo seja longo e que a ciclagem de nutrientes tenha máximo desempenho, auxilia na conquista desse objetivo (SANTANA et al., 2002).

A sustentabilidade biológica/ambiental depende da capacidade dos sítios de disponibilizar fatores para a produção física de madeira, mantendo as bases para o funcionamento equilibrado do ecossistema, tais como conservação do solo, qualidade da água, do ar e a fauna silvestre (BARROS, NEVES e NOVAIS, 2005). De modo geral, nas espécies do gênero *Eucalyptus*, a fertilização favorece a sustentabilidade dos povoamentos, além de aumentar a produtividade (SILVA et al., 2008; VALE et al., 2000). As adubações devem corrigir ao máximo as limitações nutricionais, e ainda assim, fornecer à planta parte do necessário para seu crescimento com vigor.

Para evitar a perda de nutrientes por volatilização, lixiviação, imobilização e erosão recomenda-se que a adubação de NK seja feita de forma parcelada, parte por ocasião do plantio e o restante em cobertura (GONÇALVES, 1995). Geralmente realiza-se a adubação de base (adubação fosfatada) a fim de fornecer fósforo para o arranque e desenvolvimento inicial das

mudas. Seguido da calagem, visando corrigir os níveis de Ca e Mg. Após essa etapa, vêm as adubações de manutenção ou cobertura, para que os níveis de NKS e micronutrientes como B, Cu e Zn sejam supridos. A adubação de cobertura é parcelada mais frequentemente em duas, a primeira, recorre-se à aplicação de NK e no segundo momento, a aplicação de K (GONÇALVES, 1995).

A adubação e o seu manejo pode representar mais de 25% do custo de formação da floresta (IFP, 2020) e o cenário atual para compra de insumos apresenta-se instável devido ao aumento e oscilação constante de preço. Este pode ser explicado pelos seguintes fatores: Demanda maior que oferta, dependência da matéria prima importada, preço de petróleo, impactando no transporte dos insumos e flutuação do dólar. Diante deste cenário, a adubação em dose única surge como uma alternativa econômica visando diminuir o número de operações.

A utilização de um nível tecnológico mais elevado, tais como fertilizantes com especificidades que prometem reduzir a lixiviação e volatilização ou ainda reduzir a fixação de fósforo, podem proporcionar o aumento no potencial produtivo em regiões como do Cerrado, onde a baixa fertilidade é um fator extremamente limitante.

Dessa forma, esse trabalho objetiva comparar diferentes pacotes nutricionais, aplicados em duas formas distintas, em dose única e parcelado, avaliando fatores produtivos, eficiências nutricionais e fatores econômicos de um plantio de *Eucalyptus urophylla* no Centro-Norte de Minas Gerais, e para isso foram propostas as seguintes hipóteses.

I – O parcelamento da fertilização favorece a absorção de nutrientes pela planta, refletindo no aumento de produtividade;

II – O parcelamento de fertilização favorece a absorção de nutrientes pela planta, refletindo no aumento do crescimento e da produção de biomassa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Características do solo do Cerrado

A baixa fertilidade dos solos do Cerrado e a alta saturação de alumínio é um fator limitante para a produtividade de grande parte das culturas agrícolas (ARENS, 1958; HARIDASAN, 2000). Todavia, apesar das limitações químicas, a maioria das áreas são agricultáveis pois estão situadas em relevo plano a suave ondulado, e com baixa declividade e baixa dificuldade à mecanização, apresentando diferentes aptidões agrícolas de acordo com o uso e tipo de utilização do solo.

Na tabela 2, encontram-se as principais classes de solos da região. Há uma predominância de Latossolos representando mais de 45% de todo o cerrado, seguido de Neossolo Quartzarênico com 15,2% e Argissolos com 15,1% (CORREIA; REATTO; SPERA, 2004).

Tabela 2 - Principais classes de solos da região do Cerrado

Classe de solo	Ocorrência estimada (%)
Latossolos	45,7
Latossolo Vermelho	22,1
Latossolo Vermelho-Amarelo	21,6
Latossolo Amarelo	2,0
Neossolo Quartzarênico	15,2
Argissolos	15,1
Argissolo Vermelho	6,9
Argissolo Vermelho-Amarelo	8,2
Solos plínticos	9,0
Plintossolo háplico/argilúvico	6,0
Plintossolo Pétrico	3,0
Solos hidromórficos	2,5
Gleissolo háplico/melânico	2,3
Neossolo Flúvico	<1,0
Organossolo Mésico/Háplico	<1,0
Solos litólicos	7,3
Cambissolo	3,1
Nitossolo Vermelho	1,7
Outros	0,4
Total	~100

Fonte: (Adaptado de Correia et al. (2004)).

Segundo Silva (2020), os Latossolos podem possuir raízes em profundidades de até 20 metros, com potencial de absorção de água e nutrientes em plantações de eucalipto, enquanto para os Neossolos Quartzarênicos, podem alcançar até 15 metros.

De modo geral, para os Latossolos os principais impedimentos ao seu pleno aproveitamento são a baixa fertilidade e a presença de alumínio tóxico para as plantas; grande capacidade de fixação de fósforo (dependendo do teor de argila), e além destes, o relevo mais acidentado principalmente nas Zonas da Mata e Sul de Minas Gerais (AMARAL et al., 2004; GONÇALVES, 2002).

Por sua vez o Neossolos Quartzarênicos são solos arenosos, essencialmente quartzosos, excessivamente drenados, profundos e de baixa fertilidade natural. Apresentam como principais limitações à exploração agrícola, a baixa fertilidade natural, a baixa CTC e a baixa retenção de água (AMARAL et al., 2004). Tanto nos Latossolos quanto nos Neossolos Quartzarênicos, utilizando métodos conservacionistas tais como cultivo mínimo e plantio direto, além das devidas correções da acidez do solo, saturação de alumínio, é possível favorecer uma boa produção (SOUSA; LOBATO, 2020).

Para eucalipto, especificamente, além do manejo adequado do solo, é importante ressaltar que o curto ciclo de corte e elevada exportação de nutrientes pela madeira indicam que a sustentabilidade dos povoamentos, a curto ou a longo prazo, está condicionada não só ao manejo do solo, mas também ao monitoramento nutricional e à utilização de fertilizantes (SILVEIRA et al., 2001).

2.2. Produtividade potencial e conceitos de adubação

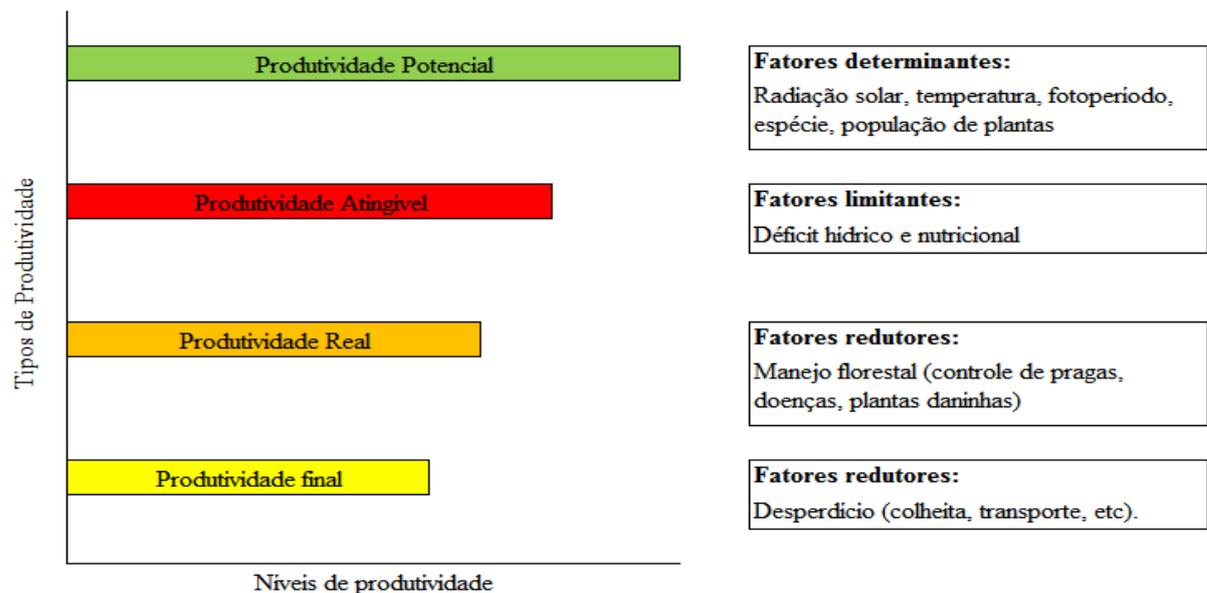
A análise de quebra de produtividade (conhecida como Yield Gap) vem sendo amplamente aplicada para identificar a magnitude e as principais causas das perdas de produtividade de diversas culturas (Figura 1). Com base nessas informações, é possível estabelecer estratégias para mitigar tais perdas, sejam elas oriundas do déficit hídrico (DH) ou do manejo subótimo (SENTELHAS; ELLI; FREITAS, 2018)

Os autores Lobell; Cassman e Field (2009) apresentaram um conceito de produtividade potencial (PP), isto é, a produtividade de uma cultura quando cultivado em condições favoráveis, sem limitações de crescimento de água, nutrientes, pragas ou doenças. Para qualquer local e estação de crescimento, a produtividade potencial é determinada por três fatores: (a) radiação solar, (b) temperatura e (c) suprimento de água. Esta produtividade é teórica, uma vez que não é possível obter em campo, apenas em modelos matemáticos.

Além da produtividade potencial, alguns autores adotaram um outro conceito de produtividade, chamada de produtividade atingível (PA). A PA é aquela obtida a partir da penalização ou quebra da produtividade potencial pelo déficit hídrico que ocorre em cada fase de desenvolvimento da cultura (BATTISTI; SENTELHAS; PILAU, 2012). Além da penalização pelo déficit hídrico, a penalização também reflete a deficiência nutricional que este causa, já que a absorção de água pelas raízes é o veículo para que as plantas absorvam os nutrientes disponíveis no solo (SENTELHAS et al., 2016).

Já a produtividade real (PR), é aquela que considera, além dos fatores determinantes e limitantes, os fatores redutores decorrentes do manejo florestal deficiente, como o ataque de pragas, plantas daninhas, doenças. Finalmente, a produtividade final (PF) é aquela que efetivamente será contabilizada, levando em conta também aspectos relativos às perdas decorrentes dos processos de colheita e transporte (SENTELHAS; ELLI; FREITAS, 2017).

Figura 1: Tipos e níveis de produtividade do eucalipto e seus fatores condicionantes



Fonte: (SENTELHAS; ELLI; FREITAS, 2017).

É importante diferenciar o déficit nutricional como fator limitante e fator redutor. O fator limitante refere-se a redução da absorção de nutrientes causada pelo déficit hídrico (SENTELHAS; ELLI; FREITAS, 2017), uma vez que a falta de água impacta na solubilidade dos nutrientes e translocação do mesmo à planta. Por sua vez, há o déficit (ou ainda excesso) nutricional como fator redutor, isto é, decorrente de fertilização e seu manejo inadequados.

A fertilização inadequada está diretamente relacionada com o teor do nutriente no solo e, conseqüentemente, no tecido vegetal.

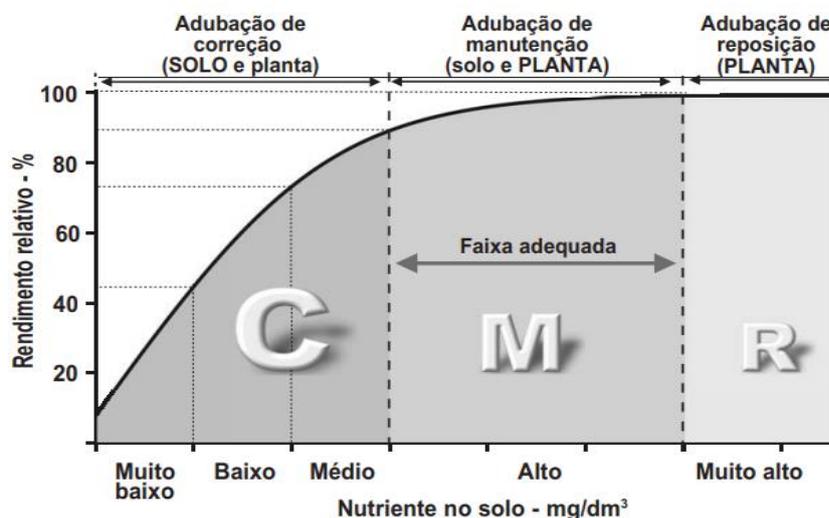
Na Figura 2 são representadas três faixas de teores de um nutriente no solo e as respectivas indicações gerais de adubação. A faixa C representa a necessidade de adubação de correção. É nesta faixa em que a quantidade do nutriente para o desenvolvimento da cultura é “Muito Baixo”, “Baixo” ou “Médio”. A não adubação de correção proporciona a deficiência nutricional como fator redutor.

Para solos com teores “Muito baixo” até o nível “Médio”, deve-se adotar o manejo da adubação para a construção da fertilidade. Esses são solos característicos de abertura de área ou de pastagens degradadas, ou ainda solos representativos do Cerrado, que em função da grande deficiência nutricional, apresentam grande resposta de produção aos aumentos das doses de nutrientes (OLIVEIRA JUNIOR; CASTRO, 2020).

Na faixa M que se encontra entre o teor "Médio" e "Muito alto", há a necessidade de uma adubação de manutenção, que é a soma das perdas eventuais do nutriente do sistema, tais como erosão, lixiviação, fixação, volatilização, e a retirada pela cultura. Já na faixa de teor "Muito alto", é suficiente uma adubação de reposição (R) equivalente à exportação do nutriente da lavoura pelos produtos colhidos (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC, 2004).

Para uma correta adubação de reposição deve-se atentar para os estoques nutricionais na planta, evitando o excesso da adubação. Este pode acarretar em fitotoxidez, que por sua vez, resulta na redução do rendimento relativo e na inviabilidade econômica. Tanto a deficiência quanto o excesso nutricional são fatores redutores da produtividade.

Figura 2: Relação entre o rendimento relativo de uma cultura e o teor de um nutriente no solo e as indicações de adubação para cada faixa de teor no solo, sendo C: necessidade de correção, M: necessidade de adubação de manutenção e R: adubação de reposição



Fonte: (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC, 2004).

2.3. Manejo de adubação

É fundamental considerar que a adubação é um procedimento realizado com o propósito de “complementar” o que o solo tem para disponibilizar às plantas, dadas suas características de material de origem e histórico de uso (CERETTA; SILVA; PAVINATO, 2007). Ela precisa satisfazer a exigência da planta para a formação da colheita, complementando a contribuição do solo. Para manter a fertilidade química, a adubação deve, pelo menos, compensar as quantidades de macro e micronutrientes exportadas da colheita, além daquelas perdidas pelo solo através da erosão, lixiviação ou ainda volatilização (CASARIN; STIPP, 2013).

Para isso, aplicar o fertilizante na fonte certa, na dose certa, na época certa e no local certo é a fórmula para garantir a eficiência no uso dos nutrientes e alcançar maiores rendimentos (PROCHNOW; PETERSON; BRUULSEMA, 2019). Essas práticas, conhecidas como manejo de adubação, além de outras práticas silviculturais como controle de plantas daninhas, pragas e doenças, escolha do material genético adaptável, uso e manejo da água e do solo, favorecem a maior eficiência técnica e econômica das diferentes culturas.

2.3.1. Modos de aplicação dos fertilizantes

Os fertilizantes, de modo geral, podem ser aplicados de diversas formas distintas, isto é, desde aplicações à lanço, em cobertura, em filete contínuo, até aplicações em linha do sulco de plantio, dependendo se a cultura for anual ou perene, das características físico-químicas do solo, e dos processos de contato íon-raiz de cada nutriente, sejam eles interceptação radicular, fluxo de massa ou difusão.

Aplicar os nutrientes no lugar certo ajuda a assegurar que as raízes das plantas possam absorver o suficiente de cada nutriente em todos os momentos da fase de crescimento (REETZ, 2017). A porcentagem relativa dos processos de contato de nutrientes até as raízes das plantas com a localização do adubo é dada na tabela 1. O fluxo de massa é importante especialmente para as adubações nitrogenadas, além das adubações de cálcio, magnésio, enxofre, boro e molibdênio. A difusão é o principal processo de contato de P e K do solo com as raízes, além dos micronutrientes Mn, Zn, Fe e Cu.

Tabela 1: Relação entre o processo de contato e a localização dos fertilizantes.

Elemento	Processo de contato (%)			Aplicação do fertilizante
	Interceptação radicular	Fluxo de massa	Difusão	
Nitrogênio	1	99	0	Distante, em cobertura (parte)
Fósforo	2	4	94	Próximo das raízes
Potássio	3	25	72	Próximo das raízes, em cobertura
Cálcio	27	73	0	A lanço
Magnésio	13	87	0	A lanço
Enxofre	5	95	0	Distante, em cobertura (parte)
Boro	3	97	0	Distante, em cobertura (parte)
Cobre	15	5	80	Próximo das raízes
Ferro	40	10	50	Próximo das raízes
Manganês	15	5	80	Próximo das raízes
Zinco	20	20	60	Próximo das raízes
Molibdênio	5	95	0	Em cobertura (parte)

Fonte: (MALAVOLTA, 1989)

Os fertilizantes que possuem os elementos que se movem por difusão, devem ser aplicados preferencialmente próximo às raízes no fundo da cova. Por sua vez, os fertilizantes que possuem nutrientes que se movem através de fluxo de massa, deslocam-se mais facilmente em direção à raiz, e por isso, é mais recomendado sua aplicação em maiores distâncias do sistema radicular (aplicação a lanço), para que o nutriente não percole com a água que desce para o lençol freático e fique fora da zona de absorção radicular. O parcelamento da adubação, em aplicações em cobertura, pode ser necessário (LUZ; FERREIRA; BEZERRA, 2003).

2.3.2. Época de aplicação

Manejar a adubação quanto à época de aplicação e parcelamento das doses significa compatibilizar a dinâmica dos nutrientes no solo com a fisiologia das plantas, levando em consideração também os aspectos operacionais de cultivo (CERETTA; SILVA; PAVINATO, 2007).

A época de aplicação de fertilizantes deve coincidir com aquela que antecede a maior demanda da cultura, desde que estes fertilizantes sejam de alta solubilidade (LOPES; GUILHERME, 2000). De maneira geral, nutrientes pouco móveis no solo são aplicados preferencialmente antes do plantio, como o P, Zn, Cu, enquanto aqueles de maior mobilidade

são aplicados parceladamente, parte no plantio e o restante na cobertura, tais como N, K e B (CERETTA; SILVA; PAVINATO, 2007; SILVEIRA et al., 2001).

O potássio trocável, por exemplo, é a fonte mais importante para as plantas do Cerrado (VILELA; SOUSA; SILVA, 2004). Todavia a eficiência da sua adubação é baixa, uma vez que apresenta significativa lixiviação em razão dos solos florestais serem altamente intemperizados e por muitos apresentarem textura arenosa (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000). Por conta disso, a deficiência desse macronutriente aparece numa maior frequência quando comparada a dos demais macronutrientes em Neossolos Quartzarênicos e Latossolos (SILVEIRA; GAVA; MALAVOLTA, 2005) e seu parcelamento faz-se necessário. Para o potássio, recomenda-se até três aplicações, sendo elas de 2 a 3 meses, 6 a 9 meses e a terceira de 12 a 18 meses após o plantio (SILVEIRA et al., 2001).

De qualquer modo, a melhor forma de definir as épocas das adubações é através do acompanhamento visual ou por medições dendrométricas do crescimento da floresta, o que permite caracterizar o estágio de desenvolvimento desta (GONÇALVES, 1995).

2.3.3. Fontes de fertilizantes

Combinar as fontes de fertilizantes com a necessidade da cultura e as propriedades do solo, atentando-se para as interações dos elementos e o equilíbrio entre os nutrientes, é uma das chaves para aumentar a eficiência do uso de nutrientes (ROBERTS, 2007).

A seleção da fonte começa com a verificação de quais nutrientes são realmente necessários para chegar a produção esperada (CASARIN; STIPP, 2013). Para eucalipto as fontes essenciais são os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S e os micronutrientes B, Cu, Zn, Fe e Mn, todavia os solos do Cerrado possuem altos teores de Mn e Fe (LOPES, 1996; LOPES; COX, 1977), não sendo necessário sua fertilização na maioria das vezes.

Entre os macronutrientes primários, por exemplo, o fósforo é o que apresenta a maior variação de fontes disponíveis, desde produtos solúveis em água, ácido cítrico ou citrato neutro de amônio. Conhecendo-se o produto e suas solubilidades, pode-se, de maneira geral, prever sua eficiência agrônômica e a melhor forma de utilização (SOUSA; LOBATO, 2003; SOUSA; LOBATO; REIN, 2004).

Silveira e Gava (2004) apresentaram algumas fontes de fósforo e as condições mais adequadas para o uso de cada uma. Estas informações estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2: Fontes de fósforo e condições mais adequadas para o seu uso.

Fontes	Condição mais adequada para uso
Superfosfato simples $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaSO}_4$	Fonte solúvel, apresenta excelente resultado quando utilizada na cova ou sulco de plantio. É recomendada para solos de cerrado com baixo teor de matéria orgânica ($< 20 \text{ g dm}^{-3}$), enxofre ($< 5 \text{ mg dm}^{-3}$) e com altos teores de alumínio.
Superfosfato triplo $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	Fonte solúvel, apresenta excelente resultado quando utilizada na cova ou sulco de plantio. O seu uso em solos com baixo teor de matéria orgânica (enxofre) deve estar associado a aplicação de gesso como corretivo antes do plantio ou a uma fonte de S na cobertura (sulfato de amônio).
Fosfatos naturais $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{ CaX}$ onde X pode ser: flúor (F^-) hidróxido (OH^-) carbonato (CO_3^{2-})	Produzem melhores efeitos em solos ácidos, ricos em matéria orgânica, com baixo teor de Al trocável e com boa distribuição da precipitação durante o ano. Dentro dos fosfatos naturais deve se dar preferência para o uso dos sedimentares (fosforitas) em relação aos de origem ígnea (apatitas). Não é recomendado para aplicação superficial e também em solos que receberam calagem ($\text{pH CaCl}_2 > 6,0$)
Termofosfato magnésiano $[3 \text{ MgO CaO P}_2\text{O}_5 \cdot 3(\text{CaO SiO}_2)]$	A solubilidade depende da acidez do solo. É recomendado para solos ácidos e naqueles com topografia acidentada, cuja calagem seja de difícil aplicação, pois nesse caso, além de ser boa fonte de P, corrige o solo (silicatos e óxidos) e fornece Ca e Mg.

Fonte: (SILVEIRA; GAVA, 2004)

É importante ressaltar que além das fontes, há ainda vários aditivos e tratamentos nos nutrientes com o intuito de provocar modificações na disponibilidade dos nutrientes. Isto inclui produtos de várias espécies que diminuem as conversões químicas, materiais fertilizantes encapsulados em algum tipo de revestimento protetor, ou que, de outra forma, modifica a taxa ou liberação de nutrientes do material fertilizante (REETZ, 2017).

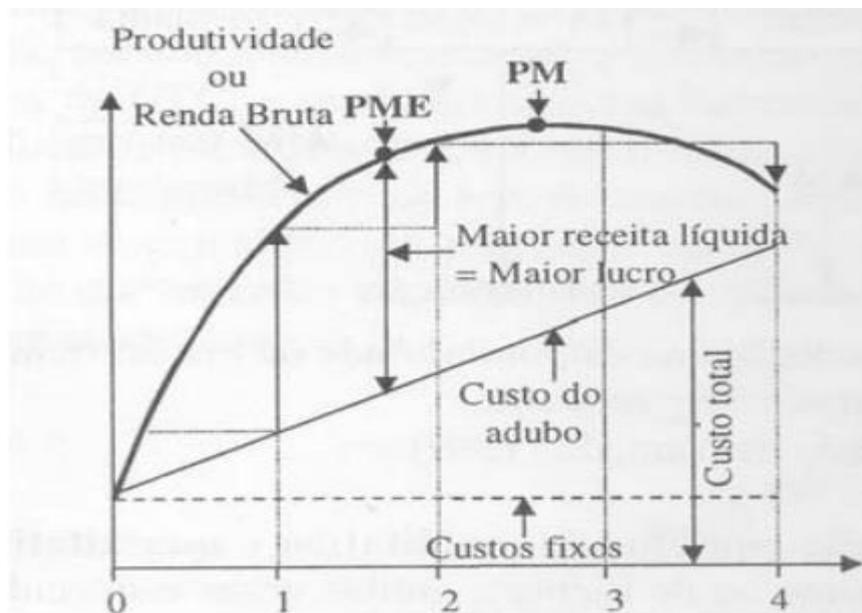
A utilização de fontes que apresentam liberação controlada dos nutrientes pode garantir a manutenção do sincronismo entre a liberação de nutrientes ao longo do tempo e as necessidades da planta, favorecendo seu crescimento e desenvolvimento, além de reduzir gastos com mão de obra e operação. Também é útil na redução das perdas de nutrientes por erosão e contaminação dos recursos hídricos (CASARIN; STIPP, 2013).

2.3.4. Dose aplicada

A dose certa considera o poder de suprimento do solo em relação à necessidade de nutriente para a cultura. As plantas requerem doses diferentes dos diversos nutrientes em variados estágios da estação de crescimento. A dose deve ser ajustada para ajudar o balanço no suprimento de nutrientes em função da remoção pelas culturas, durante todo o ciclo, para evitar estresse de deficiência e perdas econômicas (REETZ, 2017)

Em relação à dose é fundamental levar também em consideração a “Lei dos Incrementos Decrescentes”: para cada incremento sucessivo da quantidade de fertilizante, ocorre um aumento cada vez menor na produção (MITSCHERLICH, 1909). Em termos práticos, essa lei orienta no sentido de que as adubações não devem visar a Produtividade Máxima, PM, mas a produtividade que proporcione o maior lucro para o agricultor, isto é, a Produtividade Máxima Econômica, PME (LOPES; GUILHERME, 2000). Importante ressaltar que a produtividade máxima econômica geralmente está associada ao nível crítico, isto é, em torno de 90% da produtividade máxima.

Figura 3: Relação entre eficiência das adubações e a produtividade máxima econômica e a produtividade máxima.



Fonte: (ALCARDE; GUIDOLIN; LOPES, 1998)

Atrelado a aplicação da dose correta e as demais práticas de manejo de adubação está a silvicultura de precisão, que favorece o controle de qualidade das operações florestais. De acordo com GALIZIA; RAMIRO; ROSA (2016) na operação de fertilização, comparando o sistema de aplicação convencional (sem controlador) e o de precisão (com controlador), no

sistema de aplicação de fertilizantes de precisão houve redução de 43% no número de amostras fora de um intervalo aceitável tecnicamente.

Pereira e Franciscatte (2017) também observaram que o uso do sistema de precisão possibilitou a melhoria na acurácia da aplicação de fertilizantes, pois esta ferramenta ajustou a quantidade de fertilizante aplicado na linha de plantio, favorecendo o crescimento inicial e homogêneo da floresta, além de contribuir para o índice de uniformidade da floresta aos seis e dose meses.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

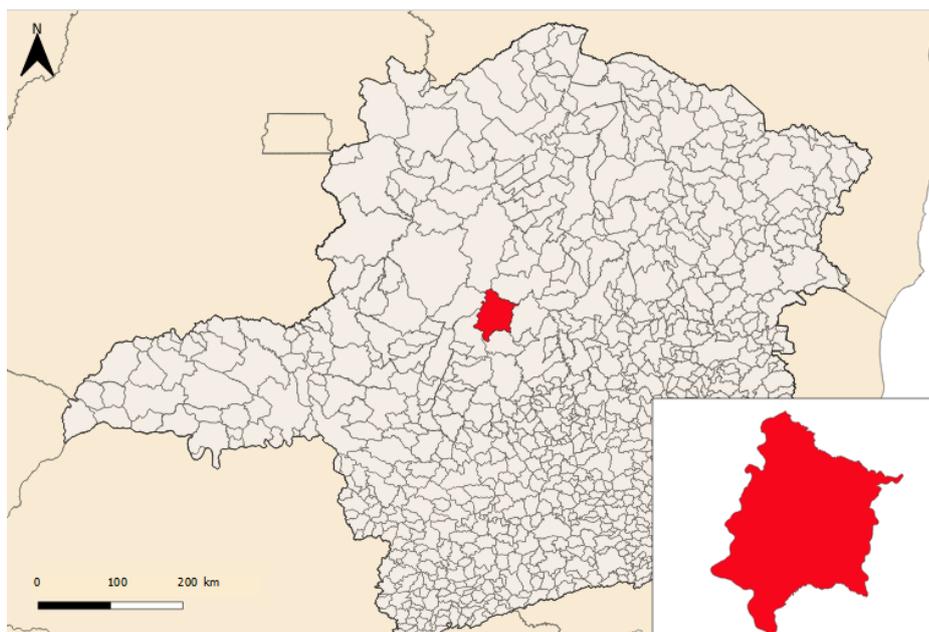
3.1. Área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Cabana Santa Bárbara localizada no município de Três Marias – MG, bacia do rio São Francisco, na latitude de 18°14'18.78'' S e longitude 45°04'41.17'' O (Figura 4).

O clima da região é do tipo Cwa (ALVARES et al., 2013) caracterizado por verões úmidos e invernos secos (EIDT, 1968), com temperatura média anual entre 19,8 e 25,3 °C e precipitação média anual variando de 1200 a 1500 mm (QUEIROZ et al., 1980). A distribuição das chuvas é irregular ao longo dos meses com um período de seca que vai de maio a outubro. Ressalta-se que a região tem passado por períodos de déficit hídrico, com uma média pluviométrica dos últimos 7 anos de 1167 mm (Figura 5).

Nesta região predomina chapadas e platôs, com materiais altamente lixiviados, ricos em alumínio e baixa fertilidade natural, características químicas e estruturais que condicionam baixa capacidade de retenção e fixação de nutrientes. São mais representativos os solos de textura arenosa e média tais como os Neossolos Quartzarênicos (RQo2) e Latossolos Vermelhos distróficos (LVd3), segundo o mapeamento pedológico semidetalhado da fazenda (RIZZO, 2019).

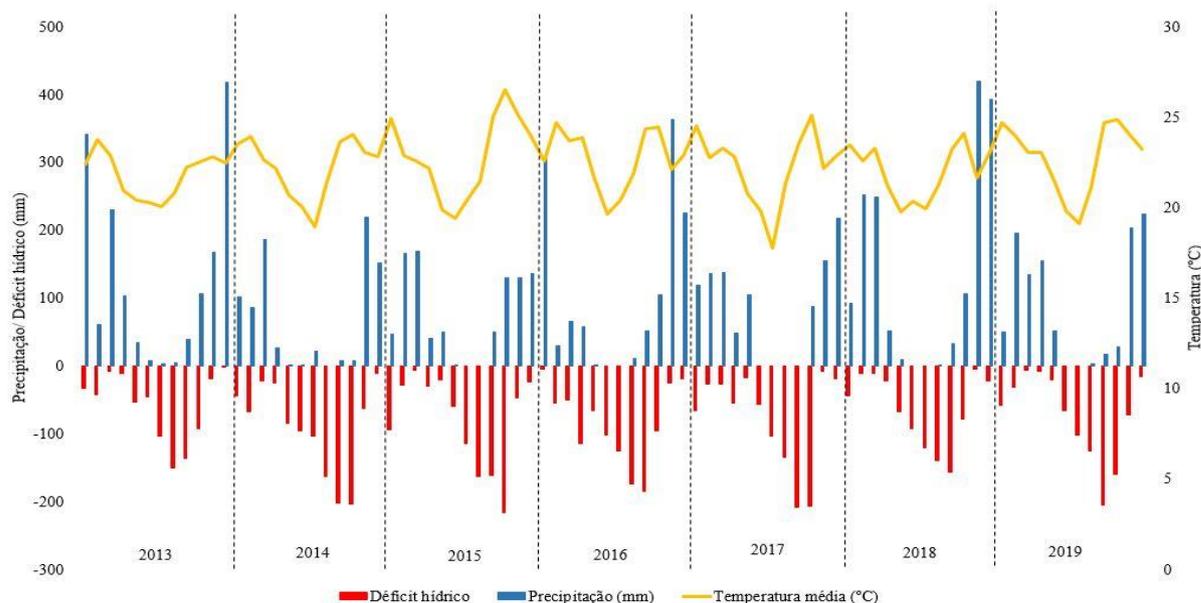
Figura 4: Mapa da localização do Estado de Minas Gerais no Brasil e do município de Três Marias no Estado de Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2020).

A altitude da fazenda varia de 710 e 840 m, sendo que na área experimental a altitude é de 831 m.

Figura 5 - Déficit hídrico (mm), precipitação (mm) e temperatura média (°C) de 2013 a 2019 em Três Marias, MG.



Fonte: INMET (2020).

3.2. Caracterização do experimento

O ensaio foi implantado em uma área de aproximadamente 6,5 hectares em um Latossolo Amarelo Ácrico típico, A moderado, textura média arenosa (LAW3) cuja representação está na figura 6. A declividade do talhão experimental é suave ondulado e o mesmo tem histórico de plantio de eucalipto. Portanto havia resíduos de folhas, galhos e raízes no local.

A implantação deu-se em julho de 2013 quando se iniciou a demarcação de cada tratamento e o preparo do solo. Todos os tratamentos receberam o preparo, inclusive o tratamento controle que não teve a adubação de base. Este foi realizado de forma semimecanizada com a abertura do sulco por um subsolador e a adubação e fechamento do sulco de forma manual. A adubação no sulco foi feita na profundidade de 27 a 37 cm de profundidade. O experimento consistiu de 07 tratamentos em um delineamento em faixas com efeitos de tratamentos corrigido para linhas e colunas, mesmo método utilizado por (BAZANI, 2014). Cada tratamento continha 3 repetições com 36 plantas por parcela.

O plantio manual ocorreu em agosto de 2013 num espaçamento de 3 x 3 m. Foi escolhido um clone da espécie *Eucalyptus urophylla*, conhecido comercialmente como GG 1923. O replantio ocorreu logo após a avaliação de sobrevivência aos 30 dias, no início de outubro. Neste talhão experimental ocorreu controle de formiga com adição de iscas formicidas antes e após o plantio e controle de mato competição com pré-emergente na linha e campina mecânica na entrelinha.

Figura 6 - Classes de solos da fazenda Cabana Santa Bárbara e do talhão experimental.



Fonte: Do autor (2020); Google (2020).

Os resultados das análises química e física do solo da área experimental realizados antes do plantio são apresentados na tabela 3. A quantidade de fósforo advindo do suprimento via solo é de 2,54 kg/ha.

Tabela 3 - Análises química e física do talhão experimental.

Prof.	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	MO ¹	P Melich-1	K ⁺	S	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	t
cm			dag/kg	-----mg/dm ³ -----			-----	-----	cmolc/dm ³ -----		
0-40	5,1	4,2	1,9	0,63	12,9	2,2	0,1	0,1	0,4	3,1	3,3
Granulometria											
Prof.	V	m	B	Zn	Fe	Mn	Cu	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
cm	-----%-----									-----%-----	
0-40	5,46	68,58	0,40	0,10	103	4,60	0,30	27,64	50,74	9,62	12,00

1: CTC efetiva; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio. MO: matéria orgânica.

Fonte: Do autor (2019).

Para a definição de recomendação de fertilizantes foi usado como base o balanço nutricional: primeiro estima-se a demanda nutricional feito com base na produção esperada (que neste trabalho inicialmente foi 40 m³.ha⁻¹.ano) e na eficiência de utilização de cada nutriente pelo material genético. Após isso, estima-se o suprimento de nutrientes. Em seguida, calcula-se o balanço entre a demanda e o suprimento, e, por fim, estima-se as quantidades de nutrientes e de fertilizantes e corretivos a serem aplicados (BARROS al., 1995; CANTARUTTI et al., 2007).

De acordo com Gerdau (2020) a equação adotada na região referente a contribuição do resíduo em kg.ha⁻¹ é:

$$\text{Contribuição do resíduo} = CT_{CS} * 0,8 + CT_{FL} * 0,9 + CT_{GL} * 0,8$$

Em que:

CT_{CS} é a contribuição do resíduo na casca em kg.ha⁻¹;

CT_{FL} é a contribuição do resíduo na folha em kg.ha⁻¹;

CT_{GL} é a contribuição do resíduo no galho em kg.ha⁻¹.

Por sua vez, a equação utilizada para demanda total em kg.ha⁻¹ é:

$$\text{Demanda total} = DEM_{PA} + DEM_{RZ}$$

Em que:

DEM_{PA} é a demanda na parte aérea em kg.ha⁻¹;

DEM_{RZ} é a demanda na raiz em kg.ha⁻¹;

A demanda da parte aérea e a demanda na raiz podem ser compreendidos pelas seguintes equações, respectivamente:

$$DEM_{PA} = 3,659 + 0,3086 * MS_{TR} - 0,00097 * MS_{TR}^2$$

$$DEM_{RZ} = 0,097 + 0,004592 * MS_{RZ}$$

Em que:

MS_{TR} é a massa seca do tronco em kg.ha⁻¹;

MS_{RZ} é a massa seca da raiz em kg.ha⁻¹;

Como fertilizante fosfatado utilizado na subsolagem foram trabalhados com duas tecnologias: a CSP que vem do inglês “Complexed Superphosphates” que é um complexo superfosfato obtido pela reação de um ácido mineral (fosfórico e/ou ácido sulfúrico) e fosfato

de rocha na presença de quantidades específicas de diversos ácidos húmicos. Este é um complexo que envolve o P, um metal (geralmente Ca) e substâncias húmicas (ERRO et al., 2012). Este complexo tem como vantagens o aumento da eficiência agronômica, reduzindo a fixação de fósforo nos solos, em comparação com os superfosfatos convencionais (ERRO et al., 2012; HERRERA et al., 2016).

O outro fertilizante fosfatado possui a tecnologia MPPA (Macro Molecular Polyphenolic Acid) que significa ácido polifenólico macro molecular.

Este fertilizante possui duas fontes de fósforo, reativo e solúvel, e suas moléculas apresentam grupos funcionais derivados da decomposição controlada e dirigida de ácidos húmicos e fúlvicos que permitem a retenção e posterior disponibilidade dos elementos nutritivos diminuindo suas perdas no solo (LIBARDI et al., 2014).

O fertilizante utilizado na adubação de manutenção e misturado no adubo de plantio em alguns tratamentos possui a tecnologia MeTA. Este fertilizante é formado por uma dupla membrana, uma matriz mineral e outra orgânica que funcionam como uma dupla barreira à penetração da água, promovendo a liberação lenta de nutrientes. Esta liberação progressiva evita altas taxas de volatilização do nitrogênio e lixiviação dos nutrientes (TIMAC AGRO, 2019).

Os três produtos utilizados neste trabalho têm como característica que todos os nutrientes estão no mesmo grânulo, reduzindo, portanto, a segregação de nutrientes durante a operação.

Todos os tratamentos receberam aplicação de um calcário calcinado, fertilizante composto por óxido de cálcio, óxido de magnésio e enxofre, cujo PRNT é 130%. Este produto foi distribuído localizado em faixas, sem incorporação, em outubro de 2013.

Os demais fertilizantes foram aplicados de duas formas distintas: no fundo do sulco da subsolagem de forma contínua ou ainda adubação em filete contínuo na cobertura. As adubações no sulco foram feitas na profundidade de 25 a 35 cm de profundidade de forma manual para garantir que nenhum erro operacional ocorresse, enquanto as adubações de cobertura foram aplicadas de forma mecanizada. Em alguns tratamentos (MPPA280 + META600SS, CSP280 + META600SS, MPPA280 + META400SS + META200Cb e MPPA280 + META200SS + META400Cb) houve misturas de dois fertilizantes para aplicação no fundo da cova da subsolagem.

Em todos os tratamentos que receberam as adubações de plantio, esta operação ocorreu em setembro de 2013. O tratamento MPPA280 + META400SS + META200Cb que recebeu 200 kg/ha da tecnologia META na cobertura, teve esta operação em abril de 2014. Por sua vez,

os demais tratamentos que receberam mais de 200 kg/ha de adubação de cobertura, tiveram as operações parceladas entre dezembro de 2013 e abril de 2014.

Na tabela 4 encontram-se a descrição de todos os tratamentos, ou seja, as tecnologias utilizadas, a forma de aplicação, a dosagem em quilogramas por hectares e a quantidade de nutrientes por operação e total também em quilogramas por hectares.

Neste trabalho foi considerado tratamento que receberam adubação em dose única, aqueles tratamentos que não tiveram o parcelamento de N, P, K, tais como os tratamentos MPPA280 + META600SS, CSP280 + META600SS e o tratamento Controle. Os demais tratamentos, devido ao parcelamento dos supracitados macronutrientes, são considerados parcelados.

3.3. Avaliações volumétricas e modelagem de crescimento e produção

Durante os 6 anos do experimento foi realizado uma série de inventários florestais contínuos, datados em janeiro e setembro de 2014, abril e agosto de 2015, março e outubro de 2016, outubro de 2017, agosto de 2018, julho de 2019 e junho de 2020. Nestes inventários foram medidos o diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura total de cada um dos 36 indivíduos em todas as parcelas mensuráveis.

A partir de outubro de 2016, utilizou-se as medições para estimar o volume individual, e conseqüentemente ter a informação de produção por hectare através do modelo volumétrico de Schumacher e Hall (SCHUMACHER; HALL, 1933), cuja equação obtida através do método de cubagem para este material genético, desenvolvido numa região próxima é:

$$V = -10,8188416907 \cdot \text{DAP}^{1,8785158711} \cdot \text{Ht}^{1,2885515071} \cdot \varepsilon$$

Em que:

V = volume com casca ($\text{m}^3 \cdot \text{árvore}^{-1}$);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm);

Ht = altura total da árvore (m);

O modelo de Schumacher e Hall, além de possuir boa precisão, tem sido o mais difundido, talvez por suas propriedades estatísticas, uma vez que resulta quase sempre em estimativas não tendenciosas (CAMPOS; LEITE, 2013).

Com o intuito de identificar a idade técnica de corte para cada tratamento e estudar as tendências de crescimento e produtividade foi feita uma modelagem de crescimento e produção em função da idade e foram utilizados os modelos não lineares Logísticos e Richards, cuja relação funcional encontra-se abaixo.

$$\text{Logístico: } V = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I}} + \varepsilon \qquad \text{Richards: } V = \frac{\beta_0}{(1 + e^{\beta_1 - \beta_2 I})^{1/\beta_3}} + \varepsilon$$

Em que:

V = volume (m³.ha⁻¹);

I = idade (meses)

3.4. Índice de Área foliar (IAF)

O índice de área foliar (IAF), pode ser descrito como a área foliar integrada do dossel por unidade de superfície projetada no solo (m² /m²) (WATSON, 1947). Do ponto de vista de plantações, por exemplo de eucalipto, é importante quantificar o IAF, assim como a sua variação ao longo de seu ciclo produtivo, pois a partir desta quantificação torna-se possível sua utilização como variável de entrada em modelos hidrológicos e de crescimento (XAVIER; SOARES; ALMEIDA, 2002).

Para a avaliação do IAF foi utilizado o método não destrutivo com o auxílio do equipamento LAI-2000 (LI-COR INC., 1992). As medidas de campo foram realizadas em julho de 2015 entre às 10h e 12h para pegar a luminosidade mais intensa do dia. O equipamento foi posicionado na direção dos quatro pontos cardeais, norte, sul, leste e oeste para garantir uma maior abrangência da iluminação.

Em cada tratamento foram realizadas 24 leituras, sendo distribuídas em 6 ruas, em pontos espaçados de aproximadamente 3 metros para representar o IAF médio do talhão. Em cada tratamento também foi coletado leituras fora do dossel para calibração do aparelho.

O aparelho utilizado, ao contrário de outros métodos tem a vantagem de obter diretamente os valores de IAF para as parcelas, sendo necessário somente o descarregamento dos dados em um computador (CUNHA, 2012).

Tabela 4 - Descrição dos tratamentos, forma de aplicação, dosagem e quantidade de nutrientes em kg.ha⁻¹ (continua).

Tratamentos	Tecnologias	Formas de aplicação	Doses (Kg.ha ⁻¹)	Quantidade de nutrientes (kg.ha ⁻¹)								
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	B	Cu	Zn
Controle	-	Subsolagem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calcário calcinado	Cobertura em filete contínuo	1000	-	-	-	440,00	120,00	54,00	-	-	-
	Total			0,00	0,00	0,00	440,00	120,00	54,00	0,00	0,00	0,00
MPPA280 + META600SS	MPPA	Subsolagem	280	8,40	72,80	14,00	62,72	-	2,80	0,84	0,56	1,40
	META	Subsolagem	600	60,00	30,00	132,00	42,00	9,96	18,00	0,96	0,96	2,40
	Calcário Calcinado	Cobertura em filete contínuo	1000	-	-	-	440,00	120,00	54,00	-	-	-
	Total			68,40	102,80	146,00	544,72	129,96	74,80	1,80	1,52	3,80
MPPA280 + META600Cb	MPPA	Subsolagem	280	8,40	72,80	14,00	62,72	-	2,80	0,84	0,56	1,40
	META	Cobertura em filete contínuo	300	30,00	15,00	66,00	21,00	4,98	9,00	0,48	0,48	1,20
	META	Cobertura em filete contínuo	300	30,00	15,00	66,00	21,00	4,98	9,00	0,48	0,48	1,20
	Calcário Calcinado	Cobertura em filete contínuo	1000	-	-	-	440,00	120,00	54,00	-	-	-
Total			68,40	102,80	146,00	544,72	129,96	74,80	1,80	1,52	3,80	
CSP280 + META600SS	CSP	Subsolagem	280	16,80	72,80	16,80	39,20	-	8,40	0,84	0,56	1,40
	META	Subsolagem	600	60,00	30,00	132,00	42,00	9,96	18,00	0,96	0,96	2,40
	Calcário Calcinado	Cobertura em filete contínuo	1000	-	-	-	440,00	120,00	54,00	-	-	-
	Total			76,80	102,80	148,80	521,20	129,96	80,40	1,80	1,52	3,80
CSP280 + META600Cb	CSP	Subsolagem	280	16,80	72,80	16,80	39,20	-	8,40	0,84	0,56	1,40
	META	Cobertura em filete contínuo	300	30,00	15,00	66,00	21,00	4,98	9,00	0,48	0,48	1,20
	META	Cobertura em filete contínuo	300	30,00	15,00	66,00	21,00	4,98	9,00	0,48	0,48	1,20
	Calcário Calcinado	Cobertura em filete contínuo	1000	-	-	-	440,00	120,00	54,00	-	-	-
Total			76,80	102,80	148,80	521,20	129,96	80,40	1,80	1,52	3,80	

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 4 - Descrição dos tratamentos, forma de aplicação, dosagem e quantidade de nutrientes em kg.ha⁻¹ (conclusão).

Tratamentos	Produtos	Forma de aplicação	Dose (Kg.ha ⁻¹)	Quantidade de nutrientes (Kg.ha ⁻¹)								
				N	P ₂₀₅	K ₂₀	CaO	MgO	S	B	Cu	Zn
MPPA280 + META200SS + META400Cb	MPPA	Subsolagem	280	8,40	72,80	14,00	62,72	-	2,80	0,84	0,56	1,40
	META	Subsolagem	200	20,00	10,00	44,00	14,00	3,32	6,00	0,32	0,32	0,80
	META	Cobertura em filete contínuo	200	20,00	10,00	44,00	14,00	3,32	6,00	0,32	0,32	0,80
	META	Cobertura em filete contínuo	200	20,00	10,00	44,00	14,00	3,32	6,00	0,32	0,32	0,80
	Calcário Calcinado	Cobertura em filete contínuo	1000	-	-	-	440,00	120,00	54,00	-	-	-
			Total	68,40	102,80	146,00	544,72	129,96	74,80	1,80	1,52	3,80
MPPA280 + META400SS + META200Cb	MPPA	Subsolagem	280	8,40	72,80	14,00	62,72	-	2,80	0,84	0,56	1,40
	META	Subsolagem	400	40,00	20,00	88,00	28,00	6,64	12,00	0,64	0,64	1,60
	META	Cobertura em filete contínuo	200	20,00	10,00	44,00	14,00	3,32	6,00	0,32	0,32	0,80
	Calcário Calcinado	Cobertura em filete contínuo	1000	-	-	-	440,00	120,00	54,00	-	-	-
				Total	68,40	102,80	146,00	544,72	129,96	74,80	1,80	1,52

Fonte: Do autor (2020).

3.5. Índice de uniformidade (PV 50)

Como método para cálculo do índice de uniformidade trabalhou-se com o PV50, utilizado também por HAKAMADA et al. (2015). O PV50 consiste da porcentagem de volume acumulado das 50% menores árvores da parcela em relação ao volume total da parcela. Para seu cálculo é requerido primeiramente o volume individual de cada árvore medida nas parcelas. Uma vez com o volume individual, é necessário ordenamento crescente do volume de cada árvore, e então é somado o volume das 50% menores árvores. Portanto, quanto mais próximo as 50% menores árvores da parcela estiverem de representar 50% do volume da parcela, mais uniforme a mesma será.

Para o cálculo do índice de uniformidade, o volume das 50% menores árvores foi dividido pelo volume total da parcela, de acordo com a equação abaixo:

$$PV50 = \frac{\sum_{k=1}^{n/2} V_{ij}}{\sum_{k=1}^n V_{ij}}$$

Em que:

PV50 = porcentagem volumétrica das 50% menores árvores plantadas;

V_{ij} = volume individual das árvores da parcela i na idade j ;

n = número de árvores plantadas ordenadas, da menor para a maior;

3.6. Quantificação da Biomassa

Para determinar a biomassa de cada tratamento, foram selecionadas três árvores por tratamento para serem abatidas que apresentam o diâmetro e altura média.

Uma vez abatidas com o uso de um motosserra, os troncos foram seccionados em 4 partes: 25%, 50%, 75%, 100% da altura comercial. A altura comercial é a parte do fuste com valor comercial, neste trabalho foi considerado como limite um diâmetro mínimo de 5 cm, uma vez que não havia outros fatores para serem considerados, tais como defeitos nos fustes ou ainda bifurcações. Após a secção, serragem de cada segmento foi coletado em sacos de papel (Figura 7).

Em cima de uma lona, os demais componentes da parte aérea foram separados, isto é, galhos, folhas, troncos seccionados e casca. Em seguida, os componentes foram pesados em

campo com o auxílio de uma balança mecânica e se obteve a biomassa fresca de cada árvore em campo.

Após a pesagem, retirou-se subamostras de todos os componentes que passaram por uma nova pesagem. Estas subamostras foram armazenadas em sacos de papel devidamente identificados e enviadas para secagem em uma estufa a 70° C até atingir um peso constante. Uma vez em peso constante, foi feita uma nova pesagem para determinação do peso da matéria seca da amostra.

Para obtenção da biomassa seca foi utilizado a seguinte equação:

$$PS(a) = \left(\frac{PU(a) \cdot PS(s)}{PU(s)} \right)$$

Em que:

PS(a) = biomassa seca do compartimento (kg);

PU(a) = peso úmido do compartimento (kg);

PU(s) = peso da subamostra úmida (g);

PS(s) = peso da subamostra seca (g).

A estimativa da biomassa em hectare foi calculada através da biomassa do compartimento de uma árvore multiplicado pelo número de árvores em um hectare. Como neste trabalho o espaçamento foi de 3x3 m, a densidade populacional foi de 1111 plantas por hectare.

3.7. Coeficiente de utilização biológica (CUB)

Após a secagem das subamostras para determinação da biomassa, estas foram encaminhadas para um laboratório para determinação analítica dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S e dos micronutrientes Cu, B, Zn, Fe e Mn. Para determinação de P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe e Mn foi utilizado a metodologia descrita por Silva (2009). Para determinação de N e B, foram utilizadas os métodos descritos em Malavolta (1989).

Estimou-se o conteúdo de cada nutriente, multiplicando-se o seu teor pelo peso de matéria seca dos componentes da árvore. A eficiência de utilização dos nutrientes foi realizada de baseado na metodologia de Barros et al. (1986) onde é definido o coeficiente de utilização

biológico integralizado (CUB int). Para obtenção do CUBint do tronco foi utilizado a seguinte equação:

$$\text{CUBint tronco} = \left(\frac{\text{Biomassa do tronco (Mg. ha}^{-1}\text{)}}{\text{Nutrientes na parte aérea (kg. ha}^{-1}\text{)}} \right)$$

Além do CUB int, para avaliação da eficiência de utilização de nutrientes foi determinado um índice de utilização nutricional da folha, compreendido como: matéria seca da parte aérea ou do tronco (Mg.ha⁻¹) / conteúdo de nutriente na folha (kg.ha⁻¹) e ainda, baseado em metodologia de Sidiqqi; Glass (1981), o índice de eficiência nutricional dos nutrientes para a parte aérea, compreendido como: biomassa da parte aérea x biomassa da parte aérea (Mg².ha⁻¹) / conteúdo do nutriente no tronco (kg.ha⁻¹).

3.8. Análises estatísticas

Em função da ausência de aleatorização, foi realizado uma análise de variância análoga aos modelos de delineamento em faixas, tal como proposto por (BAZANI, 2014), com efeito de tratamentos ajustados para linhas e colunas. Antes de iniciar a análise de variância, foram verificadas as pressuposições, distribuição normal e homogeneidade de variâncias dos erros. Nas circunstâncias em que estas pressuposições não foram atendidas, foram realizadas transformações do tipo Box-Cox (BOX; COX, 1964).

Análise descritiva foi utilizada para avaliar as tendências de comportamento das variáveis de crescimento ao longo dos anos, volume, área basal, alturas e diâmetros máximo, médio e mínimo. Teste de Tukey foi utilizado para avaliação das variáveis volumétricas, a 5% de probabilidade.

Os modelos não lineares para a modelagem de crescimento e produção e produção foram ajustados pelo método de Levenberg-Marquardt, utilizando o software CurveExpert 2.6.5 (HYAMS, 2018).

Para comparação das médias de biomassa, partição do conteúdo de nutrientes nos compartimentos, do coeficiente de utilização biológica e eficiência do conteúdo foliar do nutriente para produção do tronco e parte aérea, utilizou-se o teste de Tukey até 10 % de probabilidade de erro, onde cada árvore analisada corresponde a uma repetição para cada

componente da biomassa. Alguns autores sugerem trabalhar com 10% de probabilidade de erro nas análises relacionadas à biomassa (NOSOLINE, 2012; SANTOS, 2015).

Foi estabelecido contrastes de grupos de médias utilizando-se o teste de Scheffé, comparando os tratamentos com adubação NPK em dose única (CSP280 + META600SS) e os tratamentos em doses parceladas (MPPA280 + META600Cb, CSP280 + META600Cb, MPPA280 + META200SS + META400Cb e MPPA280 + META400SS + META200Cb) a 5% de probabilidade de erro.

As análises foram realizadas através do software RStudio, versão 1.1.456 (RSTUDIO, 2017), apenas o contraste foi realizado através do software SISVAR, versão 5.7 (FERREIRA, 2011).

Figura 7 - Fluxograma das atividades em campo para determinação da biomassa.



Fonte: Do autor (2020)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Crescimento e produção

O volume e a área basal não atingiram precocemente um valor assintótico nos tratamentos em idade igual ou inferior aos 60 meses, comum na região do Cerrado (RESENDE et al., 2004), não indicando uma estagnação de crescimento neste período. Uma das causas poderia ser o elevado déficit hídrico observado no período de avaliação do experimento (Gráfico 1 e figura 1).

Comparando o volume aos 71 meses entre os dois grupos, isto é, aquele que recebeu adubação NPK em dose única e aquele que recebeu adubação em doses parceladas, não foi observado diferença estatística entre eles, com um volume médio de 187,06 m³.ha⁻¹ e 191,67 m³.ha⁻¹, respectivamente.

Observa-se uma baixa dispersão entre a altura média, máxima e mínima em todos os tratamentos obtendo os maiores coeficientes de variações (CV) ao longo das idades com 15% nos tratamentos CSP280 + META600SS e MPPA280 + META600SS. Estes mesmos tratamentos também obtiveram dispersão média entre os dados de DAP máximo, médio e mínimo com CV de 31% e 26%, respectivamente.

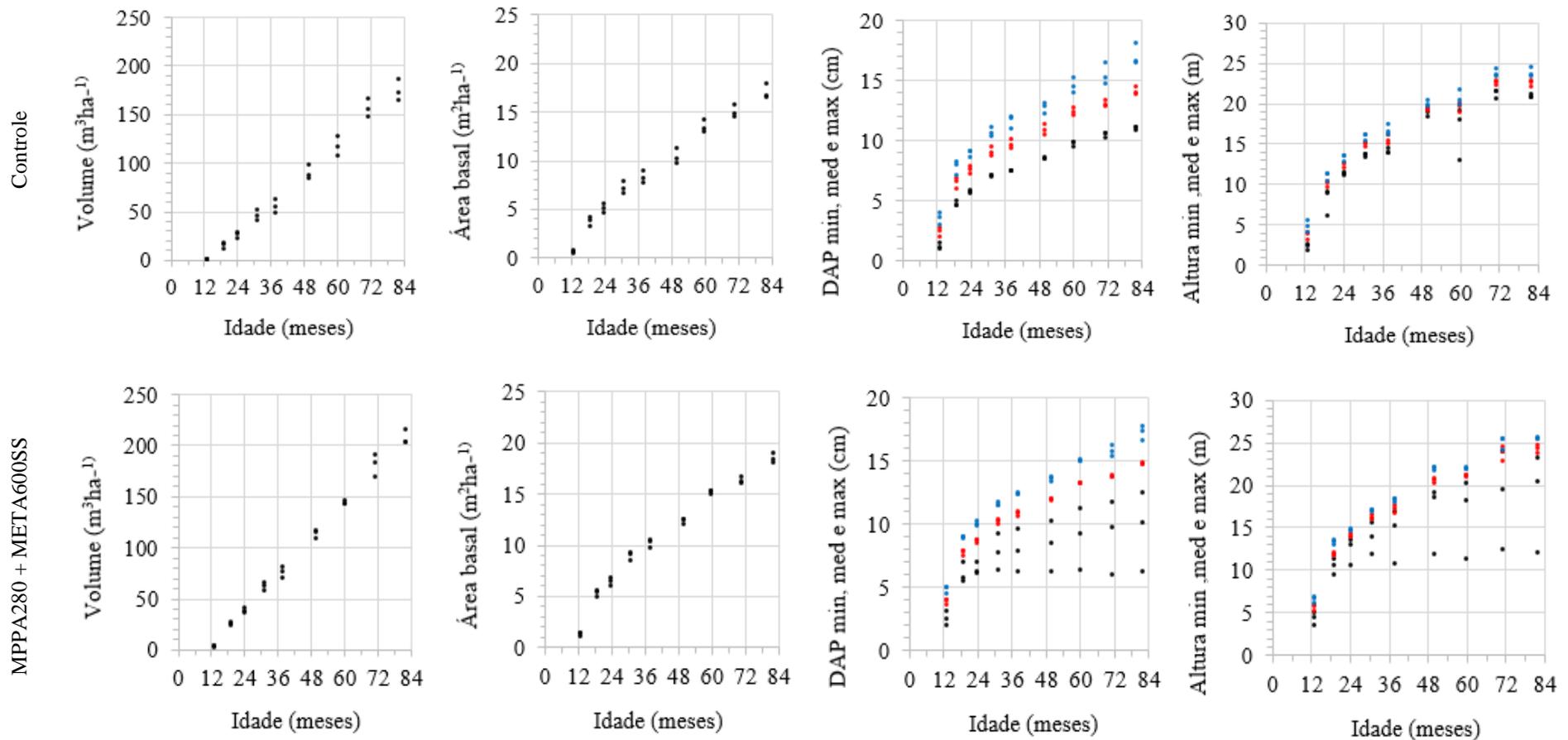
A maior dispersão dos dados de diâmetros nos reflete uma tendência observada em que com o passar dos anos, as árvores de menor diâmetro tendem a uma estagnação ou redução no crescimento, enquanto as árvores de maior diâmetro tendem ao incremento, aumentando, portanto, a amplitude da dispersão dos dados, tal como observado em povoamentos de *Eucalyptus saligna* por Scheeren; Schneider e Finger, (2004).

A baixa dispersão na altura reflete-se no alto índice de homogeneidade obtido nos tratamentos, com PV50 entre os 24 a 71 meses acima de 44%. De acordo com Hakamada et al. (2015) o intervalo ótimo de uniformidade do PV50 foi de 37 a 50%.

Ou seja, parcelas amostrais que possuírem o PV50 dentro deste intervalo podem ser consideradas satisfatoriamente “uniformes”, e a uniformidade reflete em maior produtividade ao longo dos anos. Apenas o tratamento que não recebeu adubação na subsolagem, o tratamento controle, obteve um PV50 abaixo de 37% aos 12 meses. Porém este índice superou os 44% a partir de 24 meses, quando já tinha recebido a adubação cálcica (Tabela 5).

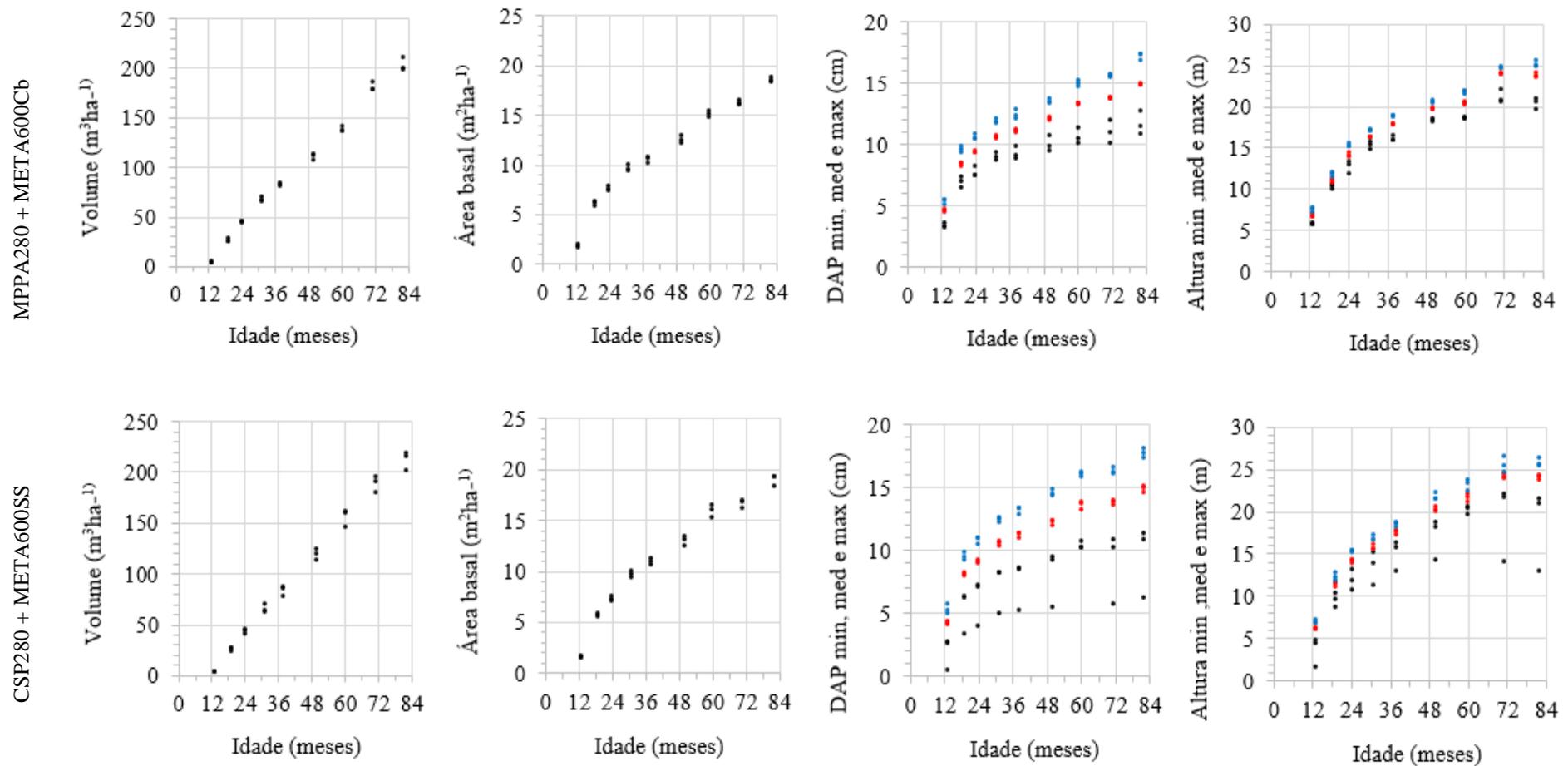
As menores homogeneidades se deram nos tratamentos Controle e no tratamento MPPA280 + META600SS. A falta de adubação refletiu na baixa homogeneidade do tratamento

Gráfico 1: Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), DAP (cm) e alturas totais (m) em função da idade para cada tratamento e parcela. Cor azul representa DAP e altura máxima, cor preta representa DAP e altura mínima e cor vermelha representa DAP e altura média (continua).



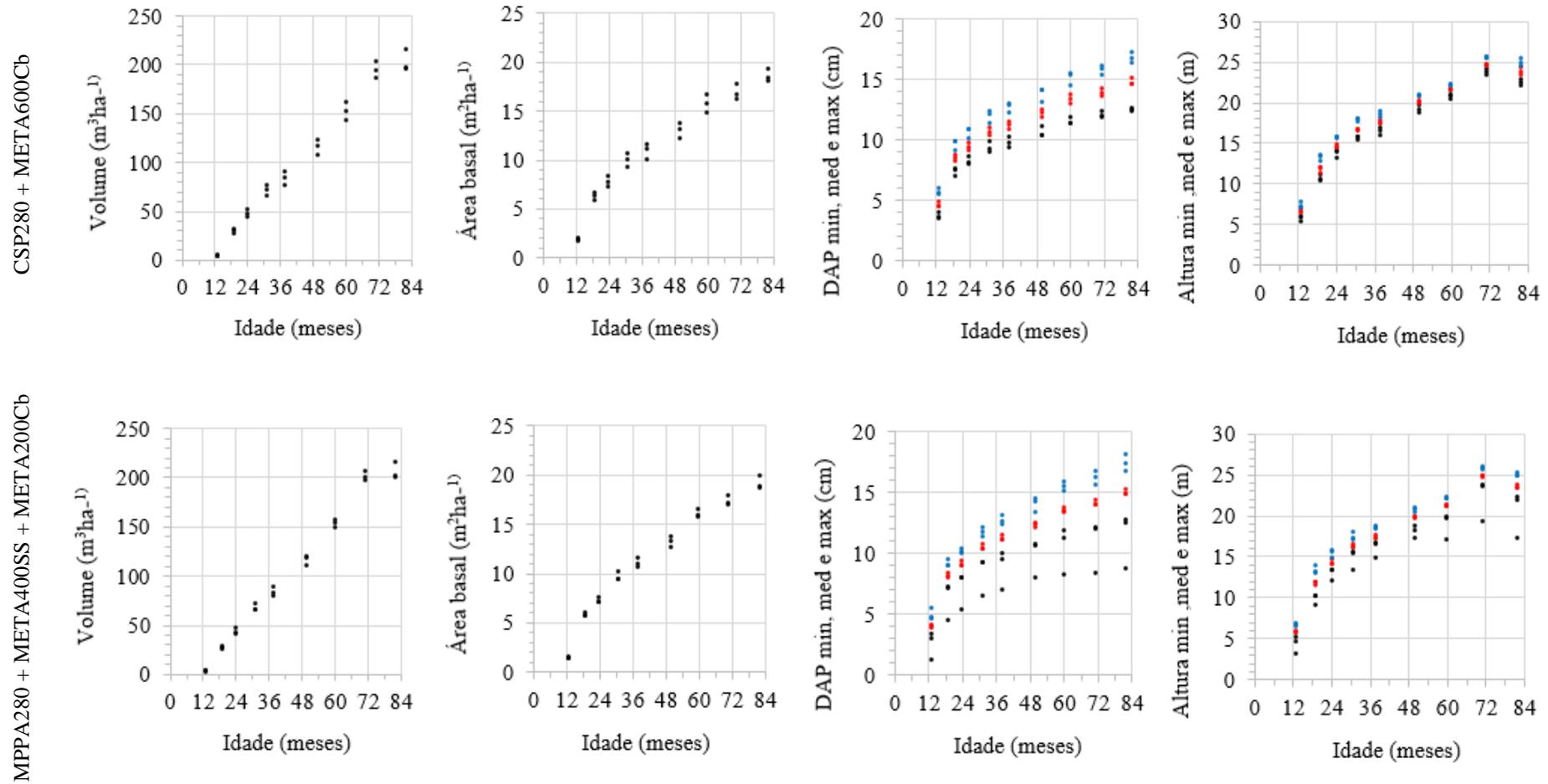
Fonte: Do autor (2020)

Gráfico 1: Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), DAP (cm) e alturas totais (m) em função da idade para cada tratamento e parcela. Cor azul representa DAP e altura máxima, cor preta representa DAP e altura mínima e cor vermelha representa DAP e altura média (continua).



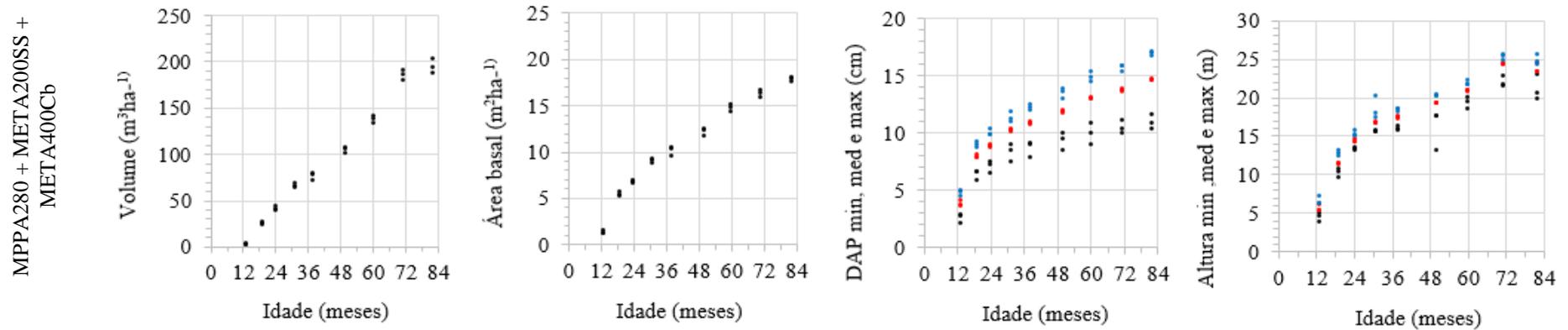
Fonte: Do autor (2020)

Gráfico 1: Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), DAP (cm) e alturas totais (m) em função da idade para cada tratamento e parcela. Cor azul representa DAP e altura máxima, cor preta representa DAP e altura mínima e cor vermelha representa DAP e altura média (continua).



Fonte: Do autor (2020)

Gráfico 1: Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), DAP (cm) e alturas totais (m) em função da idade para cada tratamento e parcela. Cor azul representa DAP e altura máxima, cor preta representa DAP e altura mínima e cor vermelha representa DAP e altura média (conclusão).



Fonte: Do autor (2020)

Tabela 5: Índice de uniformidade PV 50 ao longo dos anos para cada tratamento.

Idades	12		24		38		50		60		71								
	Tratamentos	PV 50 (%)	CV (%)																
Controle		32,29	c	5,87	44,94	a	1,52	45,53	a	1,74	48,37	a	1,40	46,98	ab	1,77	46,81	a	0,83
MPPA280 + META600SS		39,03	b	2,49	45,47	a	3,35	45,78	a	4,66	44,93	b	3,69	45,92	ab	3,39	45,85	a	4,59
MPPA280 + META600Cb		42,10	ab	1,99	44,45	a	3,92	45,59	a	3,22	45,98	ab	1,54	46,01	ab	1,19	46,55	a	2,33
CSP280 + META600SS		40,23	b	1,44	45,51	a	1,69	45,81	a	2,81	45,92	ab	3,21	45,52	b	2,49	46,27	a	3,97
CSP280 + META600Cb		43,68	a	1,68	46,37	a	1,91	46,30	a	1,96	47,55	ab	0,49	48,31	a	0,70	47,91	a	0,60
MPPA280 + META400SS + META200Cb		40,91	ab	4,43	45,98	a	0,86	46,59	a	1,21	46,81	ab	1,86	46,92	ab	1,04	46,97	a	1,95
MPPA280 + META200SS + META400Cb		41,04	ab	0,86	45,96	a	2,01	45,81	a	2,51	46,28	ab	1,66	46,63	ab	2,07	47,04	a	1,46

As médias seguidas da mesma letra (na vertical) não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

Fonte: Do autor (2020)

Controle. Por sua vez, o tratamento MPPA280 + META600SS apresentou alta mortalidade, impactando na homogeneidade do mesmo (Tabela 5).

Provavelmente o elevado teor de óxido de potássio, superior a 140 kg.ha⁻¹ e o elevado teor de nitrogênio, superior a 65 kg.ha⁻¹, aplicado na adubação de plantio pode ter acarretado em fitotoxidez resultante do índice salino da fonte dos fertilizantes (TRANI; TIVELLI; CARRIJO, 2011).

Tabela 6: Avaliação de sobrevivência (%) aos 30 dias.

Tratamentos	Sobrevivência (%)
Controle	97,7%
MPPA280 + META600SS	92,3%
MPPA280 + META600Cb	99,7%
CSP280 + META600SS	97,3%
CSP280 + META600Cb	99,3%
MPPA280 + META400SS + META200Cb	93,7%
MPPA280 + META200SS + META400Cb	98,0%

Fonte: Do autor (2020)

Observa-se uma mortalidade acima de 5%, além de no tratamento supracitado, no tratamento MPPA280 + META400SS + META200Cb, provavelmente pelas mesmas razões. Os tratamentos com a tecnologia CSP, apesar dos altos teores de N, K, não apresentaram fitotoxidez. Isto pode ser explicado pelas características da tecnologia que promovem o desenvolvimento radicular, aumento da microbiota do solo e na maximização da interceptação pelo sistema radicular quando comparada a outras fontes (LIBARDI et al., 2014).

Para a modelagem de crescimento e produtividade, as equações obtidas estimaram com exatidão os parâmetros avaliados, apresentando coeficientes de determinação satisfatórias, acima de 99%, indicando um bom ajustamento dos modelos (Tabela 7).

Com base nas equações do modelo foi possível desenvolver as curvas de produção e crescimento para cada tratamento (Gráfico 2 e 3). A partir dos gráficos de crescimento determinou-se a idade de máximo incremento mensal, que corresponde à idade técnica de corte, conhecida como ITC (DIAS et al., 2005).

De modo geral observa-se que a ITC diminuiu à medida que se reduziu o máximo incremento médio anual, ou seja, para o tratamento Controle cujo IMA máximo foi de 25,91 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ aos 76 meses, para o tratamento MPPA280 + META400SS + META200Cb, foi IMA máximo é de 34,56 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ aos 68 meses, uma diferença, portanto de 8 meses.

Tabela 7: Equações de produção para os tratamentos utilizando os modelos Logístico e Richards, sendo V = Produção ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); I = idade (meses) e r = coeficiente de correlação linear entre produções estimadas e observadas.

Tratamentos	Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	$r_{v\hat{v}}$
Controle	<i>Logístico</i>	207,556216	30,295738	0,062354		0,9911
MPPA280 + META600SS	<i>Richards</i>	283,677997	0,723272	0,036630	0,309975	0,9958
MPPA280 + META600Cb	<i>Logístico</i>	271,817738	14,466053	0,046189		0,9963
CSP280 + META600SS	<i>Logístico</i>	248,050843	17,987290	0,056826		0,9952
CSP280 + META600Cb	<i>Richards</i>	203,702656	16,936400	0,247330	7,991489	0,9920
MPPA280 + META400SS + META200Cb	<i>Richards</i>	206,506570	27,252287	0,401338	12,717651	0,9952
MPPA280 + META200SS + META400Cb	<i>Richards</i>	194,841928	28,165184	0,397866	13,015374	0,9958

Fonte: Do autor (2020)

Observa-se ainda uma antecipação da idade de estagnação do crescimento mais célere nos tratamentos MPPA280 + META400SS + META200Cb com um ITC supracitado, além dos tratamentos CSP280 + META600Cb e CSP280 + META600SS com ITC de 69 e 70 meses, respectivamente. Não foi identificado nenhuma relação entre as formas de aplicação, dose única ou parcelado, no adiantamento da estagnação do crescimento.

A partir de 72 meses foi observado uma aceleração de crescimento em todos os tratamentos, com destaque com os tratamentos CSP280 + META600Cb, MPPA280 + META400SS + META200Cb e MPPA280 + META200SS + META400Cb que obtiveram as maiores taxas em relação aos demais tratamentos. Tal comportamento não é comumente observado para eucalipto (CAMPOS; LEITE, 2013; LOURENÇO, 2009).

O retorno do crescimento coincide com o aumento da precipitação em 2019. Durante os anos de 2013, 2014 e 2017 a região passou por um intenso período de déficit hídrico, com uma precipitação anual de 811 mm, 917 mm e 1006 mm, respectivamente (INMET, 2020) e estes valores estão bem inferiores à média histórica de 1266 mm. Apenas no primeiro semestre de 2020 tem sido registrado mais de 950 mm, o que representa 75% da média histórica e representa mais do que foi observado em todo o ano de 2013 e 2014, por exemplo.

Bazani (2014) avaliando em plantações de eucalipto a eficiência de fertilizantes fosfatados à base da tecnologia CSP e MPPA, constatou que o aumento da precipitação

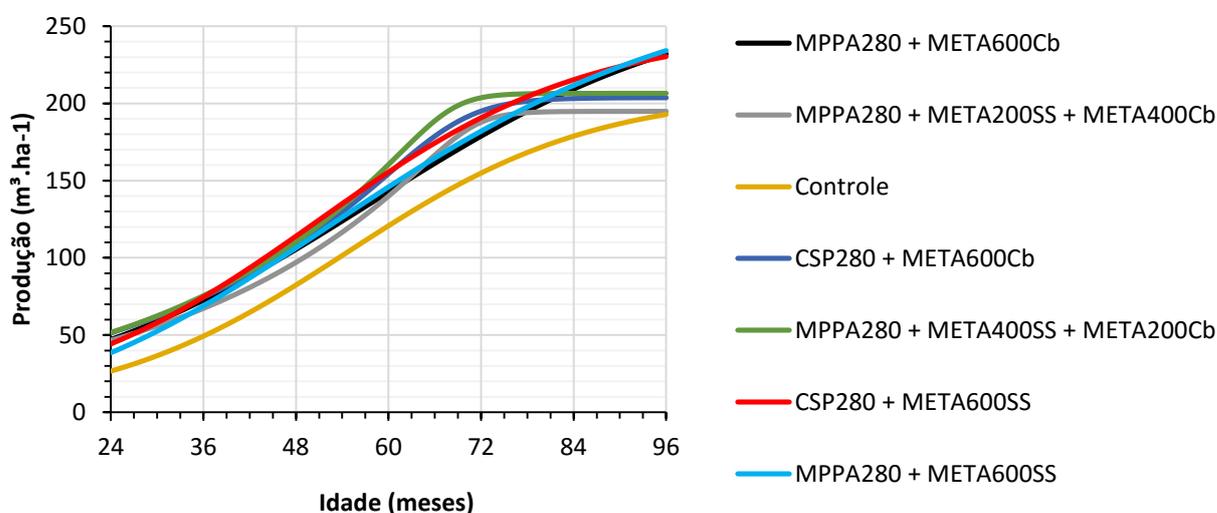
contribuiu para a aceleração do crescimento. Isto pode ser explicado pois a tecnologia possui efeito mobilizador dos nutrientes que estão em equilíbrio na solução do solo, sendo assim, parte do nutriente disponível no solo poderia ainda não ter sido solubilizado.

Como o fósforo é responsável pelo crescimento radicular, garante um melhor arranque e tem como característica uma alta fixação em solos ácidos (MALAVOLTA, 1989), vários autores têm recomendado a aplicação dos fertilizantes fosfatados de forma incorporada no preparo de solo ou em até 10 dias após o plantio em coveta lateral (BARROS; NOVAIS, 1999; SANTANA; FONTAN; OLIVEIRA, 2014; SILVEIRA et al., 2001).

Neste trabalho tem sido observado que os tratamentos que receberam adubação fosfatada parcelada, seja até 4 ou 8 meses após o plantio, não tiveram uma redução significativa de produtividade em relação aos tratamentos em aplicação em dose única. Enquanto o tratamento MPPA280 + META400SS + META200Cb, o qual recebeu 90% de todo P_2O_5 no preparo do solo e o restante aos 8 meses após o plantio, teve uma produção estimada de $203,66 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ aos 6 anos e foi o tratamento que apresentou a maior produtividade, o tratamento CSP280 + META600Cb teve uma produção volumétrica de $194,99 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, e além de não diferir estatisticamente do primeiro, teve 70% de todo P_2O_5 no preparo do solo e o restante parcelado em porcentagens iguais no 4º e 8º mês após o plantio.

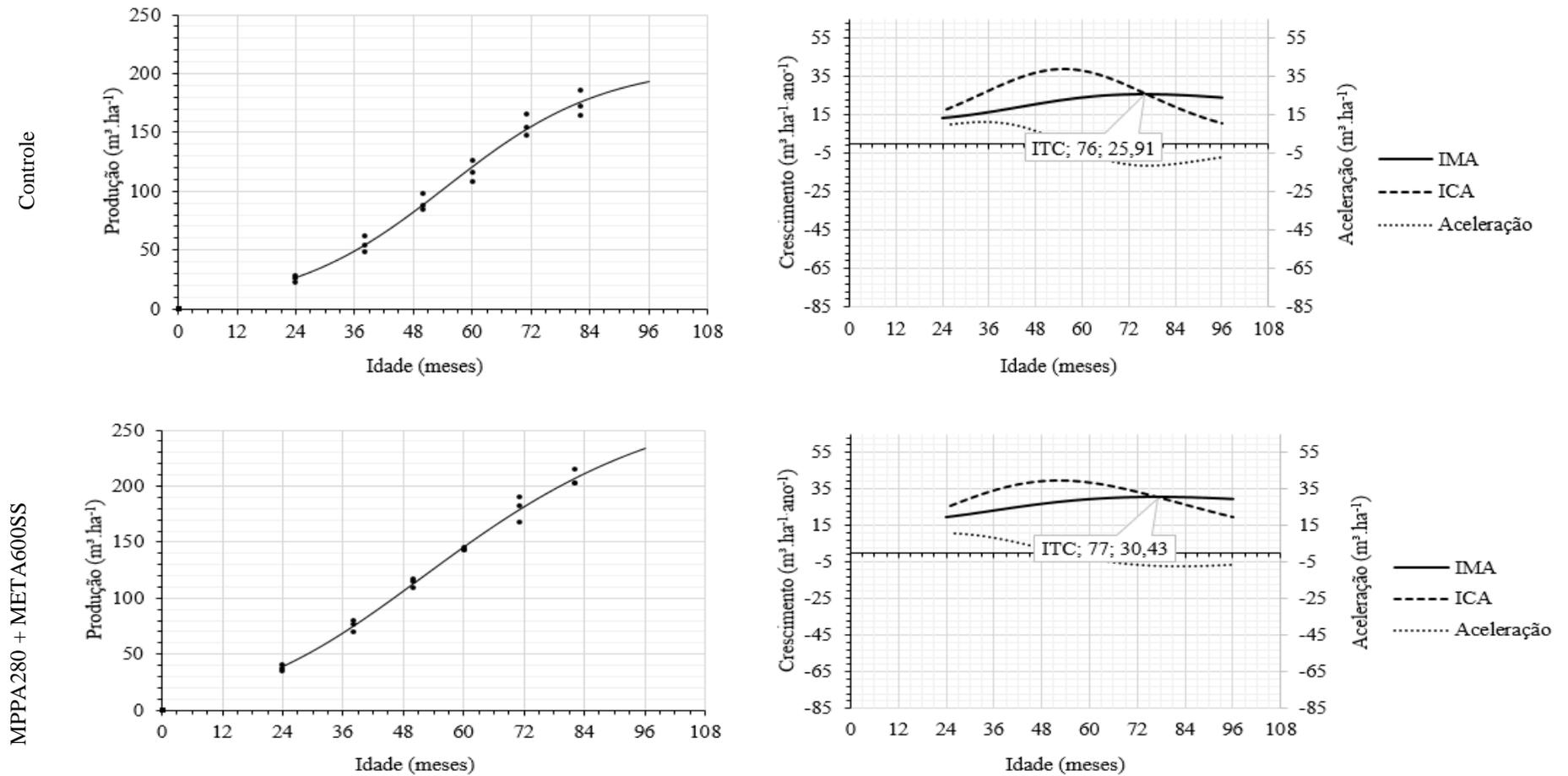
A menor dose de P_2O_5 aplicada na subsolagem foi $72,80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Autores como Bazani (2014); Urrutia et al. (2013) relataram que o uso de tecnologias associativas ao fósforo como o MPPA e SCP tem proporcionado maiores taxas de absorção de fósforo.

Gráfico2: Curvas de produção ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) de 24 a 96 meses para os tratamentos.



Fonte: Do autor (2020)

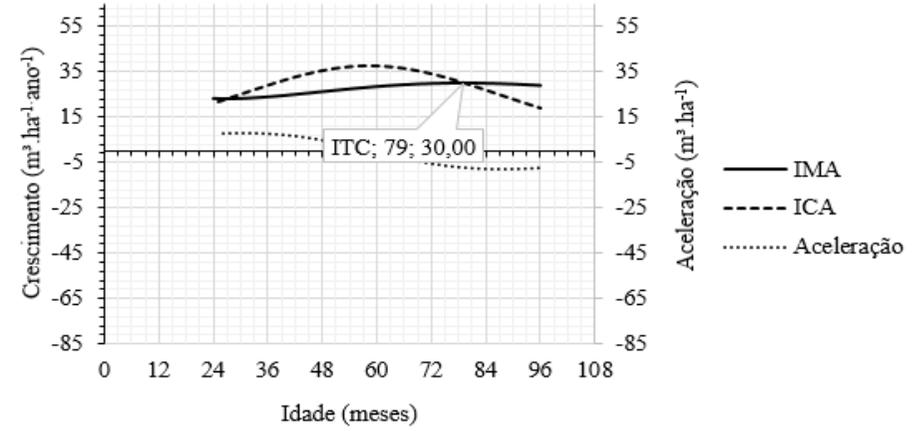
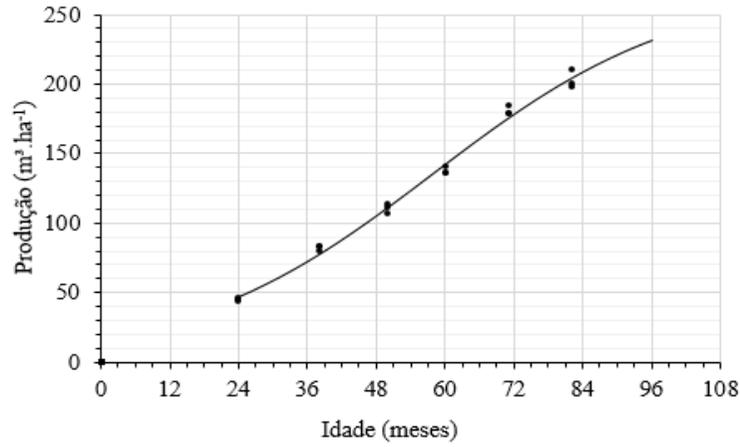
Gráfico 3: Curvas de produção ($m^3 ha^{-1}$) e curvas de crescimento (ICA, $m^3 ha^{-1}$), produtividade média (IMA, $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) e aceleração do crescimento ($m^3 ha^{-1}$) para os tratamentos (continua).



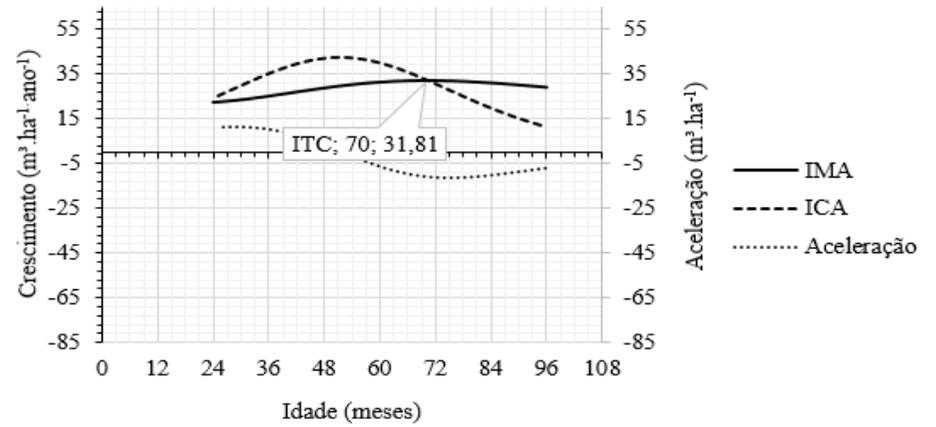
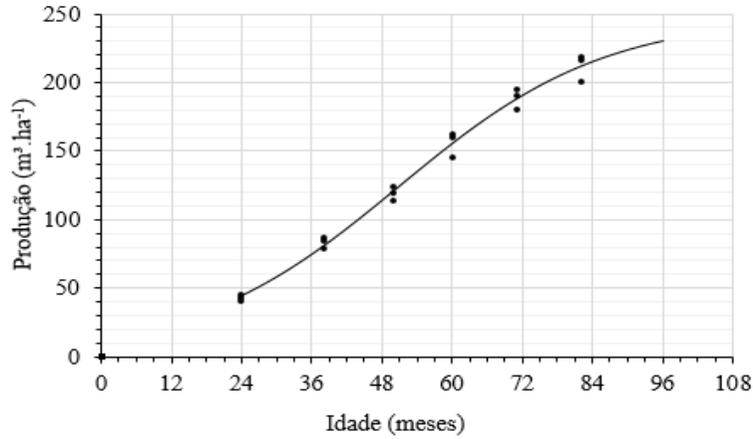
Fonte: Do autor (2020)

Gráfico 3: Curvas de produção ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) e curvas de crescimento (ICA, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), produtividade média (IMA, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e aceleração do crescimento ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) para os tratamentos (continua).

MPPA280 + META600Cb

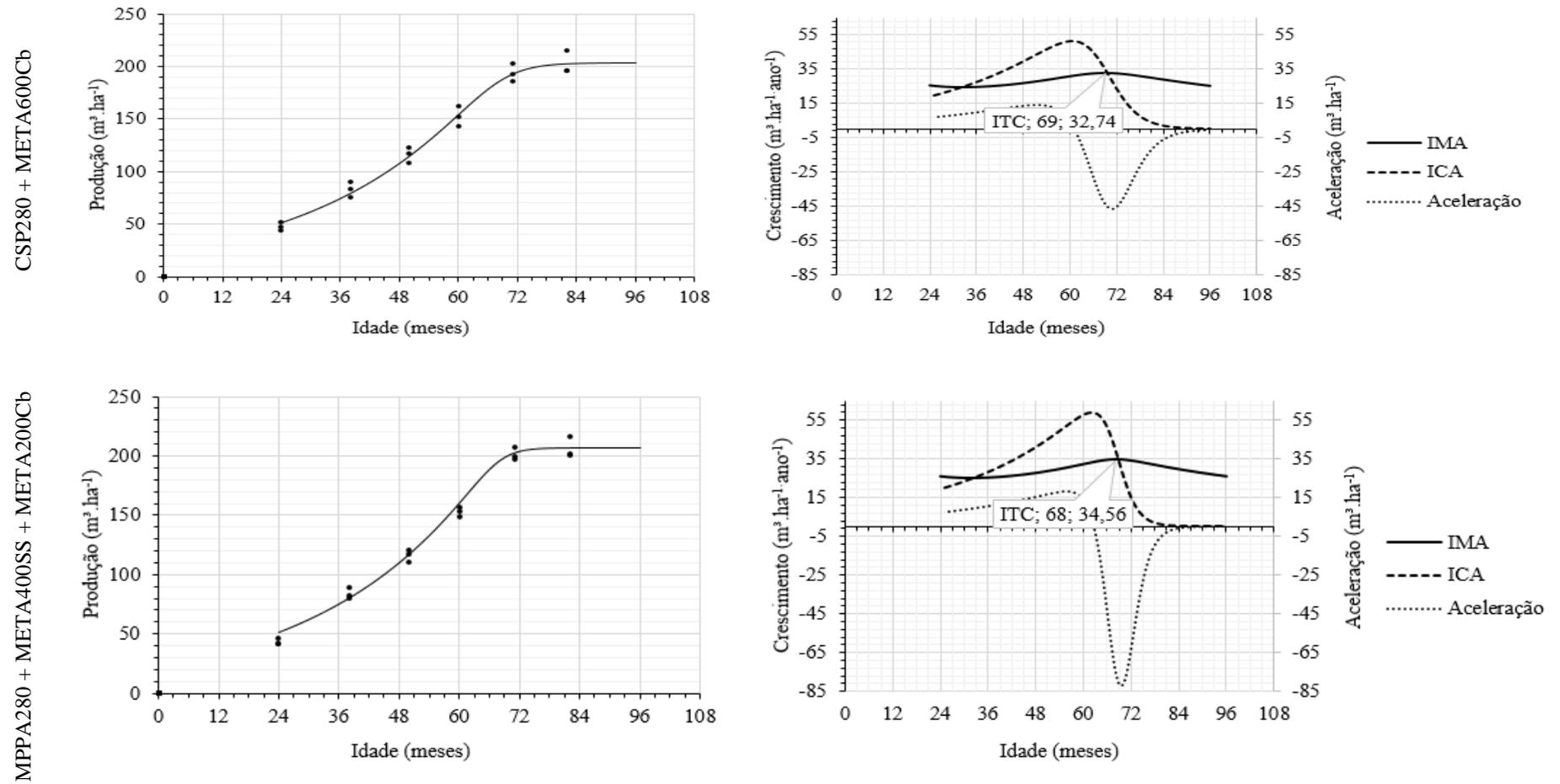


CSP280 + META600SS



Fonte: Do autor (2020)

Gráfico 3: Curvas de produção ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) e curvas de crescimento (ICA, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), produtividade média (IMA, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e aceleração do crescimento ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) para os tratamentos (continua).



Fonte: Do autor (2020)

Gráfico 3: Curvas de produção (m^3ha^{-1}) e curvas de crescimento (ICA, m^3ha^{-1}), produtividade média (IMA, $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) e aceleração do crescimento (m^3ha^{-1}) para os tratamentos (conclusão).

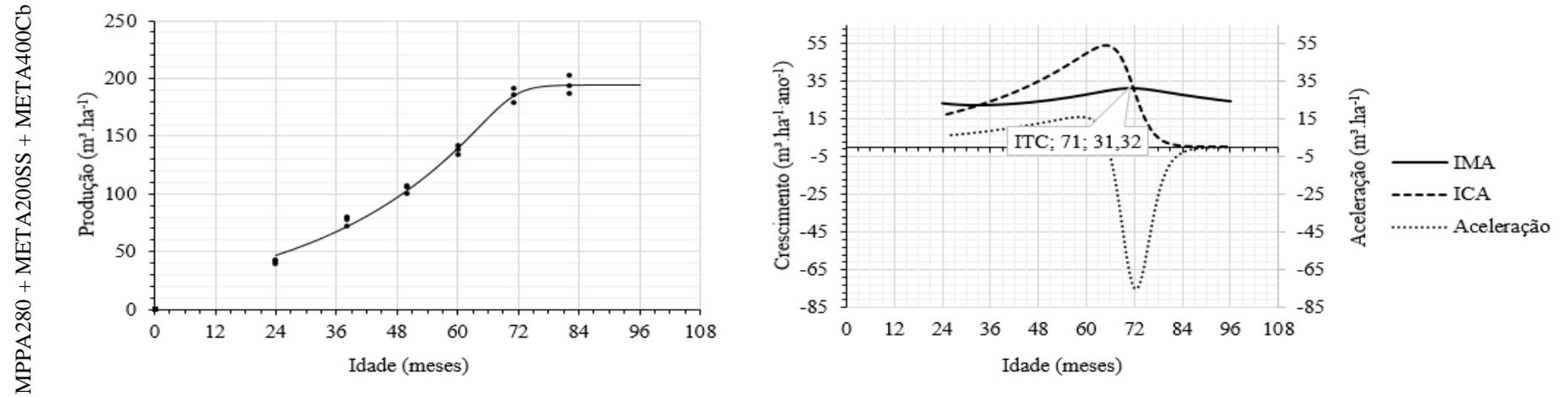


Tabela 8: Índice de área foliar ($\text{m}^2.\text{m}^2$) para cada tratamento aos 22 meses de idade.

Tratamentos	IAF ($\text{m}^2.\text{m}^2$)
Controle	5,13 a
MPPA280 + META600SS	5,89 a
MPPA280 + META600Cb	4,47 ab
CSP280 + META600SS	4,12 acb
CSP280 + META600Cb	2,51 c
MPPA280 + META400SS + META200Cb	3,02 bc
MPPA280 + META200SS + META400Cb	5,73 a

Fonte: Do autor (2020)

É possível que a taxa de recuperação aparente com a utilização dessas tecnologias seja superior a outras fontes de fósforo e a dosagem aplicada tenha sido suficiente para fornecer não apenas o arranque, mas o desenvolvimento até a adubação complementar deste macronutriente.

Em um projeto com o objetivo de examinar a influência térmica e hídrica em plantios clonais de eucalipto do norte ao sul do Brasil, Binkley et al. (2020) desenvolveram uma equação no qual é possível estimar o incremento médio anual em função da temperatura média anual e da precipitação acumulada anual. Utilizando a equação citada no período de avaliação deste trabalho, de agosto de 2013 a julho de 2019, o IMA estimado aos 71 meses foi de $37,19 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, enquanto através do modelo volumétrico de Schumacher e Hall, o IMA estimado foi de $34,01 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

Caso nos 71 meses de avaliação tivesse chovido a média histórica de 1266 mm, a produtividade estimada pelo modelo de (BINKLEY et al., 2020) seria de $40,68 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, mostrando o impacto das variáveis climáticas na produtividade dos plantios de eucalipto no centro-norte de Minas Gerais. A perda estimada é em torno de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ao longo dos 5,9 anos.

Para os tratamentos MPPA280 + META600SS, MPPA280 + META200SS + META400Cb e Controle foram observados os maiores índices de área foliar com 5,89, 5,73 e 5,13 $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, respectivamente (Tabela 9). Schumacher et al. (2019) ao avaliar povoamentos de *Eucalyptus spp.* em diferentes idades comparou a distribuição de nutrientes ao longo dos anos e observou que a biomassa relativa média de folhas decresce dos 2 para 4 anos de 10,1% para 8,9%. Ou seja, com o passar dos anos há uma indicação da ocorrência da alocação de carbono das folhas para outros compartimentos do eucalipto.

O que se observa para os tratamentos Controle e MPPA280 + META200SS + META400C é que ambos apresentam os menores incrementos correntes anuais aos 24 meses (dois meses após a avaliação do IAF) com valores estimados de 16,99 e 16,84 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente. Apesar de todos tratamentos possuírem a mesma idade cronológica, estes apresentaram uma taxa de crescimento inferior aos demais, e possivelmente ocorreu uma menor alocação de carbono das folhas para demais compartimentos, e por isso, elevado índice de área foliar.

4.2. Biomassa e avaliações nutricionais

A produção média de biomassa aérea total, além da biomassa da copa (folhas + cascas) e do tronco é apresentada na Tabela 9. A ordem de distribuição da biomassa encontrada foi Lenho>Galhos>Folhas. Esta mesma ordem de distribuição foi observada por Araújo, Silveira e

Buona (2016) ao avaliar diversos clones de *E. saligna*, *E. urophylla* e *E. dunii* ou ainda Gonsaga (2017) ao avaliar clones de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 6 anos de idade.

Os valores médios de produção de biomassa da parte aérea para o tratamento Controle é de 118 Mg.ha⁻¹, enquanto para o tratamento MPPA280 + META400SS + META200Cb é de 131,52 Mg.ha⁻¹, o que representa uma diferença de 10% deste em relação a aquele, apesar dela não ser estatisticamente diferente a 5% de probabilidade.

Ao estudar a produção e distribuição de biomassa em eucalipto em resposta à adubação, Oliveira Neto et al. (2003) perceberam que o uso de doses mais elevadas de fertilizantes não implicou num aumento proporcional na produção de matéria seca de madeira. De tal maneira, o tratamento Controle, apesar não ter recebido doses equivalentes de NPK, apresentou uma produção de biomassa similar aos demais tratamentos. Isto pode ter ocorrido pela utilização dos resíduos deixados do ciclo anterior do plantio de eucalipto e a pela quantidade desses macronutrientes advindo do próprio solo, reduzindo a demanda por uma suplementação com adubação mineral, uma vez que a produtividade volumétrica do Controle é inferior aos demais tratamentos.

Tabela 9: Biomassa da parte aérea e a respectiva partição em cada tratamento aos 6 anos.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$).

Tratamentos	Galhos	Folhas	Tronco	Copa	Parte aérea
Matéria seca (Mg.ha⁻¹)					
Controle	6,29 ab	4,34 ab	108,28 a	10,62 ab	118,90 a
MPPA280 + META600SS	5,17 ab	3,79 b	112,75 a	8,96 b	121,71 a
MPPA280 + META600Cb	5,57 ab	3,84 ab	113,17 a	9,41 ab	122,58 a
CSP280 + META600SS	5,76 ab	4,79 a	117,04 a	10,55 ab	127,59 a
CSP280 + META600Cb	6,59 a	4,62 ab	108,07 a	11,22 a	119,29 a
MPPA280 + META400SS + META200Cb	5,60 ab	4,41 ab	121,51 a	10,01 ab	131,52 a
MPPA280 + META200SS + META400Cb	4,93 b	4,49 ab	111,20 a	9,41 ab	120,62 a
Partição (%)					
Controle	5,29	3,65	91,07	8,93	100
MPPA280 + META600SS	4,25	3,11	92,64	7,36	100
MPPA280 + META600Cb	4,55	3,13	92,32	7,68	100
CSP280 + META600SS	4,51	3,75	91,73	8,27	100
CSP280 + META600Cb	5,53	3,88	90,60	9,40	100
MPPA280 + META400SS + META200Cb	4,26	3,35	92,39	7,61	100
MPPA280 + META200SS + META400Cb	4,08	3,72	92,20	7,80	100

Fonte: Do autor (2020).

Diversos trabalhos têm mostrado influência de alguns fatores para variação de quantidade de biomassa em eucalipto tais como desbaste (SILVA et al., 2012), idade (SCHUMACHER et al., 2019), níveis de fertilização (OLIVEIRA NETO et al., 2003), eficiência clonal (ARAÚJO;

SILVEIRA; BUONA, 2016), arranjos espaciais (WINK et al., 2018a), todavia neste trabalho não se tem indícios que a adubação em dose única ou parcelada e nem a forma de aplicação dos fertilizantes favoreceu o aumento ou a redução da biomassa da parte aérea.

O ponto de máxima produção de biomassa na parte aérea foi no tratamento MPPA280 + META400SS + META200Cb, com uma produção de 131,5 Mg.ha⁻¹. A diferença entre este tratamento e o tratamento Controle foi de 12,6 Mg.ha⁻¹.

A partição dos conteúdos de nutrientes da parte aérea, folhas, galhos e tronco, são apresentados nas tabelas 11 e 12.

O tronco foi o compartimento que apresentou o maior estoque de nutrientes, com exceção para o P, em que os maiores estoques ocorreram no galho para alguns tratamentos tais como o Controle, MPPA280 + META600S e MPPA280 + META400SS + META200Cb. O estoque de nutrientes no tronco apresentou uma ordem de grandeza para os macronutrientes N > Ca > K > Mg > S > P, enquanto para os micronutrientes seguiu a ordem decrescente Fe > Mn > B > Zn > Cu. Tal ordem difere do observado por Wink et al. (2018) em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em que o estoque de Ca foi superior ao de N, todavia está consoante com o que foi observado por Faria et al. (2008); Andrade et al. (2006) em região do Cerrado, ou ainda consoante com trabalhos em zona de transição entre o Cerrado e Mata Atlântica e também em povoamentos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* (VIEIRA et al., 2015).

Autores como Malavolta (1989) tem observado que o nitrogênio é o elemento que as plantas, de um modo geral, necessitam em maior quantidade por fazer parte por fazer parte de muitos compostos, principalmente proteínas.

Alguns nutrientes não diferiram estatisticamente entre os tratamentos em nenhum compartimento, tais como o P, Ca, Fe e Zn. Por sua vez, observa-se a variação para os demais nutrientes em diferentes compartimentos, demonstrando diferentes respostas à fertilização. Comparando-se o macronutriente nitrogênio no galho nos tratamentos MPPA280 + META400SS + META200Cb e Controle, a diferença foi de 28 kg.ha⁻¹.

O nitrogênio apresentou maiores teores no galho nos tratamentos que tiveram maiores parcelamentos nas adubações, enquanto para os tratamentos que receberam adubação em dose única, juntamente com o tratamento Controle apresentaram os menores teores. Esta relação também foi observada na parte aérea, apesar das quantidades não diferirem estatisticamente.

É possível que parte do N aplicado em dose única tenha sido lixiviado, uma vez que este nutriente é conduzido por fluxo de massa e o solo arenoso propicia a movimentação deste elemento. Por conta dessa característica, vários autores sugerem o parcelamento deste nutriente para se obter a produtividade esperada (BARROS; NOVAIS, 1999; MALAVOLTA, 1980).

Observa-se que, mesmo o compartimento folha e galho apresentando uma menor biomassa em relação ao tronco, ela contém elevado estoque de nutrientes, como, por exemplo, de nitrogênio, potássio e cálcio.

A quantidade mínima observada de nitrogênio na copa foi de 76,13 kg.ha⁻¹ no tratamento Controle, enquanto a quantidade máxima foi de 124 kg.ha⁻¹ no tratamento MPPA280 + META200SS + META400Cb. Para potássio, a quantidade mínima observada foi de 43,74 kg.ha⁻¹ no tratamento MPPA280 + META600Cb e a máxima foi de 59,57 kg.ha⁻¹ no tratamento MPPA280 + META600SS. Os compartimentos da copa, seja a folha, seja a casca são nutrientes caducos, e após certo tempo, seus elementos químicos integrem a ciclagem de nutrientes e possam ser novamente absorvidos pelo sistema radicular das plantas (POGGIANI et al., 1984).

O tratamento Controle, por não ter recebido adubação fosfatada, apresentou o menor incremento em volume, como já era esperado. Diversos trabalhos no Cerrado tem mostrado à limitação à produtividade, uma vez que não tenha sido feita a adição deste nutriente (LOPES, 1983).

Todavia a partição deste nutriente na parte aérea não diferiu dos demais nutrientes. Alguns fatores podem ter favorecido o acúmulo do fósforo: Primeiro o suprimento de nutrientes via solo. De acordo com a análise apresentada na tabela 3, a quantidade de nutrientes na camada de 0 a 40 cm é aproximadamente 2,44 kg.ha⁻¹.

Trabalhos recentes mostram que as raízes finas superficiais, responsáveis pela absorção de nutrientes, podem chegar a profundidade muito maiores, algumas vezes a 7 metros (SILVA et al., 2020) e, portanto, há um forte indicativo de que a planta pode estar exportando nutrientes de profundidades não mensuráveis inicialmente.

Alguns autores sugerem que os aumentos do número de rotações com plantações florestais elevam o teor de nutrientes, particularmente P, K, B, e, portanto existe uma fertilidade do solo profunda que muitas vezes não são consideradas nas amostragens operacionais nos sistemas de recomendação de adubação (SILVA, 2019).

Outra fonte de extração de fósforo que deve ser levado em conta é aquela advinda da contribuição dos resíduos da rotação anterior.

Na região deste experimento trabalha-se com sistema de corte full-tree, em que o corte é feito por Feller-Buncher e o baldeio com Skidder, sabe-se que é deixado no talhão os resíduos das folhas e dos galhos, uma vez que não é feito a descasca.

Tabela 10: Partição de macronutrientes (kg.ha⁻¹) e micronutrientes (mg.ha⁻¹) nas folhas e nos galhos para os tratamentos aos 71 meses.

Tratamentos	Partição de nutrientes na folha										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Fe	Mn*	Cu**
Controle	48,61 a	2,39 a	22,54 a	15,60 a	9,71 ab	3,42 a	261,82 a	47,78 a	682,38 a	1.416,46 ab	26,85 a
MPPA280 + META600SS	53,14 a	2,45 a	25,86 a	15,69 a	7,67 b	3,52 a	232,86 a	38,28 a	779,35 a	1.561,39 a	13,51 b
MPPA280 + META600Cb	60,61 a	2,54 a	22,39 a	16,54 a	9,45 ab	3,38 a	185,99 a	49,78 a	662,96 a	1.019,05 ab	21,67 ab
CSP280 + META600SS	74,96 a	3,07 a	27,18 a	21,89 a	13,20 a	4,06 a	193,99 a	44,05 a	808,93 a	786,74 b	15,16 ab
CSP280 + META600Cb	61,81 a	2,88 a	22,13 a	20,16 a	11,21 ab	4,02 a	349,86 a	43,51 a	935,48 a	1.250,59 ab	15,26 ab
MPPA280 + META400SS + META200Cb	66,23 a	2,61 a	25,97 a	16,08 a	10,02 ab	3,23 a	258,20 a	42,50 a	732,88 a	1.282,33 ab	19,48 ab
MPPA280 + META200SS + META400Cb	71,13 a	3,22 a	26,39 a	17,27 a	9,81 ab	4,24 a	271,54 a	46,26 a	796,32 a	1.380,35 ab	17,00 ab
	Partição de nutrientes no galho										
Controle	27,53 b	4,94 a	36,28 a	16,23 a	9,96 a	2,30 ab	96,60 ab	80,13 a	446,29 a	1310,93 a	43,15 a
MPPA280 + META600SS	31,62 ab	4,83 a	33,70 a	13,02 a	8,58 a	2,28 ab	66,08 ab	61,96 a	356,69 a	1197,30 ab	19,77 a
MPPA280 + META600Cb	32,94 ab	3,09 a	21,35 a	12,97 a	5,73 a	1,53 b	54,51 b	45,77 a	299,24 a	1189,87 ab	20,24 a
CSP280 + META600SS	27,54 b	4,22 a	28,09 a	19,49 a	9,99 a	1,86 ab	92,50 ab	50,93 a	395,47 a	656,34 b	17,06 a
CSP280 + META600Cb	43,33 ab	7,05 a	31,54 a	19,42 a	10,76 a	2,98 a	103,20 a	85,11 a	514,80 a	1331,61 a	33,95 a
MPPA280 + META400SS + META200Cb	55,53 a	3,90 a	30,74 a	13,47 a	7,60 a	1,57 b	88,75 ab	54,32 a	307,71 a	976,94 ab	25,82 a
MPPA280 + META200SS + META400Cb	53,50 a	4,44 a	26,00 a	22,57 a	8,87 a	2,32 ab	56,12 b	59,40 a	352,48 a	1037,12 ab	24,59 ab

As médias seguidas da mesma letra (na vertical) não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

* As médias seguidas da mesma letra (na vertical) não diferem estatisticamente ao nível de 10% de probabilidade, pelo teste F, para Mn no compartimento galho.

** As médias seguidas da mesma letra (na vertical) não diferem estatisticamente ao nível de 10% de probabilidade, pelo teste F, para Cu no compartimento folha.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 11: Partição de macronutrientes (kg.ha⁻¹) e micronutrientes (mg.ha⁻¹) no tronco e na parte aérea para os tratamentos aos 71 meses.

Tratamentos	Partição de nutrientes no tronco										
	N	P	K*	Ca	Mg	S**	B	Zn	Fe	Mn	Cu
Controle	261,30 a	4,10 a	69,59 ab	87,47 a	14,54 c	11,65 ab	377,14 ab	374,13 a	7736,13 a	5128,15 a	236,05 a
MPPA280 + META600SS	254,84 a	4,48 a	77,16 a	80,68 a	16,09 bc	13,12 ab	136,03 b	269,21 a	4326,24 a	5158,53 a	123,69 a
MPPA280 + META600Cb	318,02 a	5,36 a	67,69 ab	75,74 a	17,43 bc	9,42 ab	329,84 ab	376,98 a	5634,86 a	3494,00 ab	154,47 a
CSP280 + META600SS	194,04 a	5,01 a	43,21 b	124,24 a	37,91 a	9,14 ab	592,47 a	332,40 a	3963,90 a	1991,17 b	135,85 a
CSP280 + META600Cb	357,25 a	4,78 a	81,05 a	106,22 a	21,75 ab	14,03 a	552,81 a	274,24 a	5816,75 a	4165,83 a	106,06 a
MPPA280 + META400SS + META200Cb	471,07 a	5,54 a	68,45 ab	79,22 a	25,06 ab	5,25 b	634,25 a	271,68 a	2797,99 a	4506,82 a	226,85 a
MPPA280 + META200SS + META400Cb	361,32 a	5,62 a	87,13 a	81,10 a	16,98 bc	14,13 a	120,12 b	237,95 a	4071,44 a	3515,15 ab	119,45 a
Partição de nutrientes na parte aérea											
Controle	337,43 a	11,43 a	128,41 ab	119,30 a	34,21 ab	17,37 a	735,56 ab	502,04 a	8864,80 a	7855,54 a	306,05 a
MPPA280 + META600SS	339,59 a	11,76 a	136,73 ab	109,39 a	32,33 b	18,91 a	434,98 b	369,45 a	5462,28 a	7917,22 a	156,97 a
MPPA280 + META600Cb	411,57 a	10,99 a	111,43 ab	105,25 a	32,60 b	14,33 a	570,34 ab	472,53 a	6597,07 a	5702,92 ab	196,38 a
CSP280 + META600SS	296,53 a	12,31 a	98,49 b	165,62 a	61,10 a	15,05 a	878,96 a	427,38 a	5168,30 a	3434,25 b	168,07 a
CSP280 + META600Cb	462,38 a	14,71 a	134,72 ab	145,80 a	43,73 ab	21,02 a	1005,86 a	402,86 a	7267,03 a	6748,03 a	155,27 a
MPPA280 + META400SS + META200Cb	592,82 a	12,05 a	125,16 ab	108,76 a	42,68 ab	10,06 a	981,19 a	368,50 a	3838,58 a	6766,09 a	272,15 a
MPPA280 + META200SS + META400Cb	485,94 a	13,28 a	139,52 a	120,93 a	35,66 ab	20,68 a	447,78 b	343,61 a	5220,24 a	5932,62 ab	161,03 a

As médias seguidas da mesma letra (na vertical) não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

* As médias seguidas da mesma letra (na vertical) não diferem estatisticamente ao nível de 10% de probabilidade, pelo teste F, para K na parte aérea.

** As médias seguidas da mesma letra (na vertical) não diferem estatisticamente ao nível de 10% de probabilidade, pelo teste F, para S no compartimento tronco.

Fonte: Do autor (2020).

Levando-se em consideração que o IMA do ciclo anterior foi de $30 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, e o incremento médio anual esperado para a rotação atual era de $36 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}$ com uma expectativa de colheita aos 6 anos, a contribuição do resíduo na folha observado juntamente com o resíduo no galho para o elemento fósforo foi de 12,11 e 6,24 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente.

Aplicando a equação de contribuição do resíduo, equivale dizer que a contribuição para fósforo nesta área experimental foi de aproximadamente 15,89 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ou seja, são mais de 18 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de fósforo advindos do somatório do suprimento via solo e da contribuição dos resíduos do ciclo anterior, o que representa mais de 58% da demanda total para aquela produtividade estimada.

Para eficiência de utilização de nutrientes, foi determinado índice de utilização nutricional da folha, compreendido como: (matéria seca da parte aérea, tronco / conteúdo de nutriente na folha). Seus valores estão apresentados na tabela 14. Tendo em consideração a eficiência das folhas tanto no tronco quanto na parte aérea, foi possível constatar diferenças estatísticas apenas para os micronutrientes B, Mn e Cu. De modo geral, em todos os tratamentos observou-se que a eficiência de utilização de nutrientes na folha para produção de tronco apresentou a ordem decrescente: $\text{P} > \text{S} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K} > \text{N} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Fe} > \text{Mn}$. O tratamento MPPA280 + META600SS apesar de ser mais eficiente na utilização de Cu para produção de tronco, foi o menor eficiente na utilização de Mn.

Neste trabalho não há evidências de que adubação em dose única ou parcelada altera a eficiência nutricional da folha.

Além deste índice, calculou-se o coeficiente de utilização biológica integralizado (CUBint). O CUBint refere-se à eficiência de utilização de determinado nutriente na parte aérea, na conversão em biomassa de tronco.

Ele é calculado da seguinte forma: (biomassa do componente / quantidade do nutriente requerida na parte aérea), e pode ser interpretado da seguinte forma: quanto maior o valor, mais eficiente é a conversão dos nutrientes em biomassa. Em termos práticos, esse coeficiente deve ser o maior possível, com isso, será exportado menos nutriente por unidade de biomassa (SCHUMACHER, 2019), além disso, ressalta-se que este índice é prático para o silvicultor pois a partir de uma meta de produtividade, é possível ter uma noção da quantidade de nutriente exigida pelo plantio (SANTOS, 2015).

Observou-se diferenças estatísticas no CUBint dos elementos P, K, Mg, S, B e Mn (Tabela 13).

Tabela 12: Índice de utilização nutricional da folha para produção de biomassa do tronco e da parte aérea em todos os tratamentos aos 71 meses.

Tratamentos	Eficiência do conteúdo do nutriente na folha para a produção de biomassa do tronco										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
Controle	2,59 a	45,41 a	4,79 a	7,10 a	11,29 a	31,58 a	0,41 ab	2,27 a	0,16 a	0,08 ab	4,64 b
MPPA280 + META600SS	2,43 a	47,13 a	4,45 a	7,41 a	14,91 a	32,71 a	0,51 ab	3,03 a	0,15 a	0,07 b	8,82 a
MPPA280 + META600Cb	2,17 a	45,47 a	5,13 a	6,84 a	12,20 a	34,05 a	0,61 a	2,31 a	0,17 a	0,11 ab	5,22 ab
CSP280 + META600SS	1,78 a	38,28 a	4,31 a	5,39 a	9,03 a	29,11 a	0,48 ab	2,67 a	0,14 a	0,15 a	7,86 ab
CSP280 + META600Cb	2,00 a	37,40 a	4,88 a	5,54 a	9,68 a	26,85 a	0,31 b	2,47 a	0,11 a	0,08 ab	7,09 ab
MPPA280 + META400SS + META200Cb	2,11 a	47,05 a	4,86 a	7,89 a	12,40 a	37,88 a	0,47 ab	2,90 a	0,16 a	0,09 ab	6,34 ab
MPPA280 + META200SS + META400Cb	1,74 a	35,44 a	4,31 a	6,49 a	11,64 a	26,53 a	0,41 ab	2,47 a	0,14 a	0,08 ab	6,74 ab

Tratamentos	Eficiência do conteúdo do nutriente na folha para a produção de biomassa da parte aérea										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
Controle	2,64 a	49,88 a	5,26 a	7,79 a	12,39 a	34,71 a	0,45 ab	0,17 a	2,49 a	0,08 b	5,08 b
MPPA280 + META600SS	2,29 a	50,84 a	4,80 a	7,99 a	16,10 a	35,30 a	0,55 ab	0,16 a	3,27 a	0,08 ab	9,51 a
MPPA280 + META600Cb	2,07 a	49,23 a	5,56 a	7,41 a	13,21 a	36,87 a	0,66 a	0,19 a	2,50 a	0,12 ab	5,66 ab
CSP280 + META600SS	1,75 a	41,74 a	4,70 a	5,87 a	9,85 a	31,74 a	0,52 ab	0,15 a	2,91 a	0,16 a	8,56 ab
CSP280 + META600Cb	1,95 a	41,35 a	5,39 a	6,11 a	10,68 a	29,64 a	0,34 b	0,12 a	2,74 a	0,09 ab	7,84 ab
MPPA280 + META400SS + META200Cb	1,99 a	50,92 a	5,26 a	8,53 a	13,42 a	40,99 a	0,51 ab	0,18 a	3,14 a	0,10 ab	6,87 ab
MPPA280 + META200SS + META400Cb	1,70 a	38,45 a	4,67 a	7,04 a	13,21 a	28,79 a	0,44 ab	0,15 a	2,68 a	0,08 ab	7,31 ab

As médias seguidas da mesma letra (na vertical) não diferem estatisticamente ao nível de 10% de probabilidade, pelo teste F, para K na parte aérea.

Para macronutrientes: Biomassa (Mg.ha⁻¹)/Conteúdo (kg.ha⁻¹)

Para micronutrientes: Biomassa (Mg.ha⁻¹)/Conteúdo (g.ha⁻¹)

Fonte: Do autor (2020).

Neste trabalho não se observou diferenças na eficiência de utilização dos nutrientes entre os tratamentos MPPA280 + META600SS e MPPA280 + META600Cb, de modo que o CUBint não é a melhor estratégia adotada por um técnico na tomada de decisão sobre qual forma de adubação escolher, dose única ou parcelada para estes dois tratamentos.

Comparando os tratamentos MPPA280 + META400SS + META200Cb e MPPA280 + META200SS + META400Cb, este foi 55% mais eficiente na utilização de S e, em contrapartida, o segundo tratamento foi 50% mais eficiente na utilização de B.

De maneira geral, os nutrientes mais eficientes utilizados na parte aérea para produção do tronco, seguem a ordem decrescente em macronutrientes: P>S>Mg>Ca>K>N, e em micronutrientes Cu>Zn>B>Mn>Fe. Há divergência entre a ordem de Ca e K: No tratamento Controle e naqueles que foram utilizados a tecnologia MPPA os valores de Ca foram superiores.

A ordem majoritariamente encontrada está em consonância com o observado por Vieira et al. (2015) em híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*.

Entre os macronutrientes o N apresentou a menor eficiência de utilização. De acordo com Caldeira, Rondon Neto e Schumacher (2002), o N possui eficiência de uso relativamente baixa, quando comparado aos outros nutrientes, devido aos altos teores nas folhas verdes e à retranslocação interna, voltando ao solo através da queda de serapilheira, sendo assim novamente integrado ao ciclo biogeoquímico.

O tratamento mais produtivo MPPA280 + META400SS + META200Cb, não apresentou maiores valores de eficiência de utilização de nutrientes comparado aos demais tratamentos. O mesmo observado por Faria et al. (2008); Santana, Barros e Neves (2002).

O tratamento Controle apresentou alta eficiência de utilização dos nutrientes, com exceção do S e Mn. Visando a sustentabilidade da produção é recomendado que a eficiência deve ser compatível com a fertilidade do solo (SANTANA; BARROS; NEVES, 2002). Estes autores sugerem que materiais genéticos com alta eficiência devem ser plantados em solos ricos ou recebê-lo na forma de adubo, caso contrário, o risco de depauperação do solo seria rápido.

Diante do pressuposto, a exclusão da adubação de NPK, tal como foi feito no tratamento Controle, não parece ser uma alternativa sustentável na maioria dos solos do Cerrado.

Em regiões de sucessivos plantios de eucalipto, onde a contribuição da rotação anterior é bastante considerável, esta prática talvez não seja viável por mais de uma rotação, fazendo da adubação de reposição uma prática necessária.

De acordo com Amaral et al. (2011), a aquisição de nutrientes depende da eficiência dos mecanismos de absorção e do volume de solo explorado pelas raízes, e pode ser avaliada pelas eficiências de absorção, entre outros fatores.

Tabela 13: Coeficiente de utilização biológico integralizado (CUBint)** para produção de tronco para todos os tratamentos aos 71 meses.

Tratamentos	CUBint do tronco										
	N	P*	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
Controle	320,89 a	9473,57 ab	843,24 ab	907,63 a	3164,70 ab	6233,19 b	147,21 abcd	215,68 a	12,21 a	13,78 b	353,79 a
MPPA280 + META600SS	332,02 a	9589,36 ab	824,64 ab	1030,70 a	3487,07 a	5961,04 b	259,21 a	305,19 a	20,64 a	14,24 b	718,30 a
MPPA280 + META600Cb	274,96 a	10298,12 a	1015,61 ab	1075,18 a	3471,32 a	7895,25 ab	198,42 abc	239,49 a	17,15 a	19,84 b	576,27 a
CSP280 + META600SS	394,70 a	9509,39 ab	1188,41 a	706,69 a	1915,67 b	7774,76 ab	133,16 bcd	273,86 a	22,65 a	34,08 a	696,38 a
CSP280 + META600Cb	233,74 a	7348,12 b	802,19 b	741,26 a	2471,51 ab	5140,42 b	107,44 d	268,27 a	14,87 a	16,02 b	696,06 a
MPPA280 + META400SS + META200Cb	204,97 a	10079,62 ab	970,80 ab	1117,20 a	2846,77 ab	12084,21 a	123,84 cd	329,74 a	31,65 a	17,96 b	446,48 a
MPPA280 + META200SS + META400Cb	228,84 a	8373,46 ab	797,08 b	919,57 a	3118,50 ab	5376,29 b	248,35 ab	323,63 a	21,30 a	18,74 b	690,56 a

Para produção de cada componente, lenho e tronco, médias seguidas da mesma letra (na vertical) não diferem ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

* As médias seguidas da mesma letra (na vertical) não diferem estatisticamente ao nível de 10% de probabilidade, pelo teste F, para P na parte aérea.

** Matéria seca do tronco por hectare em kg/conteúdo de nutriente (kg para macronutrientes, g para micronutrientes) na parte aérea por hectare.

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 14: Média da eficiência de utilização de nutrientes da parte aérea (t²/kg) para o contraste de grupos: adubação em dose única e adubação em doses parceladas.

Grupos	Eficiência de utilização de nutrientes da parte aérea										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu
Dose única	82,39 ^{NS}	3288,99 ^{NS}	287,91 ^{NS}	165,50 ^{NS}	681,58 ^{NS}	1573,64 ^{NS}	70,84 ^{NS}	55,74 ^{NS}	4,09 ^{NS}	5,59 ^{NS}	131,44 ^{NS}
Parcelado	65,68 ^{NS}	3104,52 ^{NS}	212,96 ^{NS}	192,95 ^{NS}	795,61 ^{NS}	2017,08 ^{NS}	58,30 ^{NS}	56,49 ^{NS}	4,46 ^{NS}	4,04 ^{NS}	128,10 ^{NS}

^{NS}: Estimativa não significativa a 5% de probabilidade baseada no teste de Scheffé.

Fonte: Do autor (2020).

Por sua vez, a eficiência de utilização de nutrientes depende do seu transporte para a parte aérea e de sua exigência metabólica (MARTINEZ et al., 1993), sendo obtida pelo quociente entre a biomassa total da planta e a concentração do nutriente (SIDDIQI & GLASS, 1981).

Na tabela 14 foi comparado a eficiência de utilização de nutrientes da parte aérea os dois grupos estudados, isto é, o grupo que recebeu adubação NPK em dose única e grupo que recebeu adubação parcelada. Não foi observado diferença estatística nos elementos nutricionais avaliados, o que pode ser uma indicação de que neste contexto, o parcelamento não influenciou na eficiência de utilização de nutrientes. Esta eficiência está mais relacionada aos fatores genéticos, fisiológicos e qualidade de sítios (CAMARGO et al., 2004).

Manejar adequadamente a adubação, além de envolver análises técnicas sobre a eficiência de utilização dos nutrientes pela planta, produtividade alcançada, níveis tecnológicos de adubação, consiste ainda em realizar análises financeiras visando a apoiar em um dos fatores da sustentabilidade, o pilar econômico.

Para isso foi analisado o custo da adubação em cada tratamento fertilizado com NPK, considerando o somatório dos custos do fertilizante e da operação. O preço dos fertilizantes tem uma flutuação razoável devido a variação do dólar. No momento dessas análises a cotação do dólar no Brasil estava R\$5,58, um dos mais altos observados nos últimos 10 anos, especialmente por conta da pandemia do coronavírus (SOUZA; ZANLORENSSI, 2020).

Para esta análise não foi considerado o tratamento Controle, uma vez que o mesmo é insustentável nesta região de solo com limitação hídrica e nutricional. A limitação na fertilização, como foi no tratamento Controle, não é sustentável a longo prazo pois ela não favorece a manutenção dos recursos do solo e nem o equilíbrio nutricional, tal como observado por Gonçalves et al. (2008). Estes autores, em trabalho realizado nas regiões do Cerrado e em outras partes do Brasil, ao avaliar os efeitos do manejo silvicultural em longo prazo observaram que o manejo que não conserva os recursos do solo, danifica as características físicas e químicas do solo e desbalanceia o manejo da fertilização.

Além disso, se a técnica de exploração florestal é intensiva ou inadequada e resulta em elevada exportação de nutrientes do sistema, a qualidade do local, e portanto, a produtividade decresce rapidamente (BARROS et al., 1986).

Considerando a idade técnica de corte sendo a idade de máxima produtividade, de modo que na ITC está a máxima taxa média de incremento de produção que determinado tratamento pode alcançar no local de implantação (CAMPOS; LEITE, 2013), foi avaliado qual o custo da adubação para cada tratamento, levando-se em conta o incremento médio anual máximo estimado e a idade técnica de corte.

Tabela 15: Indicadores do custos de adubação em R\$.ha⁻¹ e R\$.m⁻³ em relação ao IMA estimado na idade técnica de corte.

Tratamentos	Tecnologia	Forma de aplicação	Custos com adubação (R\$.ha ⁻¹)	IMA na ITC (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Custo com adubação (R\$.m ⁻³)
	-	Subsolagem	587,10		
Controle	Calcário calcinado	Cobertura em filete contínuo	479,05	25,91	3,58
			587,10		
	MPPA	Subsolagem	1456,50		
MPPA280 + META600SS	META	Subsolagem	2119,47	30,43	20,77
	Calcário calcinado	Cobertura em filete contínuo	479,05		
			4055,02		
	MPPA	Subsolagem	1456,50		
MPPA280 + META600Cb	Calcário calcinado	Cobertura em filete contínuo	479,05	30	21,10
	META	Cobertura em filete contínuo	1115,97		
	META	Cobertura em filete contínuo	1115,97		
			4167,49		
	CSP	Subsolagem	1546,38		
CSP280 + META600SS	META	Subsolagem	2119,47	31,81	22,34
	Calcário calcinado	Cobertura em filete contínuo	479,05		
			4144,90		
	CSP	Subsolagem	1546,38		
CSP280 + META600Cb	Calcário calcinado	Cobertura em filete contínuo	479,05	32,74	22,61
	META	Cobertura em filete contínuo	1115,97		
	META	Cobertura em filete contínuo	1115,97		
			4257,37		
	MPPA	Subsolagem	1456,5		
MPPA280 + META400SS + META200Cb	META	Subsolagem	1450,47	34,56	20,67
	Calcário calcinado	Cobertura em filete contínuo	479,05		
	META	Cobertura em filete contínuo	781,47		
			4167,49		
	MPPA	Subsolagem	1456,50		
MPPA280 + META200SS + META400Cb	Calcário calcinado	Subsolagem	781,47	31,32	23,10
	Geox SS	Cobertura em filete contínuo	479,05		
	META	Cobertura em filete contínuo	781,47		
	META	Cobertura em filete contínuo	781,47		
			4279,96		

Cotação do dólar: R\$5,58

Fonte: Do autor (2020).

Para esta análise foi avaliado apenas o custo do adubo para produção de madeira, pois esta operação (juntamente com os insumos) são responsáveis por até 40% do custo de implantação de uma floresta de eucalipto (IFAG, 2017; IFP, 2020). Os valores encontram-se na tabela 15.

Entre os demais tratamentos que receberam um pacote de fertilização completo, isto é, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn e Cu, o tratamento MPPA280 + META400SS + META200Cb obteve o menor custo com adubação. O elevado incremento médio anual e o menor ITC entre todos os tratamentos favoreceu a diluição do custo de adubação.

Comparando os tratamentos MPPA280 + META600SS e MPPA280 + META600Cb que tiveram a mesma quantidade de adubos utilizadas e a mesma tecnologia, porém diferentes formas de aplicação, ambos obtiveram uma produtividade aproximada de $30 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}$, porém a adubação em dose única proporcionou um custo com adubação por volume de madeira mais barata, pois além de ter a idade técnica inferior, teve os custos reduzidos por haver uma operação a menos.

Tratando-se de análises econômicas, conforme já citado que os custos da adubação são responsáveis por até 40% do investimento de implantação de uma floresta (IFAG, 2017; IFP, 2020), de acordo com Silva (2012), entre todo o processo de produção de eucalipto (custo da terra + implantação + transporte + colheita), os custos da colheita podem representar mais de 20%, sendo, portanto, mais expressivos do que aquele..

O volume médio individual da árvore (VMI) é considerado uma das principais variáveis de influência na produtividade de colheita da madeira, e por isso, a distribuição em classes de VMI tem sido usada como estratégia de pagamento por operações desse processo.

Na tabela 16 é apresentado uma estimativa de custos ($\text{R}\$/\text{m}^3$) para as operações de colheita de um sistema de corte full-tree, em que o corte é feito por Feller-Buncher, o arraste por Skidder e o traçamento em madeira de 3,15m por Garra traçadora, para diferentes classes de VMI na região Centro Norte de Minas Gerais.

Considerando o VMI médio observado na idade técnica de corte para cada tratamento, observa-se que o custo final da colheita ($\text{R}\$ \cdot \text{m}^{-3}$) não teve variação entre os tratamentos com adubação NPK, seja em aplicação em dose única ou parcelada, uma vez que todos apresentaram-se na mesma classe de VMI, e conseqüentemente obtiveram o mesmo custo (Tabela 17).

Apenas no tratamento Controle foi observado um custo total de colheita ($\text{R}\$ \cdot \text{m}^{-3}$) de 18% a mais que nos demais tratamentos.

Tabela 16: Estimativa de custos (R\$/m³) das operações de colheita de um sistema de corte full-tree para diferentes classes de VMI na região Centro Norte de Minas Gerais.

Operação	Classe VMI médio (m ³)	Custo (R\$/m ³)
Derrubada (Feller Buncher)	0,01-0,05	48,47
	0,06-0,10	15,34
	0,11-0,15	9,92
	0,16-0,20	7,75
	0,21-0,25	7,06
	0,26-0,99	5,82
Arraste (Skkider)	0,01-0,05	19,34
	0,06-0,10	8,59
	0,11-0,15	6,33
	0,16-0,20	4,83
	0,21-0,25	4,28
	0,26-0,99	4,12
Traçamento de madeira de 3,15 m (Garra traçadora)	0,01-0,05	6,93
	0,06-0,10	6,31
	0,11-0,15	5,58
	0,16-0,20	5,3
	0,21-0,25	5,06
	0,26-0,99	4,72

Fonte: Do autor (2020).

Tabela 17: Volume médio individual (m³.ha⁻¹) na idade técnica de corte para os tratamentos e os respectivos custos da colheita em sistema de corte full-tree (R\$.ha⁻¹ R\$.m⁻³)

Tratamentos	ITC (anos)	VOL ^{ITC} (m ³ .ha ⁻¹)	VMI médio (m ³)	Custo total (R\$.ha ⁻¹)	Custo total (R\$.m ⁻³)
MPPA280 + META400SS + META200Cb	5,67	195,84	0,18	3.501,62	17,88
CSP280 + META600Cb	5,75	188,26	0,17	3.366,00	17,88
CSP280 + META600SS	5,83	185,97	0,17	3.325,08	17,88
MPPA280 + META200SS + META400Cb	5,92	185,31	0,17	3.313,34	17,88
Controle	6,33	164,10	0,15	3.582,23	21,83
MPPA280 + META600SS	6,42	195,26	0,18	3.491,23	17,88
MPPA280 + META600Cb	6,58	197,50	0,18	3.531,30	17,88

Fonte: Do autor (2020).

Sabendo-se de que o efeito do regime hídrico para a produção de madeira é bastante expressivo, caso fosse reiniciado um regime climático de acordo com a normal climatológica da região, o incremento em biomassa e volume poderia ser significativamente superior nos tratamentos adubados com NPK, mudando-os de classe de VMI. Conseqüentemente os custos com a colheita poderiam ser muito superiores.

A sustentabilidade de um empreendimento, independentemente da dimensão, será atingida apenas se sua gestão for capaz de administrar, de forma harmônica, todos os fatores envolvidos no processo produtivo (GOEDERT; OLIVEIRA, 2007), seja econômico, seja ambiental ou social.

5. CONCLUSÃO

Diante do apresentado, conclui-se que:

- Não há evidências que a forma de adubação, seja em dose única ou parcelada, proporcionou maiores rendimentos volumétricos.
- Não houve diferença significativa na biomassa e nem na partição de nitrogênio e fósforo na parte aérea dos tratamentos.
- A eficiência de utilização de nutrientes da parte aérea para os grupos de adubação em dose única e parcelado não apresentaram diferenças significativas.
- Os custos referentes à colheita foram os mesmos para os tratamentos adubados com NPK, uma vez que o VMI dos mesmos se encontravam na mesma classe de pagamento.
- **Resumo:** A redução do parcelamento da fertilização apresenta-se viável, tanto em rendimento volumétrico, eficiência de utilização de nutrientes, como em custos da colheita, utilizando-se a mesma quantidade de nutrientes e fertilizantes de tecnologia agregada como os fertilizantes MPPA, CSP e META.

6. REFERÊNCIAS

ALCARDE, José Carlos; GUIDOLIN, José Adroaldo; LOPES, Alfredo Scheid. **Os adubos e a eficiência das adubações**. São Paulo: ANDA, 1998. p. 1-43. Disponível em: http://anda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/boletim_03.pdf. Acesso em: 27 maio 2020.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

AMARAL, Fernando Cezar Saraiva do et al. **Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 1-95.

AMARAL, J.F.T.; MARTINEZ, H.E.P.; LAVIOLA, B.G.; FERNANDES FILHO, E.I.; CRUZ, C.D. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Ciência Rural*, vol. 41, n. 4, p. 621-629, 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782011000400012

ANDRADE, Guilherme de Castro et al. Acúmulo de Nutrientes na Biomassa e na Serapilheira de *Eucalyptus grandis* em Função da Aplicação de Lixo Urbano e de Nutrientes Minerais. *Boletim de Pesquisa Florestal*, n. 53, p. 109–136, 2006. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF/42122/1/BPF_53_p109-136.pdf. Acesso em: 1 ago. 2020.

ARAÚJO, Elias Frank de; SILVEIRA, Ronaldo Luiz Vaz de Arruda; BUONA, Claudemir. A demanda nutricional de clones de eucalipto na região Sul do Brasil. *Addubare*, 2016. p. 3-7. Disponível em: www.rragroflorestal.com.br. Acesso em: 29 jul. 2020.

ARENS, Karl. **O cerrado com vegetação oligotrófica**. Rio de Janeiro, 1958. [s.n.].

BARROS, Nairam Felix et al. **NUTRICALC 2.0-Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto**. Nota técnica. [S.l.: s.n.], 1995.

BARROS, Nairam Felix; NEVES, Júlio César Lima; NOVAIS, Roberto Ferreira. Fertilidade

de solos, nutrientes e produção florestal. **Visão Agrícola**, n. n.4, p. 76-79, 2005.

BARROS, Nairam Felix et al. Classificação nutricional de sítios florestais: Descrição de uma metodologia. **Árvore**, v. 10, n. 1, p. 112–120, 1986.

BARROS, Nairam Félix; NOVAIS, Roberto Ferreira. Eucalipto. In: RIBEIRO, Antônio Carlos; GUIMARÃES, Paulo Tácito G.; ALVAREZ V., Victor Hugo (Org.). **Recomendação para o uso corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 303–305.

BATTISTI, Rafael; SENTELHAS, Paulo César; PILAU, Felipe Gustavo. Eficiência agrícola da produção de soja, milho e trigo no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2008. Agricultural efficiency of soybean, corn and wheat production in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, between 1980 and 2008. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 24–30, 2012. Disponível em: http://www.producao.usp.br/bitstream/handle/BDPI/37091/wos2012-6772_pt.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 4 dez. 2018.

BAZANI, José Henrique. **Eficiência de fertilizantes fosfatados solúveis e pouco solúveis, com ou sem complexação com substâncias húmicas, em plantações de eucalipto**. 2014. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. f. 1–130 Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-11112014-160156/publico/Jose_Henrique_Bazani_versao_revisada.pdf. Acesso em: 20 jul. 2020.

BINKLEY, Dan et al. Variation in whole-rotation yield among Eucalyptus genotypes in response to water and heat stresses: The TECHS project. **Forest Ecology and Management**, v. 462, p. 1–12, 15 abr. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112719324843>. Acesso em: 12 out. 2020.

BOX, George Edward Pelham; COX, David Roxbee. An Analysis of Transformations. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, v. 26, n. 2, p. 211–252, 1964.

CALDEIRA, Marcos Vinicius Winckler; RONDON NETO, Rubens Marques;

SCHUMACHER, Mauro Valdir. Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australianas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 615–620, out. 2002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622002000500012&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 3 ago. 2020.

CAMARGO, Maria Letícia Pereira. et al. Considerações sobre eficiência nutricional em Eucalyptus. **Científica**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 191-196, 2004.

CAMPOS, João Carlos Chagas; LEITE, Hélio Garcia. Crescimento, Produção e Mortalidade. In: CAMPOS, João Carlos Chagas; LEITE, Hélio Garcia. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 4ª Edição ed. Viçosa: UFV, 2013a. p. 318–342.

CAMPOS, João Carlos Chagas; LEITE, Hélio Garcia.. Cubagem e tabelas de volume. In: CAMPOS, João Carlos Chagas; LEITE, Hélio Garcia. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2013b. p. 96–130.

CANTARUTTI, Reinaldo Bertola et al. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, Roberto Ferreira et al. (Org.). **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 1. p. 769–850.

CASARIN, Valter; STIPP, Silvia Regina. Quatro medidas corretas que levam ao uso eficiente dos fertilizantes. **Informações Agronômicas, International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba, 2013. p. 14–20. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/F3E4A9724CFDED4083257B9D00671AB9/\\$FILE/Page14-20-142.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/F3E4A9724CFDED4083257B9D00671AB9/$FILE/Page14-20-142.pdf). Acesso em: 23 maio 2020.

CERETTA, Carlos Alberto; SILVA, Leandro Souza da; PAVINATO, Aurélio. Manejo de Adubação. In: NOVAIS, Roberto Ferreira et al. (Org.). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 851–872. Disponível em: https://www.sbcs.org.br/loja/index.php?route=product/product&product_id=52. Acesso em: 23 maio 2020.

CHICHORRO, J. F. et al. Efeito do fertilizante na produtividade e economicidade do

Eucalyptus grandis, no Município de Martinho Campos-MG. **Revista Arvore**, v. 18, n. 1, p. 33–44, 1994. Disponível em: [http://andorinha.epagri.sc.gov.br/consultaweb/site/busca?b=ad&id=57682&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22CHICHORRO, J. F.%22&qFacets=autoria:%22CHICHORRO, J. F.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1](http://andorinha.epagri.sc.gov.br/consultaweb/site/busca?b=ad&id=57682&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22CHICHORRO,%20J.%20F.%22&qFacets=autoria:%22CHICHORRO,%20J.%20F.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1). Acesso em: 4 dez. 2018.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Recomendações de adubação. In: TEDESCO, Marino J. et al. (Org.). **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. p. 71–76.

CORREIA, João Roberto; REATTO, Adriana; SPERA, Silvio Tulio. Solos e suas relações com o uso e o manejo. **Cerrado, correção do solo e adubação**. Brasília, DF, 2004. p. 29–58. Disponível em: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGB.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mf=215520>. Acesso em: 11 maio 2020.

CUNHA, Camila Rossetti da. **Avaliação de impactos imediatos da retirada de eucalipto em sub-bosque avançado, na APTA - Polo Regional Alta Mogiana, município de Colina/SP**. 2012. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. f. 1–132.

DIAS, Andrea Nogueira et al. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. **Árvore**, v. 29, n. 5, p. 731–739, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n5/a08v29n5.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2020.

EIDT, Robert C. The Climatology of South America. In: FITTKAU, E. J. et al. (Org.). **Biogeography and Ecology in South America**. Springer Netherlands, 1968. p. 54–81.

ERRO, Javier et al. Organic Complexed Superphosphates (CSP): Physicochemical characterization and agronomical properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 8, p. 2008–2017, 29 fev. 2012.

FARIA, Geraldo Erli de et al. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização

de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus spp.* no vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 363–373, 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/448/342>. Acesso em: 1 ago. 2020.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039 - 1042, 2011. Disponível em: www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-70542011000600001&script=sci_abstract&tlng=pt

GALIZIA, Luiz Felipe de Castro; RAMIRO, Glodoaldo Arantes; ROSA, Cirineu Jose de Carvalho. Qualidade das atividades silviculturais e silvicultura de precisão. **Série técnica IPEF**. Piracicaba. p. 44-50, jul. 2016.

GERDAU. **SAGEF: Equações para recomendação de adubação na Gerdau Florestal**. Gerdau Aços Longos. Três Marias, 2020.

GOEDERT, Wenceslau J.; OLIVEIRA, Sebastião Alberto de. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola - Pesquisa Google. In: NOVAIS, Roberto Ferreira et al. (Org.). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 990–1017.

GONÇALVES, José Leonardo de Moraes. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; STAPE, José Luiz (Org.). **Conservação e Cultivo de solos para plantações florestais**. 1. ed. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 01–46.

GONÇALVES, José Leonardo de Moraes. Recomendações de Adubação para Eucalyptus, Pinus e Espécies Típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**. IPEF. Piracicaba, SP, 1995. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/docflorestais/cap15.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2018.

GONÇALVES, José Leonardo de Moraes et al. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, v:70, p. 1-14. 2008.

GONSAGA, Renan Furlan. **Produção de madeira e eficiência de utilização de nutrientes**

em clones de eucaliptos em diferentes idades. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticaval, 2017. f. 1–50.

HAKAMADA, Rodrigo Eiji et al. Uso do inventário florestal e da uniformidade entre árvores como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural em plantios clonais de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 27–39, 2015. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr105/cap03.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2018.

HARIDASAN, Mundayatan. Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 1, p. 54–64, 2000.

HERRERA, Wilfrand Ferney Bejarano et al. Crop Yields and Soil Phosphorus Lability under Soluble and Humic-Complexed Phosphate Fertilizers. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1692–1702, 1 jul. 2016. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.2134/agronj2015.0561>. Acesso em: 21 jul. 2020.

HYAMS, Daniel G. **CurveExpert**. Versão 1.4. [S.l.]: Hyams Development. Disponível em: <https://www.curveexpert.net/>. Acesso em: 3 ago. 2020. , 2018

IFAG. **Estimativa de custo operacional de produção de eucalipto**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: https://www.google.com/search?q=custo+de+fertilizante+para+implantação+de+floresta&rlz=1C1GGRV_enBR779BR779&oq=cus&aqs=chrome.0.69i59l3j69i57j69i59j69i61.907j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8. Acesso em: 3 ago. 2020. , 2017

IFP. **Custos Florestais**. Instituto de Florestas do Paraná. Curitiba: [s.n.], 2020. Disponível em: <http://www.florestasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=46>. Acesso em: 3 ago. 2020.

INMET. **Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO)**. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhs>. Acesso em: 26 jul. 2020.

LI-COR INC. **LAI-2000 Plant Canopy Analyzer**. Lincoln: [s.n.]. Disponível em: <https://www.licor.com/env/support/LAI-2000/home.html>. Acesso em: 3 ago. 2020. , 1992

LIBARDI, Danilo José et al. Novas tecnologias na produção de fertilizantes – TIMAC Agro Brasil. out. 2014, Piracicaba: IPEF, out. 2014. p. 74–79. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr39/st39.pdf>. Acesso em: 7 out. 2020.

LOBELL, David B; CASSMAN, Kenneth G; FIELD, Christopher B. Crop Yield Gaps: Their importance, magnitudes, and causes crop yield gaps. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 34, p. 1–26, 2009. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/ncesrpub/3>. Acesso em: 17 maio 2020.

LOPES, Alfredo Scheid. Soils under Cerrado: A success story in soil management precision nutrient management in intensive irrigated rice systems phosphorus residual effect in andisols cultivated with potatoes. **Better Crops International**, v. 10, n. 2, p. 7–15, nov. 1996.

LOPES, Alfredo Scheid.. **Solos sob “cerrado”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato e Instituto Internacional da Potassa, 1983. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=ad&id=4162&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22LOPES,A.S.&qFacets=autoria:%22LOPES,A.S.&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 2 ago. 2020.

LOPES, Alfredo Scheid; COX, Fred R. A survey of the fertility status of surface soils under “Cerrado” vegetation in Brazil. **Soil science society of America journal**, v. 41, n. 4, p. 747, 1 jul. 1977. Disponível em: <https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/41/4/SS0410040742>. Acesso em: 25 maio 2020.

LOPES, Alfredo Scheid; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas**. ANDA. 3. ed. São Paulo: nov. 2000. p. 1-72.

LOURENÇO, Helton Maycon. **Crescimento e eficiência do uso de água e nutrientes em eucalipto fertirrigado**. 2009. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. f. 1–145. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5424/texto%20completo.pdf?sequence>

=1&isAllowed=y. Acesso em: 26 jul. 2020.

LUZ, Maria José da Silva e; FERREIRA, Gilvan Barbosa; BEZERRA, José Renato Cortez. **Como aplicar os fertilizantes recomendados em sua lavoura**. Campina Grande: Embrapa, 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/273436/1/DOC110.PDF>. Acesso em: 23 maio 2020.

MALAVOLTA, Eurípedes. **ABC da adubação**. 5. ed. São Paulo: Ceres, 1989.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, v. 1. 1980.

MITSCHERLICH, Eilhard Alfred. Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrags. **Landwirtschaftliche Jahrbücher**, v. 38, p. 537–552, 1909.

NOSOLINE, Sumaya Mário. **Avaliação da produção de biomassa vegetal e grãos por cultivares de feijão-caupi**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012. f. 1–46 Disponível em: <[https://tede.ufrjr.br/jspui/bitstream/jspui/3637/2/2012 - Sumaya Mário Nosoline.pdf](https://tede.ufrjr.br/jspui/bitstream/jspui/3637/2/2012-Sumaya%20M%C3%A1rio%20Nosoline.pdf)>. Acesso em: 7 out. 2020.

OLIVEIRA JUNIOR, Adilson de; CASTRO, Cesar de. **Avaliação da Fertilidade do Solo: Critérios para recomendação da adubação**. Disponível em: <https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2020/01/29/avaliacao-da-fertilidade-do-solo-criterios-para-recomendacao-da-adubacao-2/>. Acesso em: 18 maio 2020.

OLIVEIRA NETO, Silvio Nolasco de et al. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn em resposta à adubação e ao espaçamento. **Árvore**, v. 27, n. 1, p. 15–23, 2003.

PEREIRA, Maria Renata Rocha; FRANCISCATTE, Joice. Silvicultura de precisão na qualidade da floresta e no preparo do solo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA**. 2017, Campinas: Galoá, 2017. Disponível em:

<https://proceedings.science/cbctem/papers/silvicultura-de-precisao-na-qualidade-da-floresta-e-no-preparo-de-solo>. Acesso em: 28 maio 2020.

POGGIANI, Fabio et al. **Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos**. Série Técnica IPEF. Piracicaba: p. 17-30, ago. 1984. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr27/cap02.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2020.

PROCHNOW, Luís Ignácio; PETERSON, Heidi; BRUULSEMA, Tom. Acesso das plantas ao legado de fósforo, com foco nos trópicos. **Informações Agronômicas**, n. 1, p. 9–13, mar. 2019. Disponível em: <https://www.npct.com.br/publication/IASite.nsf/HomePage?ReadForm&toc=2019>. Acesso em: 23 maio 2020.

QUEIROZ, R et al. **Zoneamento agroclimático do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG: Secretaria de Estado da Agricultura, 1980.

REETZ, Harold F. **Fertilizantes e seu Uso Eficiente**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2017. Disponível em: <http://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e-seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf>. Acesso em: 23 maio 2020.

Relatório 2020 IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. Brasília: p. 1-122, 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf> Acesso em: 20 nov. 2018.

RESENDE, Robson Rodrigues et al. Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de eucalipto. **Árvore**, v. 28, n. 2, p. 219–225, 2004.

RIZZO, Luiz Toledo Barros. **Levantamento Pedológico Semidetalhado - Gerdau Aços Longos**. Cotia: p. 1-153, abr. 2019.

ROBERTS, T L. **Right product, right rate, right time and right place ... the foundation of best management practices for fertilizer**. . Paris: p. 29-32, ago. 2007. Disponível em: [https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3262/\\$File/Roberts_2007_4Rs.pdf](https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3262/$File/Roberts_2007_4Rs.pdf). Acesso em: 25 maio 2020.

RSTUDIO. **RStudio: Integrated development environment for R**. Boston: [s.n.], 2017

SANTANA, Reynaldo Campos; BARROS, Nairam Félix de; NEVES, Júlio César Lima. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, v. 56, p. 155–169, 1991. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr56/cap12.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2018.

SANTANA, Reynaldo Campos; BARROS, Nairam Félix de; NEVES, Júlio César Lima. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em Sítios Florestais do Estado De São Paulo. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 447–457, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v26n4/a07v26n4>. Acesso em: 4 dez. 2018.

SANTANA, Reynaldo Santana; FONTAN, Ivan da Costa Ilhéu; OLIVEIRA, Sandro Longuinho de. Implantação, manutenção e produtividade dos povoamentos. In: VALE, Antônio Bartolomeu do et al. (Org.). **Eucaliptocultura no Brasil: Silvicultura, manejo e ambiência**. ed. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 2014. v. 1. p. 161–171.

SANTOS, Márcio Luiz Dos. **Partição de biomassa e nutrientes em plantios clonais e seminais de teca**. 2015. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015. f. 1 -68. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7495/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 out. 2020.

SCHEEREN, Luciano Weber; SCHNEIDER, Paulo Renato; FINGER, César Augusto Guimarães. Crescimento e produção de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus saligna* Smith manejados com desbaste, na região sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 111–122, 2004. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/cienciaflorestal/artigos/v14n2/A11V14N2.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2020.

SCHUMACHER, Francis X; HALL, Francisco dos Santos. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719–734, 1 nov. 1933.

SCHUMACHER, Mauro Valdir et al. Manejo da biomassa e sustentabilidade nutricional em povoamentos de *Eucalyptus* spp. em pequenas propriedades rurais. **Ciência Florestal**, n. 1, p. 144–156, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050985135>. Acesso em: 28 jul. 2020.

SENTELHAS, Paulo César; et al. **Yield Gap - Conceitos, definições e exemplos**. Informações Agronômicas. Piracicaba, SP: p. 9 - 12., set. 2016. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/11F5D686CAB4137C83258042004C1292/\\$FILE/Jornal-155.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/11F5D686CAB4137C83258042004C1292/$FILE/Jornal-155.pdf). Acesso em: 13 maio 2020.

SENTELHAS, Paulo César; ELLI, Elvis Felling; FREITAS, Cleverton Henrique. Yield gap conceitos e aplicações no setor florestal. **Um fruto chamado produtividade - Revista Opiniões**, p. 28–30, dez. 2017. Disponível em: <https://revistaonline.revistaopinioes.com.br/revistas/flo/156/#page/1>. Acesso em: 13 maio 2020.

SENTELHAS, Paulo César; ELLI, Elvis Felipe; FREITAS, Cleverton Henrique. **Yield gap conceitos e aplicações no setor florestal**. Disponível em: <https://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/10-yield-gap-conceitos-e-aplicacoes-no-setor-flore>. Acesso em: 4 dez. 2018.

SIDDIQI, M. Yaeesh; GLASS, Anthony D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.4, n.3, p.289-302, 1981.

SILVA, Jadir Vieira da et al. Produção e acúmulo de nutrientes em povoamento de eucalipto em consequência da intensidade do desbaste e da fertilização. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 11, p. 1555–1562, 2012.

SILVA, Paulo Henrique Muller da et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 79–88, 2008. Disponível em:

<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr77/cap09.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2018.

SILVA, Fábio Cesar. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. Disponível em: <https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00083136.pdf>. Acesso em: 7 out. 2020.

SILVA, Vinicius Evangelista. **Atributos do solo e desenvolvimento radicular em plantações de eucalipto no Brasil**. 2019. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019. f. 1-110. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/182207/silva_ve_dr_ilha.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 2 ago. 2020.

SILVA, Vinicius Evangelista et al. Influences of edaphoclimatic conditions on deep rooting and soil water availability in Brazilian Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 455 [s.n.], 1 jan. 2020.

SILVEIRA, Ronaldo Luiz Vaz de Arruda et al. Seja o doutor do seu eucalipto. **Informações Agronômicas**. Potafos. Piracicaba, n. 12, p. 1-32., mar. 2001. Disponível em: [www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3148/\\$File/Eucalipto.pdf](http://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3148/$File/Eucalipto.pdf). Acesso em: 23 maio 2020.

SILVEIRA, Ronaldo Luiz Vaz de Arruda; GAVA, José Luiz. Nutrição e adubação fosfatada em Eucalyptus. In: YAMADA, Tsuioshi; ABDALLA, Silvia Regina Stipp e (Org.). **Fósforo na Agricultura Brasileira**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 495–536.

SILVEIRA, Ronaldo Luiz Vaz de Arruda; GAVA, José Luiz; MALAVOLTA, Eurípedes. Nutrição e adubação potássica em Eucalyptus. **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 523–590.

SILVEIRA, Ronaldo Luiz Vaz de Arruda; MALAVOLTA, Eurípedes. Nutrição e adubação potássica em Eucalyptus. **Informações Agronômicas**. Potafos, p. 1–12, set. 2000.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de; LOBATO, Edson. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. **Informações Agronômicas**. Potafos, p. 1–16, abr. 2003.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de; LOBATO, Edson. **Latossolos**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html. Acesso em: 11 maio 2020.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes; LOBATO, Edson; REIN, Thomaz A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, Djalma M. Gomes; LOBATO, Edson (Org.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. p. 147–168. Disponível em: https://www.google.com/search?q=adubação+com+fósforo+sousa%2C+lobato%2C+rein&rlz=1C1GGRV_enBR779BR779&oq=adubação+com+fósforo+sousa%2C+lobato%2C+rein&aqs=chrome..69i57j69i60.474j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8. Acesso em: 25 maio 2020.

SOUZA, Caroline; ZANLORENSSI, Gabriel. A cotação do dólar historicamente e durante a pandemia. **Nexo Jornal**. Disponível em: <https://www.nexojornal.com.br/grafico/2020/05/20/A-cotação-do-dólar-historicamente-e-durante-a-pandemia>. Acesso em: 3 ago. 2020.

STAPE, Jose Luiz. **Production ecology of clonal Eucalyptus plantations in Northeastern Brazil**. 2002. Tese (Doutorado) - Departamento de Ciências Florestais, Colorado State University, Fort Collins, 2002. f. 1–237. Disponível em: <http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/stape,jl.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2018.

TIMAC AGRO. **Sulfammo MeTA**. Córdoba: [s.n.], 2019. Disponível em: <https://www.unicorsa.com/wp-content/uploads/2019/06/Sulfammo.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2020.

TRANI, Paulo Espíndola; TIVELLI, Sebastião Wilson; CARRIJO, Osmar Alves. Fertirrigação em hortaliças. **Boletim Técnico IAC**, n. 196, p. 1–51, ago. 2011. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacbt1962ed.pdf>. Acesso em: 11 out. 2020.

URRUTIA, Oscar et al. Theoretical chemical characterization of phosphate-metal-humic complexes and relationships with their effects on both phosphorus soil fixation and phosphorus availability for plants. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 2, p. 293–303, 30 jan. 2013. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/jsfa.5756>. Acesso em: 31 jul.

2020.

VALE, Ailton Teixeira do et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* hill ex- maiden e *Acacia mangium* willd em diferentes níveis de adubação. **CERNE**, v. 6, n. 1, p. 83–88, 2000. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74460110>. Acesso em: 4 dez. 2018.

VIEIRA, Márcio et al. Implicações nutricionais com base em diferentes intensidades de colheita da biomassa de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 3, p. 432–439, mar. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20120367>. Acesso em: 22 jun. 2020.

VILELA, Lourival; SOUSA, Djalma M. Gomes de; SILVA, José Eurípedes. Adubação potássica. In: SOUSA, Djalma M. Gomes de.; LOBATO, Edson (Org.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 4. ed. Brasília, : Embrapa, 2004. v. 1. p. 169–182.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v. 11, n. 1, p. 41–76, 1 jan. 1947. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/article/159526/Comparative>. Acesso em: 3 ago. 2020.

WINK, Charote et al. Biomassa e nutrientes de eucalipto cultivado em sistema agrossilvipastoril. **Nativa**, v. 6, p. 754–762, 2018a.

XAVIER, Alexandre Cândido; SOARES, João Viane; ALMEIDA, Auro Campi de. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Árvore**, v. 26, n. 4, p. 421–427, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v26n4/a04v26n4.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2020.

