Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Nutrição e fertilização de plantações clonais de eucalipto sob diferentes condições edafoclimáticas

Eduardo Aparecido Sereguin Cabral de Melo

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Programa: Recursos Florestais. Opção em Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2014

Eduardo Aparecido Sereguin Cabral de Melo
Engenheiro Florestal

Nutrição e fertilização de plantações clonais de eucalipto sob diferentes condições edafoclimáticas

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Programa: Recursos Florestais. Opção em Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Melo, Eduardo Aparecido Sereguin Cabral de
Nutrição e fertilização de plantações clonais de eucalipto sob diferentes condições edafoclimáticas / Eduardo Aparecido Sereguin Cabral de Melo. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - -Piracicaba, 2014.
186 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Curvas de resposta 2. Silvicultura 3. Nitrogênio 4. Fósforo, Potássio
I. Título

CDD 634.9734
M528n

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"

À minha mãe, Roseli, pelo carinho, dedicação e amor com os quais nunca cessou de nos ensinar. Ao meu irmão Marcel, por me acompanhar por tantos anos, sempre demonstrando seu afeto.

À minha futura esposa, Thais, por me acompanhar e compartilhar meus momentos de alegria e aflições, sempre me incentivando e apoiando. Já não consigo me definir sem pensar em você, somos um.

Aos meus familiares, Djailson, Vó Maria, Tia Áurea, Tia Rosane, Tio Alexandre, Luís Fernando, Patrícia e José Roberto pela união e dedicação mútua, vocês são meu bom exemplo de família.

Aos meus sogros, Salete e José Córdova por me receberem como filho em sua casa.

Dedico,

À Deus, pela oportunidade de experimentar a vida e colocar em nosso caminho grandes pessoas, desafios e oportunidades.

Ao Professor José Leonardo, pela oportunidade, dedicação e seriedade. Seu exemplo nos serve de inspiração em nossa jornada florestal

Aos amigos José Henrique Bazani, José Henrique Rocha, Tiago Oliveira Godinho, Andrea Virginia Wenzel, Amanda Franci, Carolina Brandani, Ana Zucon, Caio C. Polizel, Fabio Toledo, Yesid Mariño, pela convivência, companheirismo e ensinamentos.

À ESALQ, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", por me receber e por tantos anos ter sido a minha escola, seus ensinamentos ultrapassam os acadêmicos, formando pessoas preparadas para a vida.

Ao PTSM, Programa temático de Silvicultura e Manejo, pela oportunidade e desenvolvimento profissional propiciados e ao Engenheiro Florestal José Carlos Arthur Júnior, pela preocupação com a excelência do programa e de suas pesquisas.

Ao Paulo Ricardo e Jarbas Borges (Duratex), ao Rodrigo Hakamada, Jair, Sebastião Oliveira, Reinaldo Matheus, Leandro, Benedito, Marcus, Nelsino, Batata (International Paper) e à Daiana Queiroz, Rogério Malheiros, Carla Brito e Núbia Martins (Ramires), pelo apoio logístico, seriedade e comprometimento com o trabalho.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

ABSTRACT 13
LISTA DE FIGURAS 15
LISTA DE TABELAS 23
1 INTRODUÇÃO 29
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 33
2.1 Plantações de eucalipto no mundo 33
2.2 Demanda nacional de fertilizantes 35
2.3 Demanda nutricional das plantações florestais 37
2.4 N no solo e respostas à fertilização nitrogenada 39
2.5 Fósforo no solo e respostas à fertilização fosfatada 42
2.6 Potássio no solo e respostas à fertilização potássica 47
3 MATERIAL E MÉTODOS 53
3.1 Localização e caracterização das áreas experimentais 53
3.2 Delineamento e tratamentos experimentais 56
3.3 Instalação dos experimentos 58
3.4 Avaliação da fertilidade do solo 59
3.5 Avaliação do estado nutricional das plantas 59
3.6 Medição do crescimento das árvores 60
3.7 Índice de uniformidade – PV50 (%) 61
3.8 Determinação da produtividade relativa 61
3.9 Índice de Eficiência Agronômica e Equivalente em adubo padrão 61
3.10 Estimativa do Índice de Área Foliar 62
3.11 Análise estatística 63
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 65
4.1 Respostas à aplicação de nitrogênio 65
4.1.1 Ribas do Rio Pardo 65
4.1.1.1 Fertilidade do solo 65
4.1.1.2 Estado nutricional 67
4.1.1.3 Índice de área foliar 68
4.1.1.4 Crescimento das árvores 69
4.1.2 Mogi-Guaçu 73

4.1.2.1 Fertilidade do solo 73
4.1.2.2 Estado nutricional 75
4.1.2.3 Índice de área foliar 77
4.1.2.4 Crescimento das árvores 78
4.1.3 Luís Antônio 83
4.1.3.1 Fertilidade do solo 83
4.1.3.2 Estado nutricional 85
4.1.3.3 Índice de área foliar 86
4.1.3.4 Crescimento das árvores 87
4.1.4 Paulistânia 91
4.1.4.1 Fertilidade do solo 91
4.1.4.2 Estado nutricional 93
4.1.4.3 Índice de área foliar 94
4.1.4.4 Crescimento das árvores 95
4.2 Respostas à aplicação de fósforo 98
4.2.1 Ribas do Rio Pardo 98
4.2.1.1 Fertilidade do solo 98
4.2.1.2 Estado nutricional 101
4.2.1.3 Índice de área foliar 102
4.2.1.4 Crescimento das árvores 103
4.2.2 Mogi-Guaçu 105
4.2.2.1 Fertilidade do solo 105
4.2.2.2 Estado nutricional 107
4.2.2.3 Índice de área foliar 109
4.2.3 Luís Antônio 112
4.2.3.1 Fertilidade do solo 112
4.2.3.2 Estado nutricional 114
4.2.3.3 Índice de área foliar 116
4.2.3.4 Crescimento das árvores 116
4.2.4 Paulistânia 118
4.2.4.1 Fertilidade do solo 118
4.2.4.2 Estado nutricional 121
4.2.4.3 Índice de área foliar 122
4.2.4.4 Crescimento das árvores 123
4.3 Respostas à aplicação de potássio 125

4.3.1 Ribas do Rio Pardo 125
4.3.1.1 Fertilidade do solo 125
4.3.1.2 Estado nutricional 127
4.3.1.3 Índice de área foliar 128
4.3.1.4 Crescimento das árvores 129
4.3.2 Mogi-Guaçu 131
4.3.2.1 Fertilidade do solo 131
4.3.2.2 Estado nutricional 133
4.3.2.3 Índice de área foliar 135
4.3.2.4 Crescimento das árvores 136
4.3.3 Luís Antônio 138
4.3.3.1 Fertilidade do solo 138
4.3.3.2 Estado nutricional 140
4.3.3.3 Índice de área foliar 141
4.3.3.4 Crescimento das árvores 142
4.3.4 Paulistânia 144
4.3.4.1 Fertilidade do solo 144
4.3.4.2 Estado nutricional 147
4.3.4.3 Índice de área foliar 148
4.3.4.4 Crescimento das árvores 148
4.4 Magnitude das limitações nutricionais 151
4.4.1 Ribas do Rio Pardo 151
4.4.2 Mogi-Guaçu 154
4.4.3 Luis Antônio 156
4.4.4 Paulistânia 158
4.5 Comparações entre os sítios 160
4.5.1 Nitrogênio 160
4.5.2 Fósforo 163
4.5.3 Potássio 166
5 CONCLUSÕES 171
REFERÊNCIAS 173

RESUMO

Nutrição e fertilização de plantações clonais de eucalipto sob diferentes condições edafoclimáticas

Plantações clonais de eucalipto no Brasil apresentam as maiores médias de produtividade de madeira entre os principais países produtores. Dentre os fatores responsáveis por este êxito, estão as corretas práticas de manejo, em que as fertilizações minerais constituem uma das principais. Apesar de apresentar boas condições climáticas e atributos físicos do solo favoráveis, as florestas plantadas no Brasil necessitam de fertilizações com macro e micronutrientes. Na maioria dos solos e plantações florestais, as respostas são maiores para P e K, mas acredita-se que, devido às sucessivas rotações de produção e às elevadas quantidades de N exportadas, respostas às fertilizações nitrogenadas serão comuns em futuras rotações de cultivo. O objetivo deste estudo foi identificar as doses de N, P e K e fontes de N adequadas e a resposta à aplicação de Ca em plantações clonais de eucalipto e suas interações com fatores edafoclimáticos. Não apenas os teores nutricionais no solo, mas também os materiais genéticos e as condições climáticas influenciaram as respostas às fertilizações minerais. Em solos com teores entre baixo e médio de matéria orgânica e textura arenosa, foram verificadas respostas em produção de madeira entre 4 e 47% aos 60 meses para a aplicação das maiores doses de N. A ureia apresentou resultados de produção volumétrica de madeira próximos à dose equivalente de nitrato de amônio. A fertilização fosfatada proporcionou ganhos de produtividade em solos com teores de P-resina até 5 mg dm^{-3}. Os ganhos em produtividade diminuíram com a idade dos povoamentos e, entre os 48 e 60 meses após o plantio, ficaram entre 14 e 19 %. Não houve influência climática ou do material genético associadas à fertilização fosfatada. Contrastando ao N e P, as respostas à fertilização potássica aumentaram com a idade em três dos quatro sítios estudados. Os ganhos de produtividade com a aplicação da maior dose de K ficaram entre 2 e 99% nas avaliações realizadas aos 48 e 60 meses após o plantio. Apesar dos teores do nutriente no solo serem considerados muito baixos para todos os locais, as respostas foram diferentes. Em Paulistânia, local com as maiores produtividades, as respostas à aplicação de K foram próximas a zero. O menor déficit hídico neste sítio foi identificado como fator mais influente. Para os três macronutrientes primários, os teores foliares diminuíram com a idade, e mesmo na ausência de respostas eles estiveram abaixo de teores foliares adequados. Não houve resposta à aplicação de Ca.

Palavras-chave: Curvas de resposta; Silvicultura; Nitrogênio; Fósforo, Potássio

ABSTRACT

Nutrition and fertilization of clonal eucalyptus plantations under different edaphoclimatic conditions

Clonal eucalyptus plantations in Brazil have the highest average productivity of wood amongst the main producing countries. Among those responsible for this success are the correct management practices, in which mineral fertilizations are a major. Despite showing good weather and favorable physical attributes of the soil, planted forests in Brazil require fertilization with macro and micronutrients. In most of the soils and forest plantations, responses are higher for phosphorus and potassium, but it is believed that due to successive rotations of production and high amounts of N exported, responses to nitrogen fertilization will be common in future rotations of cultivation. The aim of this study was to identify appropriate doses of N, P and K in clonal eucalyptus plantations and their interactions with edaphoclimatic factors. This study found that not only the nutritional content of the soil, but also the genetic materials and climatic conditions influence responses to mineral fertilization. In soils with low to medium organic matter levels and coarse texture responses between 4 and 47% were observed at 60 months, for the application of higher doses of N. Urea showed productivity responses close to the equivalent dose of ammonium nitrate. The P fertilization led to gains in productivity in soils with levels of P-resin up to 5 mg dm^{-3}. Productivity gains evaluated decreased with age of the stands, and between 48 and 60 months after planting, were between 14 and 19%. There was no climate or genetic material linked to phosphorus fertilization influence. In contrast to N and P, the responses to potassium fertilization increased within age in three of the four studied sites. Productivity gains from the implementation of higher dose of K were between 2 and 99% in the assessments at 48 and 60 months after planting. Although the levels in the soil are considered very low for all sites, the answers were different. In Paulistânia, location with the highest yields, responses to K were close to 0. The smaller water deficit in this site was identified as the most influential factor to the results. For the three primary macronutrients, it was found that these foliar concentrations decreased with age, and that even in the absence of answers they were below levels recommended foliar elsewhere. There was no response to the application of Ca

Keywords Response curves; Nitrogen; Silviculture; Phosphorus; Potassium

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do consumo nacional de fertilizantes e área plantada com *Eucalyptus spp.* no Brasil 36

Figura 2 – Distribuição geográfica das áreas experimentais 53

Figura 3 – Representação da localização de aplicação dos fertilizantes durante as etapas de instalação do experimento.....58

Figura 4 - Imagem coletada em campo (a); Resultado da análise (b).....63

Figura 5 – Determinação da dose recomenda pelo método gráfico 64

Figura 6 – Teor foliar de N em *E. grandis x urophylla* em resposta à fertilização nitrogenada e idade em RQ localizado em Ribas do Rio Pardo, MS. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste t. 68

Figura 7 – Índice de Área Foliar (IAF) de *E. grandis x urophylla*, em resposta à fertilização com N e idade em RQ, Ribas do Rio Pardo, MS. As barras representam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t a 5% de significância.....69

Figura 8 – Volume de madeira com casca do híbrido *E. grandis x E. urophylla* em função da idade e da dose de N aplicada em Neossolo Quartzarênico aos 24 meses (a), 36 meses (b), 48 meses (c) e 60 meses de idade (d), no município de Ribas do Rio Pardo. *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.....71

Figura 9 – Volume de madeira com casca do híbrido *E. grandis x E. urophylla* aos 24, 36, 48 e 60 meses de idade de acordo com a dose de N aplicada (kg ha^{-1}) em um RQ no município de Ribas do Rio Pardo, MS. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F.....71

Figura 10 – Volume de madeira com casca do híbrido *E. grandis x urophylla* aos 24, 36, 48 e 60 meses após o plantio obtidos com a aplicação de duas fontes de N, nitrato de amônio e ureia, na dose de 100 kg ha^{-1}, em RQ, Ribas do Rio Pardo, MS.....72

Figura 11 – Teor foliar de N em *E. urophylla x globulus* em resposta à fertilização nitrogenada e idade em LVA localizado em Mogi-Guaçu, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD 76

Figura 12 – Índice de Área Foliar (IAF) de *E. urophylla x globulus*, em resposta à fertilização com N e a idade das plantas, em LVA localizado em Mogi-Guaçu, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância 78

Figura 13 – Volume de madeira com casca em função da idade e da dose de N aplicada em LVAd aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c) e 48 meses (d), Mogi-Guaçu, SP. *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F 81

Figura 14 – Volume de madeira com casca aos 18, 24, 36 e 48 meses de idade de acordo com a dose de N aplicada (kg ha^{-1}) em um LVA, Mogi-Guaçu, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F..... 81

Figura 15 – Volume de madeira com casca aos 18, 24, 36 e 48 meses pós plantio obtidos com a aplicação de duas fontes de N, Nitrato de Amônio e Ureia, na dose de 100 kg ha^{-1}, em LVA, Mogi-Guaçu, SP 82

Figura 16 – Teor foliar de N em *E. urophylla x globulus* em resposta à fertilização nitrogenada e da idade em RQ localizado em Luís Antônio, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD..... 86

Figura 17 - Índice de Área Foliar (IAF) de *E. urophylla x globulus*, em resposta à fertilização com N e da idade em RQ, localizado em Luís Antônio, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância 87

Figura 18 - Volume de madeira com casca de *E. urophylla x globulus* em função da dose de N aplicada em RQ aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c) e 48 meses (d), no município de Luís Antônio, SP. *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F..... 89

Figura 19 - Volume de madeira com casca de *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36 e 48 meses de idade de acordo com a dose de N aplicada (kg ha^{-1}) em um RQ no município de Luís Antônio, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F 89

Figura 20 - Volume de madeira com casca de *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36 e 48 meses pós plantio obtidos com a aplicação de duas fontes de N, Nitrato de Amônio e Ureia, na dose de 100 kg ha^{-1}, em Luis Antônio, SP.....90

Figura 21 – Teor foliar de N foliar em *Eucalyptus grandis x urophylla* em resposta à fertilização nitrogenada e da idade em RQ localizado em Paulistânia, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD.....93

Figura 22 - Índice de Área Foliar (IAF) de *Eucalyptus grandis x urophylla*, em resposta à fertilização com N e da idade em Paulistânia, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância .94

Figura 23 – Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* em função da idade e da dose de N aplicada em Neossolo Quartzarênico, aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d) e 60 meses (e) no município de Paulistânia, SP. *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F96

Figura 24 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* aos 18, 24, 36, 48 e 60 meses de acordo com a dose de N aplicada (kg ha^{-1}) em um RQ no município de Paulistânia, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F 97

Figura 25 - Volume de madeira com casca em plantações de *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36, 48 e 60 meses pós plantio obtidos com a aplicação de duas fontes de N, Nitrato de Amônio e Ureia, na dose de 100 kg ha^{-1}, em Paulistânia, SP.....97

Figura 26 - Teor foliar de P em *E. grandis x urophylla* em resposta à fertilização fosfatada e idade em RQ localizado em Ribas do Rio Pardo, MS. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD 102

Figura 27 - Índice de Área Foliar (IAF) de *E. grandis x urophylla*, em resposta à fertilização com P_2O_5 e da idade em RQ localizado em Ribas do Rio Pardo, MS. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância.....103

Figura 28 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* em função da idade e da dose de P_2O_5 aplicada em Neossolo Quartzarênico, localizado em Ribas do Rio Pardo, aos 24 meses (a), 36 meses (b), 48 meses (c), 60 meses (d). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F 104

Figura 29 - Volume de madeira com casca para *E.grandis x urophylla* aos 24, 36, 48 e 60 meses de idade de acordo com a dose de P_2O_5 aplicada (kg ha^{-1}) em um RQ no município de Ribas do Rio Pardo, MS. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F 105

Figura 30 - Teor foliar de P em *E. urophylla x globulus* em resposta à fertilização fosfatada e da idade em LVA localizado em Mogi-Guaçu, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD..... 108

Figura 31- Índice de Área Foliar (IAF) de *E. urophylla x globulus*, em resposta à fertilização com P_2O_5 (kg ha^{-1}) e da idade em um LVA, no município de Mogi-Guaçu, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância. O valor entre parênteses representa a significância ao teste F..... 109

Figura 32 - Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* em função da idade e da dose de P_2O_5 aplicada em Latossolo Vermelho Amarelo aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F..... 111

Figura 33 – Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36 e 48 meses de acordo com a dose de P_2O_5 aplicada (kg ha^{-1}) em um LVA no município de Mogi-Guaçu, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F 112

Figura 34 – Teores foliares de P em *E. urophylla x globulus* em resposta à fertilização fosfatada e da idade em RQ localizado em Luis Antônio, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD..... 115

Figura 35 - Índice de Área Foliar (IAF) de *E. urophylla x globulus*, em resposta à fertilização fosfatada e da idade em RQ localizado em Luis Antônio, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância 116

Figura 36 – Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* em função da idade e da dose de P_2O_5 aplicada em Neossolo Quatzarênico no município de Luís

Antônio aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F 117

Figura 37 - Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36 e 48 meses de idade de acordo com a dose de P_2O_5 (kg ha^{-1}) aplicada em um RQ no município de Luís Antônio, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F.....118

Figura 38 – Teores foliares de P em *E. grandis x urophylla* em resposta à fertilização fosfatada e idade em RQ localizado em Paulistânia, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD 121

Figura 39 – Índice de Área Foliar (IAF) de *E. grandis x urophylla*, em resposta à fertilização com P_2O_5 e da idade em Paulistânia, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância 122

Figura 40 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* em função da idade e da dose de P_2O_5 aplicada em Neossolo Quartzarênico no município de Paulistânia aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d) e 60 meses (e). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.....124

Figura 41 - Volume de madeira com casca aos 18, 24, 36, 48 e 60 meses de acordo com a dose de P_2O_5 (kg ha^{-1}) aplicada em um RQ no município de Paulistânia, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F 125

Figura 42 - Teor foliar de K em *E. grandis x urophylla* em resposta à fertilização potássica e idade em RQ localizado em Ribas do Rio Pardo, MS. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD 128

Figura 43 - Índice de Área Foliar (IAF) de *E. grandis x urophylla*, em resposta à fertilização com K e da idade em Ribas do Rio Pardo, MS. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância 129

Figura 44 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* em função da idade e da dose de K_2O aplicada em Neossolo Quartzarênico no município de Ribas do

Rio Pardo, aos 24 meses (a), 36 meses (b), 48 meses (c) e 60 meses (d). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F..... 130

Figura 45 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* aos 24, 36, 48 e 60 meses de idade de acordo com a dose de K_2O (kg ha^{-1}) aplicada em um RQ no município de Ribas do Rio Pardo, MS. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F 131

Figura 46 - Teores foliares de K em *E. urophylla x globulus* em resposta à fertilização potássica e da idade em LVA localizado em Mogi-Guaçu, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD..... 134

Figura 47 - Índice de área foliar (IAF) de *E. urophylla x globulus*, em resposta à fertilização com K_2O e da idade em LVA localizado no município de Mogi-Guaçu, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância. O valor entre parênteses representa a significância ao teste F..... 135

Figura 48 - Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* em função da idade e da dose de K_2O aplicada em Latossolo Vermelho Amarelo no município de Mogi-Guaçu, aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F..... 137

Figura 49 - Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36 e 48 meses de acordo com a dose de K_2O aplicada (kg ha^{-1}) em um LVA no município de Mogi-Guaçu, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F 137

Figura 50 - Teor foliar de K em *E. urophylla x globulus* em resposta à fertilização potássica e idade em RQ localizado em Luis Antônio, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD..... 141

Figura 51 - Índice de Área Foliar (IAF) de *E. urophylla x globulus*, em resposta à fertilização com K e da idade em Luis Antônio, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância..... 142

Figura 52 - Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* em função da dose de K_2O aplicada em Neossolo Quatzarênico no município de Luís Antônio aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d) *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F 143

Figura 53 - Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36 e 48 meses de idade de acordo com a dose de K_2O aplicada (kg ha^{-1}) em um RQ no município de Luís Antônio, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F 144

Figura 54 - Teor foliar de K em *E. grandis x urophylla* em resposta à fertilização potássica e idade em RQ localizado em Paulistânia, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD 147

Figura 55 - Índice de Área Foliar (IAF) de *E. grandis x urophylla*, em resposta à fertilização com K_2O e idade em Paulistânia, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância 148

Figura 56 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* em função da idade e da dose de K_2O aplicada em Neossolo Quartzarênico no município de Paulistânia aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d) e 60 meses (e). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F 150

Figura 57 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* aos 18, 24, 36, 48 e 60 meses de acordo com a dose de K_2O aplicada (kg ha^{-1}) em um RQ no município de Paulistânia, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F 151

Figura 58 - Comparação entre os tratamentos com omissão de nutrientes e a fertilização completa para o crescimento de *E. grandis x urophylla* em Altura (a) e, DAP (b) em RQ localizado no município de Ribas do Rio Pardo, MS 153

Figura 59 - Uniformidade volumétrica pelo índice PV50 em função da idade para *E. grandis x urophylla* em RQ localizado em Ribas do Rio Pardo, MS 153

Figura 60 – Comparação entre os tratamentos com omissão de nutrientes e a fertilização completa para o crescimento de *E. urophylla x globulus* em Altura (a) e, DAP (b) em LVAd localizado em Mogi-Guaçu, SP..... 155

Figura 61 – Uniformidade volumétrica pelo índice PV50 em função da idade para *E. urophylla x globulus* em LVAd localizado em Mogi-Guaçu, SP 155

Figura 62 - Comparação entre os tratamentos com omissão de nutrientes e a fertilização completa para o crescimento de *E. urophylla x globulus* em Altura (a) e, DAP (b) em RQ localizado em Luís Antônio, SP 157

Figura 63 - Uniformidade volumétrica pelo índice PV50 em função da idade para *E. urophylla x globulus* em RQ localizado em Luís Antônio, SP..... 157

Figura 64 - Comparação entre os tratamentos com omissão de nutrientes e a fertilização completa para o crescimento de *E. grandis x urophylla* em Altura (a) e, DAP (b) em RQ localizado em Paulistânia, SP 159

Figura 65 - Uniformidade volumétrica pelo índice PV50 em função da idade para *E. grandis x urophylla* em RQ localizado em Paulistânia, SP 159

Figura 66 – Produtividade relativa do tratamento N150 em função da idade e do local de estudo entre os 18 e 60 meses 162

Figura 67 - Produtividade relativa do tratamento P90 em função da idade e do local de estudo entre os 18 e 60 meses 165

Figura 68 - Produtividade relativa do tratamento K150 em função da idade e do local de estudo entre os 18 e 60 meses 169

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área plantada, principais espécies, produtividade, clima e ciclo das florestadas de eucalipto nos principais países produtores 34

Tabela 2 – Respostas à fertilização nitrogenada em diferentes locais e idades para plantações clonais de eucalipto no Brasil 41

Tabela 3 – Ganhos com a fertilização fosfatada em plantações de eucalipto 46

Tabela 4 – Respostas à fertilização potássica em plantações de eucalipto com diferentes teores de K-trocável, dose e fonte aplicada e forma de aplicação 51

Tabela 5 – Localização das áreas experimentais 53

Tabela 6 – Caracterização das áreas experimentais com os teores médios de pH, P, Bases trocáveis (K, Ca e Mg) e atributos físicos do solo na camada de 0-20 cm de profundidade 54

Tabela 7 – Características edafoclimáticas dos sítios 54

Tabela 8 - Valores anuais do balanço hídrico do solo pelo método proposto por Thorntwaite e Mather (1955) para os locais de estudo, durante o período de condução do experimento, com os dados de, temperatura máxima, mínima e média, precipitação (PPT), evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), excedente hídrico (EXC), Soma do déficit hídrico anual (DEF) e número de meses com déficit hídrico, (s) desvio padrão da média 55

Tabela 9 – Descrição dos tratamentos, doses aplicadas, parcelamento e idade de aplicação .. 57

Tabela 10 – Locais, genótipos, profundidade de preparo do solo e espaçamento utilizados .. 59

Tabela 11 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de N em plantações de *E.grandis x urophylla*, em, Ribas do Rio Pardo, MS. O valor ao lado direito das médias representa o erro padrão. 66

Tabela 12 – Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn em híbrido de *E. grandis x urophylla* aos 12, 24 e 36 meses de idade, em resposta à fertilização nitrogenada em RQ, Ribas do Rio Pardo, MS 67

Tabela 13 – Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e Equivalente em Adubo Padrão (EqAP) para as fontes nitrogenadas, Nitrato de Amônio e Ureia aos 24, 36, 48 e 60 meses de idade em plantios de *E.grandis x urophylla*, em Ribas do Rio Pardo, MS 72

Tabela 14 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de N em plantações de *E.urophylla x globulus*, em Mogi-Guaçu, SP 74

Tabela 15 – Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn foliares em híbrido de *Eucalyptus urophylla x globulus* aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade, em resposta à fertilização nitrogenada em LVA localizado em Mogi-Guaçu, SP 76

Tabela 16 – Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e Equivalente em Adubo Padrão (EqAP) para a as fontes nitrogenadas, Nitrato de Amônio(NA) e Ureia aos 18, 24, 36 e 48 meses de idade em plantios de *E. urophylla x globulus,* em LVA, localizados em Mogi-Guaçu, SP 82

Tabela 17 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de N em plantações de *E.urophylla x globulus*, em RQ, Luís Antônio, SP..... 84

Tabela 18 - Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn em híbrido de *Eucalyptus urophylla x globulus* aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade em resposta à fertilização nitrogenada em RQ em Luis Antônio, SP 85

Tabela 19 - Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e Equivalente em adubo padrão (EqAP) para as fontes nitrogenadas, Nitrato de Amônio e Ureia aos 18, 24, 36 e 48 meses de idade em plantios de *E. urophylla x globulus*, em RQ localizado em Luís Antônio, SP 90

Tabela 20 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 48 e 60 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de N em plantações de *E.grandis x urophylla*, em RQ, Paulistânia, SP 92

Tabela 21 - Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e Equivalente em adubo padrão (EqAP) para as fontes nitrogenadas, Nitrato de Amônio e Ureia aos 18, 24, 36, 48 e 60 meses de idade em plantios de *E.grandis x urophylla*, em Paulistânia, SP.....98

Tabela 22 - Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de P_2O_5 em plantações de *E.grandis x urophylla*, em RQ localizado em Ribas do Rio Pardo,MS 100

Tabela 23 - Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn foliares em híbrido de *E. grandis x urophylla* aos 12, 24 e 36 meses de idade, em resposta à fertilização fosfatada em RQ em Ribas do Rio Pardo, MS 101

Tabela 24 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de P_2O_5 em plantações de *E.urophylla x globulus*, em LVAd, Mogi-Guaçu, SP.....106

Tabela 25 - Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn em híbrido de *E. urophylla x globulus* aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade em resposta à fertilização fosfatada em LVAd no município de Mogi-Guaçu, SP.....108

Tabela 26 – Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* localizado em um LVAd no município de Mogi-Guaçu, em diferentes idades para a dose máxima pela equação de regressão com a produção de madeira em m^3 ha^{-1}.....111

Tabela 27 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de P_2O_5 em plantações de *E.urophylla x globulus*, em RQ, Luís Antônio, SP 113

Tabela 28 - Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn foliares em híbrido de *E. urophylla x globulus* aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade em resposta à fertilização fosfatada em RQ em Luis Antônio, SP 115

Tabela 29 - Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm aos 48 e 60 meses após

instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de P_2O_5 em plantações de *E.urophylla x globulus*, em RQ, Paulistânia, SP 120

Tabela 30 - Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de K_2O em plantações de *E.grandis x urophylla*, em RQ, Ribas do Rio Pardo, MS 126

Tabela 31 - Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn em híbrido de *E. grandis x urophylla* aos 12, 24 e 36 meses de idade, em resposta à fertilização potássica em RQ em Ribas do Rio Pardo, MS 127

Tabela 32 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de K_2O em plantações de *E. grandis x urophylla*, em LVAd, Mogi-Guaçu, SP..... 132

Tabela 33 - Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn em híbrido de *E. urophylla x globulus* aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade em resposta à fertilização potássica em LVA, no município de Mogi-Guaçu, SP 134

Tabela 34 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de K_2O em plantações de *E. urophylla x globulus*, em RQ, Luís Antônio, SP..... 139

Tabela 35 - Análise de variância dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn foliares em híbrido de *E. urophylla x globulus* aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade em resposta à fertilização potássica em RQ em Luis Antônio, SP 140

Tabela 36 - Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 48 e 60 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de K_2O em plantações de *E.grandis x urophylla*, em RQ, Paulistânia, SP 146

Tabela 37 – Dados climáticos, atributos do solo, dose recomendada de N e ganhos em volume de madeira produzida, em m^3 ha^{-1}, em plantações de *E. grandis x urophylla* em Ribas do Rio Pardo e Paulistânia e, plantações de *E. urophylla x globulus,* em Mogi-Guaçu e Luís Antônio 161

Tabela 38 - Dados climáticos, atributos do solo, dose recomendada de P_2O_5 e ganhos em volume de madeira produzida, em m^3 ha^{-1}, em plantações de *E. grandis x urophylla* em Ribas do Rio Pardo e Paulistânia e, plantações de *E. urophylla x globulus,* em Mogi-Guaçu e Luís Antônio.....164

Tabela 39 - Dados climáticos, atributos do solo, dose recomendada de K_2O e ganhos em volume de madeira produzida, em m^3 ha^{-1}, em plantações de *E. grandis x urophylla* em Ribas do Rio Pardo e Paulistânia e, plantações de *E. urophylla x globulus,* em Mogi-Guaçu e Luís Antônio.....168

1 INTRODUÇÃO

Florestas plantadas representam importante papel para o atual e futuro cenário econômico mundial, dada sua capacidade de atenderem a crescente demanda por produtos de base florestal e aliviar a pressão sobre as florestas naturais (IAN, 2001). De acordo com estimativas, o suprimento de madeira oriundo de florestas plantadas deve aumentar de 50 para 75% globalmente até 2050, juntamente com o consumo de madeira per capita, devido ao aumento do poder econômico dos BRICs, de grande representatividade demográfica. Enquanto isso, as áreas férteis diminuem com a expansão das cidades e com a degradação dos solos (RINGROSE; NEILSEN, 2005; BRADY; WEIL, 2008).

O setor florestal brasileiro representa hoje importante segmento na contribuição para o PIB nacional correspondendo a 4% deste total (ABRAF, 2011). O Brasil dispõe atualmente de 6,5 milhões de ha de florestas plantadas, o que corresponde a 0,7% do território nacional. No período de 2004-2012 as plantações de eucalipto saltaram de 3,2 para 5,0 milhões de ha, correspondendo a um incremento de 60% na área total destinada à cultura (ABRAF, 2013). As maiores plantações de eucalipto no Brasil estão localizadas nas regiões sudeste e sul do país, contudo, grandes plantios também podem ser observados nos estados da Bahia, Mato Grosso do Sul e Amapá (GONÇALVES *et al.*, 2008; ABRAF, 2011).

O eucalipto, principal espécie florestal plantada atualmente no Brasil, apresentou importantes ganhos em produtividade ao longo dos anos. Sua introdução, para fins comerciais, foi estimulada pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro, no início do século XX, quando a cultura atingia produtividades de 10 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Hoje, como resultado das práticas de manejo e fertilização e uso de novos materiais genéticos, verifica-se uma produtividade média nacional de 42 m^3 ha^{-1} ano^{-1}(GONÇALVES *et al.*, 2008), alcançando níveis de 60 a 70 m^3 ha^{-1} ano^{-1} em sítios de alta produtividade (STAPE *et al.*, 2001; SANTANA *et al.,* 2002; ABRAF, 2013).

Em ecossistemas naturais, sob condições de baixa fertilidade, a composição da floresta se altera, com menores taxas de crescimento ou mesmo por alterações das espécies predominantes para outras mais eficientes e adaptadas (GONÇALVES *et al.*, 2004). O eucalipto pode diminuir seu ritmo de crescimento para se adaptar às condições regionais de baixa fertilidade do solo (GROVE *et al.,*1996) e, por esse fato, a utilização de fertilizantes e de outros insumos que busquem corrigir as deficiências nutricionais são práticas obrigatórias em plantios florestais de alta produtividade (NOVAIS *et al.*, 1990).

O balanço entre entrada e saída de nutrientes é essencial para a determinação da necessidade de fertilização (MELO *et al.*, 1995), sendo que os plantios florestais de maiores produtividades estão localizados em países tropicais com solos de baixa fertilidade (STAPE; ZANI FILHO, 1990; GAVA *et al.*, 1997; MARTINS *et al.*, 2004;), causando preocupação quanto à exportação de nutrientes e deterioração da fertilidade dos solos (LACLAU, *et al.*, 2010).

Dado o alto custo dos fertilizantes minerais, a adaptação das espécies plantadas a solos de baixa fertilidade e à resposta a aplicação de fertilizantes, as doses economicamente viáveis de fertilizantes são inferiores quando comparadas a culturas agrícolas (GAVA *et al.*, 1997; SMETHURST, 2010). Devido à ampla quantidade de tipos de solos e condições edafoclimáticas encontradas no Brasil a dose de fertilizantes pode variar bastante, com doses de N entre 25 e 120 kg ha $^{-1}$, de P, entre 30 e 70 kg ha $^{-1}$ e, de K, entre 100 e 150 kg ha^{-1} (BARROS; NOVAIS, 1996; GAVA *et al.*, 1997; GONÇALVES *et al.*, 2008; DE JESUS *et al.*, 2012). Para se evitar perdas, deve-se considerar durante o planejamento de uma floresta, o fertilizante, a quantidade e a época de aplicação para que a relação custo-benefício seja a menor possível. A adição de fertilizantes pode acidificar o solo e reduzir a disponibilidade de outros nutrientes (BRADY; WEIL, 2008). As práticas de fertilização devem sempre estar respaldadas na demanda nutricional da espécie e na fertilidade do solo, almejando corrigir as deficiências nutricionais dos solos e, por isso, devem ser pensadas e planejadas em nível regional, de acordo com o tipo de solo e material genético utilizado (GONÇALVES, 1995; SANTANA *et al.*., 2008).

Levantamentos realizados com as principais jazidas de extração de matéria prima para fertilizantes do mundo verificaram iminente esgotamento das fontes minerais dos principais nutrientes utilizados na agricultura e silvicultura (FAO, 2012), como o P e K, o que viria a prejudicar a produção de florestas e a agricultura em escala global com a escassez e aumento no preço de insumos (STEWART, HAMMOND; VAN KAUWENBERGH, 2005; SMETHURST, 2010; FIXEN; JOHNSTON, 2012). A subdosagem ou ausência de fertilização pode obrigar os plantios florestais a se adaptar, disponibilizando mais energia para desenvolvimento do sistema radicular em detrimento da parte aérea (MISRA *et al.*., 1998), resultando em perdas de produtividade e aumento da área de plantio demandada.

A correta utilização de fertilizantes, de acordo com as exigências nutricionais de uma espécie, pode ser atingida após realização de experimentos de calibração com doses crescentes de nutrientes, sob diferentes condições edafoclimáticas (SMETHURST, 2010).

Sabendo-se que a correta fertilização de povoamentos clonais de eucalipto é resultado da demanda nutricional, ritmo de crescimento, fertilidade do solo e das variáveis climáticas, propôs-se as seguintes hipóteses:

I- As repostas à fertilização com N, P e K dependem, da fertilidade do solo, e do material genético utilizado, com alta interação do material genético com as condições edafoclimáticas.

II- As aplicações dos nutrientes N, P e K na forma de fertilizantes apresentam diferentes respostas em plantações de eucalipto durante seu ciclo.

III- A ureia é similar ao nitrato de amônio como fonte de N na produção de madeira em plantações de eucalipto.

IV- Os teores foliares de N, P e K e o índice de área foliar constituem-se como variáveis indicativas da qualidade e produtividade dos sítios.

Assim, o objetivo com este estudo foi avaliar, i) a resposta à fertilização nitrogenada, fosfatada e potássica em plantações florestais; ii) a influência dos atributos físicos e químicos do solo na resposta às fertilizações; iii) a influência das fertilizações ao longo das diferentes fases nutricionais dos povoamentos florestais; iv) a influência das condições edafoclimáticas sobre a demanda e absorção de nutrientes pelas plantas;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Plantações de eucalipto no mundo

Os principais países produtores de eucalipto no mundo são: Brasil, China, Índia, África do Sul, Portugal, Uruguai, Chile, Tailândia, Vietnã, Indonésia e Argentina (Tabela 1). Destes, o Brasil detém a maior área plantada, com 5,0 milhões de ha, e as maiores produtividades, com média nacional de 40 m^3 ha^{-1} ano^{-1} (ABRAF, 2011; GONÇALVES *et al.*, 2013). China e Índia, que detêm área plantada de 3,3 e 3,9 milhões de ha de eucalipto e tipos climáticos semelhantes, apresentam baixas produtividades, com incrementos médios anuais (IMA) de 15 a 30 e 6 a 25 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, respectivamente (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007; BENNETT, 2010; PILLAI *et al.*, 2013; HARWOOD; NAMBIAR, 2014).

A utilização de técnicas de cultivo mínimo (GONÇALVES *et al.,* 2002), a compreensão dos processos fisiológicos que regem o crescimento das florestas, os avanços no melhoramento genético clonal e hibridação (GONÇALVES *et al.*, 2008), o controle de plantas invasoras (GONÇALVES *et al.*, 2002) e o melhor entendimento da demanda e época de aplicação de fertilizantes alavancaram a produtividade das florestas plantadas brasileiras nas últimas décadas (NAMBIAR, 1984; FERNANDEZ *et al.*, 2000; LACLAU *et al.*, 2005; SILVA; RANGEL; BELIZÁRIO, 2007; NAMBIAR, 2008). O uso de clones de eucalipto nas últimas duas décadas demonstrou não apresentar perdas relativamente a plantios seminais e viabilizou grandes aumentos de produtividade e uniformidade nas florestas plantadas de eucalipto no Brasil (GRIFFIN, 2014). O melhoramento genético permitiu o desenvolvimento de materiais mais resistentes ao ataque de pragas e possibilitou a introdução de plantios de eucalipto em regiões que, de outra maneira, se tornariam inviáveis economicamente (GONÇALVES *et al.*, 2008).

A utilização de espécies florestais de crescimento rápido é essencial para evitar a escassez de madeira e o esgotamento das florestais naturais, considerando sua alta produtividade quando comparadas às florestas nativas. Pois são capazes de suprir a necessidade por madeira em áreas muito menores que as espécies locais, sendo consideradas como as principais fontes de madeira hoje e no futuro (IAN, 2001; LACLAU *et al.*, 2010).

Tabela 1 – Área plantada, principais espécies, produtividade, clima e ciclo das florestadas de eucalipto nos principais países produtores

País	Área Plantada		Espécies	Produtividade	Clima[1]	Rotação de cultivo	Fonte
	10^3 ha	%		m^3 ha^{-1} ano^{-1}		anos	
Brasil	5000	0,6	*E.grandis; E.urophylla; E.urophylla x E. grandis; E. camaldulensis; E.urophylla x camaldulensis; E.urophylla. E.globulus; E.urophylla x E.tereticornis; E.dunnii*	25-60	Af;Aw;Cwa;Cfa;Cwb	5-7	Gonçalves *et al.*(2013)
Índia	3900	1,2	*E.grandis; E.tereticornis; E.camaldulensis*	6-25	Aw;Dfb;Cwb;Cwa	7-10	Tewari, Verma e Kumar, (2002); Sankaran *et al.* (2004); Bennett (2010); Pillai *et al.* (2013)
China	3350	0,3	*E.urophylla x grandis; E.urophylla x tereticornis; E.dunnii; E.grandis; E.grandis x E.camaldulensis; E.grandis x E.tereticornis*	15-30	Cwa;Cfa;Cwb;Cwc	5-8	Peel, Finlayson e Mcmahon, (2007); Harwood e Nambiar (2014)
Portugal	812	8,8	*E.globulus*	< 30	Csa;Csb	10-12	Aguas *et al.*, (2014)
Uruguai	630	1,2	*E.globulus; E.nitens; E.grandis; E.dunnii; E.maidenii*	22-40	Cfa		Petraglia, Dell'Acqua (2006); Balmelli *et al.* (2014)
Chile	630	0,8	*E.globulus, E.nitens, E.camaldulensis; E.delegatensis; E.viminalis*	18-36	Bwk;Csa;Csb;Cfb	10-12	Lanfranco e Dungey (2001); Guerra-Bugueno, Celis-Mosqueira e Moreno-Garcia (2014)
África do Sul	515	1,1	*E.grandis; E.saligna; E.maculata; E.globulus; E.paniculata*	10-60	Cfb; Cfa;Cwa;Cwb;Csa;Csb	5-8	Bennett, (2010); Dye, (2013)
Tailândia	500	1,0	*E.camaldulensis*	7-34	Am;Aw	5-8	Peel, Finlayson e Mcmahon, (2007); Harwood e Nambiar, (2014)
Vietnã	500	1,5	*E.camaldulensis; E. tereticornis; E.urophylla; E.microcorys; E.saligna*	7-30	Am;Aw; Cwa	5-7	Kha,Thinh, Cuong (2003); Mach, Hung, (2005); Sein, Mitlohner (2011)
Indonésia	300	0,2	*E.urophylla; E. pellita*	10-30	Af;Aw;Am	5-8	Peel, Finlayson e Mcmahon (2007); Harwood e Nambiar (2014)
Argentina	230	0,1	*E. grandis; E.globulus; E.nitens*	20-35	Cfa;Cfb;Cwa	10-12	Goya et al. (2008); Cubbage *et al.*, (2010)

[1] Classificação climática de Köppen (1936)

Os maiores países produtores de eucalipto encontram-se em regiões de climas tropicais e subtropicais, com boa oferta de água e luminosidade durante o ano (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007; ALVARES *et al.*, 2013). Embora as características físicas do solo sejam permissivas, os atributos químicos do solo, quando não corrigidos, podem representar sérias limitações ao cultivo do eucalipto (GONÇALVES *et al.*, 2008). Em florestas plantadas de eucalipto na Austrália, respostas à aplicação de N são comuns (SMETHURST, 2004; FORRESTER *et al.*, 2012). Na China, devido ao extenso uso da terra e às condições climáticas, os solos apresentam baixa disponibilidade de P e experimentos para a calibração de doses para este nutriente são necessários (XU *et al.*, 2004; XU *et al.*, 2005). Respostas à aplicação de doses de N e P também foram verificadas em plantações clonais de *E.globulus* no Chile (GUERRA; HERRERA; DRAKE, 2007).

No Brasil, fertilizações em plantações florestais são práticas comuns e são responsáveis pelos elevados níveis de produtividade nacional em solos de baixa fertilidade natural (GONÇALVES, 2004). Registros de ensaios com fertilização de florestas plantadas de eucalipto são encontrados desde a década de 1970 (MELLO, *et al.,* 1970; ROCHA-FILHO, HAAG, OLIVEIRA, 1978; SILVA, POGGIANI, COELHO, 1983; VALERI *et al*., 1983; VALERI; AGUIAR; CORRADINI, 1985; ISMAEL *et al.*, 1998; SILVA; RANGEL; BELIZARIO, 2007). A introdução de novas espécies e procedências e adoção de clones demanda a calibração de novas doses de N, P e K para as plantações de eucalipto. A interação destes fatores com diferentes tipos de solo e demandas por nutrientes torna a prática de recomendação de fertilização muito específica (BENNETT; WESTON; ATTIWILL, 1997; LACLAU *et al.*, 2001; BOUILLET *et al.*, 2002; ANDRADE *et al.*, 2003; LACLAU*, et al.*, 2003; DE AGUIAR FERREIRA; STAPE, 2009; ALMEIDA, *et al.*, 2010; DA SILVA, *et al.*, 2012; DA SILVA, 2012; DE JESUS *et al.*, 2012).

2.2 Demanda nacional de fertilizantes

A população mundial em 2013 correspondia a sete bilhões de pessoas, em 2050, de acordo com estimativas, passará a ser de nove bilhões. Para que isto seja possível, aumentos de produtividade, área cultivada e consumo de fertilizantes serão necessários (LOPES; GUILHERME, 2007). Neste contexto, o Brasil demanda apenas 6% do total de fertilizantes produzidos e o setor de florestas plantadas é responsável por 0,18% deste consumo (ANDA, 2006). Para manutenção da agricultura e silvicultura nacionais, 78% do N, 49% do P e cerca de 90% do K utilizados na formulação de fertilizantes são importados, anualmente (ANDA,

2013). Em 2011, apenas 35% da demanda nacional foi suprida pela indústria nacional (ANDA, 2012). Historicamente, a importação de N passou de 4% na década de 80, para 78% em 2011. O P cuja demanda era plenamente atendida, passou a 49%.

Entre os anos de 2004 e 2012, a área com floresta plantada no Brasil cresceu 50% (Figura 1) (ABRAF, 2013). Até o ano de 2022, espera-se que a produção de celulose brasileira aumente por volta de 30% (BRASIL, 2012). Frente a este cenário, espera-se que o custo dos insumos continue a aumentar durante os próximos anos, consequentemente, aumentando o custo de produção de florestas. O setor florestal brasileiro foi, por muitos anos, detentor do status de país com menor custo de produção de madeira, contudo, em 2012, o país já aparecia em quarto lugar, atrás de Rússia, EUA e China, devido ao encarecimento dos custos de produção nacionais (ABRAF, 2013).

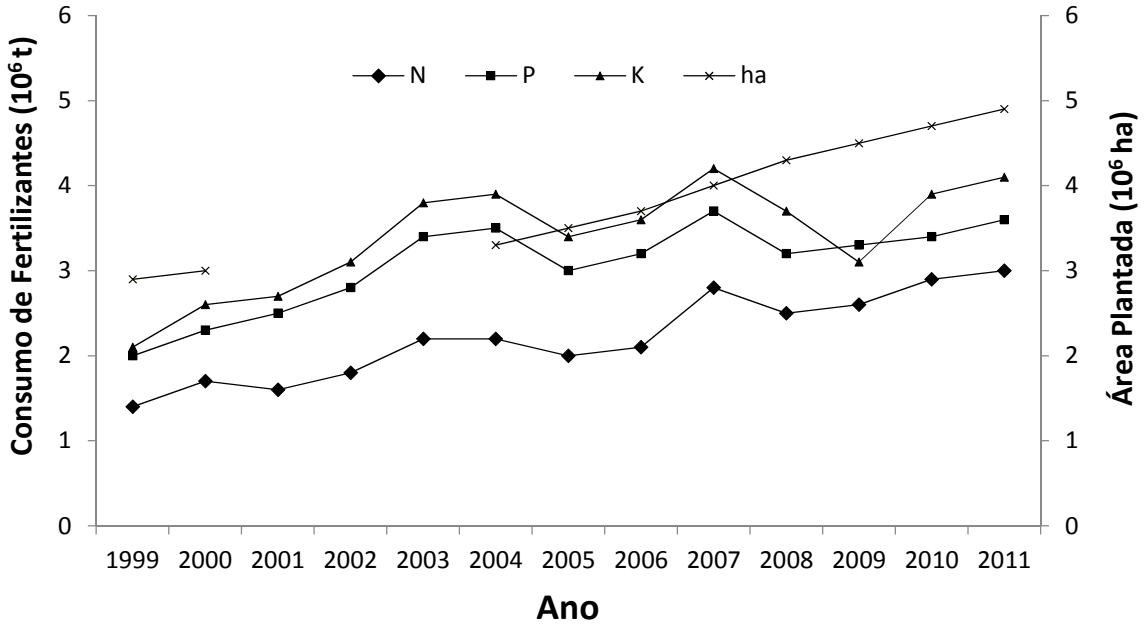

Figura 1 - Evolução do consumo nacional de fertilizantes e área plantada com *Eucalyptus spp.* no Brasil

Hoje, as jazidas de concentrados fosfáticos estão se exaurindo e com isso a exploração de locais com menores reservas de P torna-se cada vez mais cara (LOPES *et al.*, 2004). A produção de fertilizantes fosfatados é quase que exclusivamente realizada a partir de rochas fosfáticas, compostas por apatitas e fosforitas (BINKLEY, 1986; STEVENSON; COLE, 1999; LOPES *et al.,* 2004; FIXEN; JOHNSTON, 2012).

2.3 Demanda nutricional das plantações florestais

Grande parte das áreas de reflorestamento brasileiras está localizada em regiões de cerrado em solos intemperizados, tais como Latossolos, Argissolos e Neossolos (EMBRAPA, 2013). De acordo com Gonçalves *et al.* (2013), a eucaliptocultura brasileira é praticada principalmente em Latossolos (48%), Argissolos (25%), Cambissolos (14%) e Neossolos Quartzarênicos (4%), solos altamente intemperizados e com baixa fertilidade. As limitações químicas desses solos aliadas a fertilizações incorretas contribuem para que ocorram deficiências nutricionais nos reflorestamentos brasileiros (VETTORAZZO, 1989).

Em solos com baixas reservas de nutrientes, a manutenção da produtividade dos sítios florestais requer a reposição dos nutrientes exportados pela colheita e perdidos por outros processos. A não-adoção dessa técnica é uma das causas da redução da produtividade de plantações de eucalipto em áreas com solos de baixa fertilidade natural (CAMARGO *et al.,* 2004). Em plantios florestais de eucalipto de ciclo curto, como os destinados à celulose e energia, a retirada de nutrientes resultante da colheita excede as entradas no sistema, alterando a ciclagem de nutrientes e causando, sem a adição de fertilizantes, o empobrecimento do solo e sua consequente exaustão (KNIGHT; NICHOLAS, 1996; GONÇALVES *et al.,* 2004). A resposta à fertilização em plantios de eucalipto é geralmente alta, contudo varia de acordo com as condições do sítio florestal (CROMER *et al.*, 1981; RINGROSE; NEILSEN, 2005). Por isso, estudos que permitam a recomendação nutricional correta, de acordo com a demanda local, devem ser realizados (DE AGUIAR FERREIRA; STAPE, 2009).

A absorção dos macronutrientes primários, N, P e K aplicados em forma de fertilizantes pode variar, mas corresponde em média a 60%, 30% e 70% do total aplicado, respectivamente (LOPES; GUILHERME, 2007). Diferenças na eficiência nutricional entre espécies (GONÇALVES *et al*., 1997), procedências e híbridos de eucalipto (PAULA *et al.,* 1997) foram verificadas em diferentes sítios florestais e podem representar importantes alterações na demanda nutricional e na economia de florestas plantadas, influenciando a dose recomendada e as respostas esperadas (BARROS; NEVES; NOVAIS, 2000). Estas diferenças podem estar na eficiência de aquisição e, ou, na utilização do nutriente para produção de matéria seca. Interações genótipo x ambiente também podem resultar em diferentes respostas à fertilização em plantios florestais (ZOBEL; TALBERT, 1984), assim como a oferta de água, luminosidade, duração e período de seca e densidade do solo (BARROS; NEVES; NOVAIS, 2000).

Em plantações de eucalipto na Nova Zelândia, diferentes respostas à fertilização com nitrogênio, fósforo e potássio foram encontradas. Lembke (1977), ao realizar testes com N, P e K durante o plantio não obteve resultados significativos ao final do primeiro ano, enquanto Bunn (1961) encontrara respostas positivas à fertilização com N e P. A fertilização com N apresentou resultados significantes na Austrália e Nova Zelândia utilizando ureia como fonte de N (CROMER, 1971; NICHOLAS *et al.,* 1991).

Em condições de baixa disponibilidade de N no solo, plantas de *E. globulus* apresentaram uma maior relação Raiz/Parte aérea, enquanto que, sob condições de alta disponibilidade de N a relação foi invertida. Eles verificaram também que a aplicação de P aumentou a absorção de N (FORRESTER *et al.* 2006).

A demanda nutricional do eucalipto, como a de qualquer espécie varia de acordo com sua produtividade, sendo que, no Brasil, em média, as doses de N aplicadas variam entre 20 e 60 kg ha^{-1} (GONÇALVES, 2011). Mello (1968) avaliando a resposta à fertilização com sulfato de amônio em *E. saligna* verificou significativo crescimento em altura aos 18 meses de idade, com diferenças de 33 m^3 ha^{-1} ano^{-1} entre as parcelas que receberam doses de N e as não adubadas. Valeri *et al.* (1983) verificaram a baixa resposta a fertilização nitrogenada realizada na fase de plantio em solos arenosos para o crescimento de *E. grandis*. Barros *et al.* (1981) constataram resposta à fertilização com N durante cinco anos do ciclo de *E. saligna,* em solo argiloso. De acordo com Barros e Novais (1996), tal diferença pode ser atribuída à maior lixiviação de N em solos arenosos.

Barros *et al.* (1985) compararam a eficiência de utilização de nutrientes (EUN) de quatro clones de *E. grandis* no nordeste do Espírito Santo. Os autores avaliaram a eficiência de P, K, Mg e Ca entre os quatro clones e, em um mesmo clone para árvore total e tronco. Os resultados obtidos mostraram diferentes EUN entre os clones e entre árvore total e tronco. Pôde-se constatar que a melhor eficiência de utilização de um nutriente não necessariamente resultou em desempenho semelhante para os demais nutrientes. O estudo permitiu confirmar a importância da seleção do material genético mais adequado para cada situação de sítio.

Silveira *et al.* (1998), citados por Gonçalves *et al.* (2000), constataram, para plantações de *E. saligna* em Capão Bonito-SP, relação linear entre o teor foliar de K e a produtividade da floresta. Quantidades superiores a 6,4 g kg^{-1} de K no tecido foliar resultaram em florestas de incremento anual superior a 80 m^3 ha^{-1} ano^{-1}.

Almeida *et al.* (2010) aferindo a resposta à fertilização potássica em plantações de *E. grandis,* localizadas em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, verificaram respostas expressivas obtidas em índice de área foliar e relação direta com os teores foliares de K aos três anos de idade. Os ganhos em volume de madeira com a aplicação de doses de 140 kg ha^{-1} de K foram superiores a 100% aos três anos de idade. As avaliações também provaram o aumento na tolerância das plantações ao ataque da ferrugem do eucalipto (*Puccinia psidii* Winter.).

2.4 N no solo e respostas à fertilização nitrogenada

O início das práticas de plantio direto em 1990 no Brasil desenvolveu importante papel na estabilização e aumento dos teores de N, C e matéria orgânica do solo (MOS) presentes no solo (SÁ *et al.*, 2001; SISTI *et al.,* 2004). A manutenção dos resíduos ao final da colheita, antes visto como empecilho à realização das práticas florestais foi, a partir da década de 90, adotada nas plantações de eucalipto no Brasil (GONÇALVES, 2000). A manutenção destes resíduos, dentre outros benefícios, ajuda a suprir o solo com os nutrientes necessitados pelas plantações. Em estudo realizado por Rocha (2014), constatou-se que a queima dos resíduos da rotação anterior aumentou temporariamente o arranque da rotação seguinte, sendo suplantada com o tempo pelo tratamento com a manutenção dos resíduos. O autor verificou também o empobrecimento do solo ao longo do ciclo para o tratamento com a queima dos resíduos.

A adoção de práticas conservacionistas tende a aumentar a fertilidade do solo e, consequentemente, diminuir a resposta à fertilização mineral (GONÇALVES *et al.*, 2007). Plantações clonais de eucalipto submetidas ao cultivo mínimo, em região de Cerrado, apresentaram incrementos em seus teores de C e N no solo, quando comparadas aos encontrados sob vegetação de Cerrado e pastagens próximas (PULROLNIK *et al.*, 2009). Os resultados indicaram teores de C e N nos solos utilizados para o cultivo de eucalipto entre duas a três vezes superiores aos teores constatados nos solos sob vegetação de Cerrado e pastagens.

A disponibilidade de N no solo depende da relação C/N. Valores superiores à faixa de 25 a 30 (SILGRAM; SHEPHERD, 1999) tendem a resultar na imobilização do N disponível por parte da ação dos microrganismos, podendo causar deficiência de N às plantas. Valores inferiores a 20 proporcionam mineralização líquida do N e a disponibilização às raízes das plantas (CANTARELLA, 2007). Em solos brasileiros, a taxa de mineralização líquida anual é de aproximadamente 5% do N orgânico total no solo (CAMARGO *et al*, 1999). Os teores de

N no solo podem variar ao longo do tempo e estão diretamente relacionados com precipitações pluviométricas, temperatura, tipo de solo, pH e idade da floresta (STEVENSON; COLE, 1999; MASCLAUX-DAUBRESSE *et al.*, 2010).

Plantações florestais geram, ao final de uma rotação, grandes quantidades de resíduos vegetais, como galhos, casca, folhas e ponteiros. Nestes compartimentos estão presentes 65% do N, 70% do P e 64% do K assimilados pelas árvores (SANTANA *et al.*, 2008). Com exceção das folhas, estes resíduos apresentam elevado grau de lignificação e, consequentemente, elevada relação C/N. Para diminuir a imobilização do N no solo durante a mineralização do material vegetal, este é deixado sobre o solo após o corte raso das plantações e é decomposto lentamente, disponibilizando seus nutrientes durante o ciclo da próxima rotação. Além de diminuir a imobilização de N e aumentar a fertilidade do solo, a manutenção dos resíduos vegetais auxilia na manutenção da temperatura e umidade e garante aos microrganismos melhores condições para decomposição do material vegetal (GONÇALVES, 2000).

As formas de N facilmente assimiláveis no solo são escassas quando comparadas aos teores de N total presentes na água, solo e atmosfera, sendo encontradas nas camadas mais superficiais do solo, principalmente, em formas inorgânicas, como NH_4^+ e NO_3^- (STEVENSON; COLE, 1999, LOPES; BASTOS, 2007). A meia-vida de algumas formas de N-orgânico pode ser de poucos dias enquanto outras, protegidas por material coloidal, podem se estender por mais de séculos (CANTARELLA, 2007). A baixa reatividade de N restringe sua participação na formação do N presente nos solos. A maior parte do N presente no solo é proveniente do N atmosférico (STEVENSON; COLE, 1999; CANTARELLA, 2007).

Processos de perda de N por lixiviação não são comuns em plantações de eucalipto. Maqueré *et al.* (2005) verificaram que a mineralização de resíduos da colheita e as fertilizações da rotação seguinte não influenciaram nos teores no solo de NH_4^+, NO_3^- e SO_4^{2+}. As avaliações foram realizadas antes da reforma da área e 12 meses após o plantio de *E.grandis* sobre um Latossolo Vermelho Amarelo de textura média até os 3 m de profundidade.

A aplicação em doses adequadas e na época ideal de fertilizantes nitrogenados é essencial para máxima absorção de N. A aplicação em doses altas pode resultar na imobilização de parte do N pelos microrganismos do solo, resultando em perdas de até 70% do fertilizante aplicado (RAUN; JOHNSON, 1999). Para as plantações de eucalipto, devido ao parcelamento das doses e a aplicação próxima ao sistema radicular, estas perdas são

mínimas. Geralmente, fertilizações com N apresentam baixas respostas para plantações de eucalipto, devido à ciclagem nutricional e aos teores suficientes de N-orgânico no solo (GONÇALVES *et al.*, 2008; LACLAU *et al.*, 2010)

Em plantações de eucalipto no Brasil, respostas à fertilização nitrogenada são pouco comuns e tendem a desaparecer após os 24 meses (PULITO *et al.*, no prelo; ROCHA, 2014). Em algumas condições de solos, podem ocorrer respostas à aplicação de N em idades superiores a 24 meses. Plantações clonais de *E. urophylla* no estado de Minas Gerais apresentaram ganhos de até 30% com aplicação de doses de 120 kg ha^{-1} de sulfato de amônio aos 36 meses de idade, devido a formas de argila de baixa atividade (JESUS *et al.*, 2012).

Os altos teores de N-orgânico em solos brasileiros são os principais responsáveis pelas respostas modestas à utilização de fertilizantes nitrogenados (GONÇALVES et al., 2008; PULITO, 2009). Experimentos com aplicação de doses crescentes de N foram instalados no estado de São Paulo por Pulito (2009) (Tabela 2). A aplicação do nutriente gerou ganhos em produtividade de até 20% entre os zero e 24 meses de idade. A partir dos 36 meses, os ganhos de produtividade não ultrapassaram 10%, mesmo nos sítios com baixos teores de argila. Estes resultados foram atribuídos à ocorrência de ciclagem biogeoquímica nos locais de estudo, a qual disponibilizou N para o desenvolvimento das florestas.

Tabela 2 – Respostas à fertilização nitrogenada em diferentes locais e idades para plantações clonais de eucalipto no Brasil

Local	**Solo**	**Textura**	**Dose**	**Idade**	**Ganhos**	**Fonte**
			kg ha^{-1}	ano	%	
Capão Bonito 2	LVd	Muito argilosa	100,0	1,0	20,0	Pulito (2009)
Capão Bonito 3	CXBd	Média	220,0	1,1	7,7	Pulito (2009)
Votorantim	PVAd	Muito argilosa	150,0	1,2	9,5	Pulito (2009)
São M. Arcanjo	LVAd	Muito argilosa	250,0	1,5	4,4	Pulito (2009)
Angatuba	RQ	Arenosa	250,0	2,0	12,5	Pulito (2009)
Agudos	LVd	Média	240,0	3,0	2,3	Pulito (2009)
Botucatu	RQ	Arenosa	240,0	3,0	2,3	Pulito (2009)
Itatinga	LVAd	Média	360,0	4,0	9,4	Pulito (2009)
Altinópolis	RQ	Arenosa	270,0	5,7	-3,5	Pulito (2009)
Capão Bonito 1	LAd	Argilosa	100,0	9,0	0,7	Pulito (2009)
Paraíbuna	LVAd	Argilosa	90,0	11,4	-2,1	Pulito (2009)
Itamarandiba	LV	Muito argilosa	120,0	2,5	50,0	Jesus et al. (2012)
Altinópolis	RQ	Arenosa	167,7	5,7	18,7	Valeri et al. (2001)
Itamarandiba	LVA	Argilosa	53,3	7,5	33,0	Barros et al. (1984)

Processos de retranslocação de N iniciados com a senescência das folhas, contribuem para a manutenção dos níveis de N na planta e diminuem a demanda pelo nutriente com a idade (FIFE, NAMBIAR; SAUR, 2008). Após o período de máximo IAF, a demanda por N tende a diminuir devido à retranslocação e, com isso, as diferenças entre diferentes doses de N diminuem (LACLAU, *et al.*, 2010).

A absorção de N e de outros nutrientes está diretamente associada ao período de maior disponibilidade hídrica do solo, quando há um rápido crescimento das plantas. No caso do N, dentre as três formas de transporte de nutrientes pelas quais um nutriente pode ser absorvido pela planta, o fluxo de massa é o mecanismo de maior relevância no processo de transporte do N presente no solo para as plantas (MALAVOLTA, 2006).

Sua absorção também está relacionada com o estádio de crescimento, taxa de crescimento, a espécie ou material genético utilizado e a relação C/N presente no solo (STEVENSON; COLE, 1999). Raij (1991) classifica o N como o mais importante dos macronutrientes, tanto em uso nas práticas de fertilização como em conteúdo nas culturas. Na planta, o N é utilizado na produção de proteínas e enzimas, atuando em processos metabólicos.

Recomendações de fertilização nitrogenada no Brasil consideram os teores de N exportados ao final da rotação, os teores do nutriente presentes no solo, além de, em alguns casos, utilizar a relação entre os nutrientes como forma de identificação de deficiências (WADT, 2004; GONÇALVES *et al.*, 2008). Por apresentar boa correlação com os teores de N, a matéria orgânica do solo (MOS) é utilizada como referência para recomendações de fertilização nitrogenada. Neste sentido, solos com teores de MOS inferiores a 20 g kg^{-1} de solo tendem a apresentar respostas à fertilização nitrogenada. Solos com teores entre 20 e 40 g kg^{-1} apresentam respostas moderadas e solos com teores de MOS acima de 40 g kg^{-1} não respondem à aplicação de N (GONÇALVES *et al.*, 2008).

2.5 Fósforo no solo e respostas à fertilização fosfatada

Os solos brasileiros apresentam baixa disponibilidade natural de P e elevada capacidade de fixação do nutriente, resultados do intemperismo e dos processos de formação dos solos (LOPES; SILVA; BASTOS, 2004; NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007). Em geral, a demanda de P para as principais culturas no Brasil gira em torno de 30 a 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 (PPI/PPIC, 2003). Roberts (1995) afirma que existem perdas de P-lábil no ambiente,

principalmente devido à exportação do nutriente. Por isso, torna-se fundamental a reposição e correção das limitações do solo por meio de fertilizações (STAUFFER; SULEWSKI, 2004).

Culturas anuais como soja e milho exportam entre 15 e 30 kg ha^{-1} ano^{-1} de P, a cana, cerca de 10 kg ha^{-1} ano^{-1}, frutos, como o tomate, 20 kg ha^{-1} ano^{-1}, e plantações de eucalipto de produtividade média próximas a 40 m^3 ha^{-1} ano^{-1} tendem a exportar 5 kg ha^{-1} ano^{-1} (GONÇALVES, 2011). Enquanto para todos os demais nutrientes as principais perdas se dão pela exportação do material vegetal, as maiores perdas do P aplicado se dão pela fixação no solo, principalmente nos solos brasileiros com altos teores de óxidos de ferro e alumínio (RAIJ, 2004).

Os teores de P na solução do solo são extremamente baixos para a maioria das regiões do Brasil (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007). A faixa de pH de maior disponibilidade para o nutriente está entre 5,5 e 6,8 (HAVLIN *et al.*, 2014). Neste sentido, práticas de correção da acidez do solo tendem a aumentar a disponibilidade deste nutriente. A composição e ocorrência em formas inorgânicas de P em associações com Fe, Al e Ca variam de acordo com o pH do solo, sendo muito pouco solúveis (BINKLEY, 1986).

O equilíbrio entre mineralização e imobilização de P nos solos está diretamente relacionado com os teores de C e P presentes no solo. Em solos com grandes quantidades de resíduos lenhosos, como áreas de colheita e reforma florestais, a biomassa de material vegetal com alta concentração de C é elevada. Em condições em que a relação C/P se torna maior que 300, o solo tende a dispor de menores teores de P, o qual passa a ser imobilizado pelos microrganismos, para a decomposição do material vegetal. Para a relação C/P na faixa de 200 a 300, há um equilíbrio dinâmico de imobilização e mineralização, na qual não há ganhos ou perdas, na faixa abaixo de 200, há uma maior mineralização de P e com isso há ganhos nos teores de P inorgânico no solo (Pi) (STEVENSON; COLE, 1999).

A aplicação e recomendação de P em fertilizações deve levar em consideração o teor de argila no solo. Solos com teores mais elevados de argila devem receber maiores quantidades de P, devido à maior capacidade produtiva e à possível retenção causada pela argila, resultante da interação com os óxidos de Fe presentes no solo (SILVEIRA; GAVA, 2004). As doses de P podem variar entre 10 e 60 kg ha^{-1} de P_2O_5, de acordo com as reservas disponíveis e o teor de argila do solo (GONÇALVES, 2011).

O eucalipto apresenta elevada demanda por P em sua fase inicial de estabelecimento e, aliado à possibilidade de adsorção de P verificada em solos brasileiros, torna-se estratégico

concentrar a aplicação de fertilizantes fosfatados de maneira localizada (NOVAIS *et al.*, 1982; LEITE *et al.*, 2009). Barros e Novais (1996), ao discutirem o comportamento do P no solo, classificaram esse nutriente como aquele a se atribuir maiores cuidados durante a aplicação, devido a capacidade de adsorção do nutriente pelo solo. Outros fatores como o tipo de fertilizante aplicado e o local de aplicação podem influenciar a resposta ao P (GAVA *et al.*, 1997; FERNANDEZ *et al.*, 2000). A aplicação do P em covetas próximas às mudas de eucalipto aumenta a absorção deste nutriente pelas plantas (FERNANDEZ *et al.*, 2000), pois o transporte do P para a planta ocorre majoritariamente por difusão (BARBER,1966). Este processo é rápido apenas a curtas distâncias, quando o fertilizante é aplicado a distâncias de até 15 a 20 cm do sistema radicular (TAIZ; ZEIGER, 2009). Atrasos na aplicação de P resultam em respostas modestas em incremento de madeira que aplicações realizadas dentro do período ideal (BALLARD, 1984).

A recomendação de fertilização fosfatada para plantações de eucalipto no Brasil considera os teores de P no solo e, em alguns casos, o teor de argila (BARROS *et al.,* 1996; GONÇALVES, 2011). Plantações de eucalipto instaladas em solos com teores de P abaixo da faixa de 4 mg dm^{-3} apresentam boas respostas à fertilização com P. Em geral, solos com teores de P entre 0-2 mg dm^{-3} apresentaram respostas altas à fertilização, enquanto solos com teores entre 2-4 mg dm^{-3} apresentam resposta de alta a moderada. Solos com teores de P superiores a 5 mg dm^{-3} apresentam baixo potencial de resposta à fertilização fosfatada (GONÇALVES, 2011).

Herbert (1996) verificou a influência de adubações fosfatadas sobre o crescimento de plantações de eucalipto, obtendo diferenças em altura de até 3,0 m para *E.smithii* aos 2,5 anos e em área basal até os oito anos para *E.grandis*. A fertilização fosfatada aumentou o índice de sobrevivência, a homogeneidade do plantio e o fechamento antecipado da copa. Mello et al. (1970) ao avaliarem a resposta à dose de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 para *E. saligna* em um LVAd, verificaram ganhos volumétricos de madeira de 4%, aos 5 anos de idade (Tabela 3). Costa et al. (2012) obtiveram ganhos de 100% para o crescimento em diâmetro aos 16 meses após o plantio com a dose de 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 em plantações de *E. camaldulensis,* em um Latossolo Amarelo distrófico de textura média. Com a dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5, os ganhos foram de 124%.

Fernandez *et al*. (2000) avaliaram o efeito da dose, fonte e local de aplicação do fertilizante sobre o crescimento de plantações clonais de *E. camaldulensis*, em Viçosa, MG. Os resultados aos 9,5 anos apresentaram ganhos de até 97% sobre o volume produzido, com a

aplicação de fosfato natural de Araxá (96 kg ha^{-1} de P_2O_5) e superfosfato simples (54 kg ha^{-1} de P_2O_5). Para a aplicação única de superfosfato simples, na dose de 112 kg ha^{-1} de P_2O_5, os ganhos foram de 73%, quando comparados à omissão de P.

Em plantações clonais de eucalipto na China, ganhos de produtividade foram observados em dois experimentos (XU *et al.*, 2002; XU *et al.*, 2005). A aplicação de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 em um Latossolo com teor de P disponível igual a 1,53 mg kg^{-1} resultou em ganhos de 728% sobre o volume de madeira produzido em plantações de *E. urophylla* (XU *et al.*, 2005). O fertilizante foi aplicado sobre a superfície do solo em faixas de 0,8 m. No segundo experimento, uma plantação de *E. urophylla x E. grandis,* em Latossolo de textura argilosa e teor de P na camada de 0-25cm equivalente a 1,81 g kg^{-1}, apresentou ganhos de 230% sobre o volume de madeira produzido, em comparação à não utilização do P. A aplicação foi realizada em faixas de 0,8 m sobre a superfície do solo na orientação da linha de plantio (XU *et al.*, 2002).

Tabela 3 – Ganhos com a fertilização fosfatada em plantações de eucalipto

Local	**Espécie**	**Solo**	**Textura**	**P disponível**	**Camada**	**Dose**	**Fonte**	**Aplicação**	**Idade**	**Ganhos**	**Referência**
				mg kg^{-1}	cm	kg ha^{-1}			anos	%	
Boa Vista - RR	*E. camaldulensis*	LAd	média	0,2	0-20	30,0	Superfosfato triplo	Não informado	1,3	100,0	Costa *et al.* (2012)
Boa Vista - RR	*E.camaldulensis*	LAd	média	0,2	0-20	120,0	Superfosfato triplo	Não informado	1,3	124,0	Costa *et al.* (2012)
Viçosa - MG	*E.camaldulensis*	LVAd	Argilosa	0,0	0-20	150,0	FN Araxá + Superfosfato simples	Filete e Covetas	9,5	97,0	Fernandez *et al.* (2000)
Viçosa - MG	*E.camaldulensis*	LVAd	Argilosa	0,0	0-20	112,0	Superfosfato simples	Covetas	9,5	73,0	Fernandez *et al.* (2000)
Mogi-Guaçu-SP	*E.saligna*	LVAd	Média	1,2	0-25	80,0	Superfosfato simples	Covetas	5,0	4,0	Mello *et al.* (1970)
Kaiping-China	*E.urophylla x E. grandis*	Latossolo	Argilosa	1,8	0-25	312,0	Superfosfato simples	Faixas na superfície (0,6m)	6,2	230,0	Xu *et al.* (2002)
Chuxiong-China	*E.urophylla*	Latossolo	Média	1,5	0-23	200,0	Superfosfato simples	Faixas na superfície (0,8m)	4,5	728,0	Xu *et al.* (2005)
Itamarandiba-MG	*E. saligna*	LVA	Argilosa	2,0	Não Informado	100,0	Superfosfato simples	Covetas	6,5	203,3	Barros *et al.* (1984)

2.6 Potássio no solo e respostas à fertilização potássica

A disponibilidade de K e dos demais nutrientes demandados pelas plantas está relacionada ao pH do solo. Estes nutrientes apresentam sua faixa de maior disponibilidade em pH superior a 5,0, com exceção dos micronutrientes metálicos (BRADY; WEIL, 2008). Contudo, solos florestais são geralmente muito intemperizados, com pH entre 4,0 e 5,0. Nesta faixa, a disponibilidade dos nutrientes é diminuída e processos como fixação e lixiviação de nutrientes se tornam mais representativos e a correta aplicação em época e dose dos fertilizantes se torna essencial.

A presença de K prontamente assimilável pelas plantas está associada a uma série de fatores, como a mineralogia do solo, a capacidade de troca de cátions (CTC), o K trocável, a umidade, a aeração, entre outros (MELO; CASTILHOS; PINTO, 2009; HAVLIN, *et al.,* 2014). Solos mais intemperizados, com baixos teores de argila ou argila de baixa atividade, pH de caráter ácido, baixa retenção de água, apresentam baixa disponibilidade de K (PORTELA, 1993). Em solos intemperizados, com predomínio de argila do tipo 1:1, uma pequena fração do K aplicado fica na solução do solo e o restante fica adsorvido às cargas elétricas negativas (ERNANI *et al*., 2007). A perda de K nos solos é resultado principalmente da lixiviação (HAVLIN *et al*., 2014).

A capacidade de absorção de K depende não somente das propriedades do solo como também das propriedades das plantas. Culturas diferentes apresentam diferentes capacidades de absorção de K, sendo mais ou menos eficientes, e com diferentes teores mínimos necessários para atendimento dos processos metabólicos e osmóticos (VAN DER PAAUW, 1958; HAVLIN *et al*., 2014). A CTC radicular, o tipo e a densidade do sistema radicular, a variedade ou clone, o espaçamento de plantio, a produtividade esperada (HAVLIN *et al*., 2014) são fatores relacionados ao material vegetal que determinam diretamente a demanda de K em plantações florestais.

Teores elevados de K-total podem ser verificados nos solos, contudo, a necessidade de fertilização pode persistir, devido à presença de formas não disponíveis de K no solo (HAVLIN *et al*., 2014). O intemperismo resultante das altas temperaturas e índices pluviométricos influencia diretamente na diminuição das reservas de K trocável em solos tropicais, tornando a disponibilidade de K ainda menor nestes solos (FARIAS *et al.,* 2002).

O K presente no solo pode ser encontrado em quatro formas, K estrutural, de 90 a 98%, K trocável, de 2 a 8%, K na solução, nas concentrações de 0,1 a 0,2%, e K não trocável[EM1] (LANA; NEVES, 1994). O K trocável e o K na solução podem ser considerados como disponíveis às plantas e, em condições de sucessivos e longos ciclos, como em florestas plantadas, parte do K não trocável do solo pode ser disponibilizado na solução do solo (LANA; NEVES, 1994; FARIAS *et al.,* 2012).

As recomendações de fertilização com K estão relacionadas ao teor de K disponível do solo e ao teor de argila (GONÇALVES *et al.*, 2008). O aumento da disponibilidade de K no solo diminui a necessidade de fertilizações. Os maiores teores de argila, por indisponibilizar o K e oferecer maior capacidade produtiva, aumentam as necessidades de fertilização (BARROS *et al*., 2000). Para solos com deficiência hídrica, a aplicação do fertilizante, se localizada, deve ser feita em profundidade, entre 15 e 25 cm, uma vez que na ausência de umidade do solo o K não irá se movimentar e se aproximar das raízes (ERNANI *et al*, 2007). A aplicação de K em campo deve ser realizada a certa distância das mudas, devido ao efeito salino do principal fertilizante mineral utilizado em adubações com potássio, o KCl (SABINO *et al*., 1984).

Dentre os três mecanismos de movimentação dos íons no solo, o processo de difusão é o de maior relevância na dinâmica de transporte de K (NOVAIS; MELLO, 2007). Vargas *et al*. (1983), avaliando os mecanismos de transporte dos nutrientes em doze solos no estado do Rio Grande do Sul, verificaram que 89% do transporte de K foi realizado por difusão. Taiz e Zeiger (2013), ao transcorrerem sobre o transporte por difusão, afirmam que este é um mecanismo rápido em curtas distâncias, mas lento a distâncias longas. Raij (1991) destaca a ação da água na absorção de potássio pelas plantas e a diminuição na absorção do nutriente em períodos mais secos. De acordo com o autor, por se tratar do principal mecanismo de transporte, períodos de déficit hídrico causam a diminuição na absorção de K, sendo importante, a aplicação de fertilizantes em períodos chuvosos.

O K desempenha importantes funções reguladoras e de proteção ao material vegetal, como regulação estomática e resistência à geada (BRADY; WEIL, 2008; TAIZ; ZEIGER, 2013). Segundo Binkley (1986), a presença de K nas plantas se dá exclusivamente[EM2] em sua forma iônica, com caráter móvel.

As tabelas ou programas de recomendação de fertilização potássica no Brasil consideram para o cálculo da dose a ser aplicada, os teores de K-trocável no solo, extraído a partir de resina trocadora de íons ou Mehlich-1 (RAIJ *et al*., 2001). De acordo com as

classificações estabelecidas, solos com teores de K inferiores a 0,5 mmolc dm^{-3} são considerados muito baixos e apresentam alto potencial de resposta para a cultura do eucalipto. Teores entre 0,6 e 0,9 $mmol_c$ dm^{-3} são considerados baixos, entre 1,0 e 1,5 $mmol_c$ dm^{-3}, médios e, acima de 1,6 $mmol_c$ dm^{-3}, altos (GONÇALVES *et al.*, 2008).

As recomendações de K, em geral, variam entre 10-120 kg ha^{-1}, devido ao material genético utilizado e às condições edafoclimáticas aos quais este é submetido (GAVA, 1997; (GONÇALVES *et al.*, 2008). Povoamentos com maiores teores de K em suas folhas, apresentam maior eficiência de uso da água, devido à função reguladora desempenhada pelo K. Em monoprogênies plantadas em Itatinga-SP, a fertilização com K na dose de 140 kg ha^{-1} diminuiu a quantidade de água transpirada por metro quadrado de área foliar em 40%, devido à sua função reguladora nos estômatos (ALMEIDA, 2009).

Respostas à aplicação de cloreto de potássio foram constatadas em LVAd, textura média (ALMEIDA, *et al.*, 2010). Aos 36 meses, os ganhos em volume de madeira com a aplicação de 140 kg ha^{-1} de K_2O em povoamento de *E. grandis* equivaleram a 120% (Tabela 4). A utilização de sulfato de potássio, na mesma dose, como fonte alternativa gerou ganhos de 100%. Neste experimento testou-se ainda a substituição parcial e total do K pelo Na. A comparação entre a aplicação nas mesmas doses (em Kmol ha^{-1}) resultou em produtividade de madeira cerca de 30% superior para o tratamento que recebeu a dose completa de K. Ao comparar-se a substituição parcial (50% Na e 50% K) e o tratamento com a dose completa de K, as diferenças de produtividade foram próximas a 5%.

Silva *et al.* (2013) testaram em um Neossolo Quartzarênico (RQ), o efeito do parcelamento da fertilização potássica sobre o desenvolvimento de um povoamento de *E. urophylla x grandis* (Tabela 4). Foram comparados os ganhos entre o tratamento com doses parceladas e o tratamento com fertilização de cobertura em dose única. Aos 30 meses, os resultados indicaram que não houve diferença entre os dois métodos de aplicação. Ao comparar-se estes tratamentos com a testemunha absoluta (omissão de N, P e K), verificou-se ganhos de produtividade equivalentes a 43,6% para a aplicação do tratamento com doses parceladas e 43,4% para o tratamento com dose única. A dose de K aplicada foi de 105 kg ha^{-1}.

Povoamentos florestais submetidos à prática de talhadia apresentaram diferentes respostas à aplicação de K. Em Itamarandiba, MG, a aplicação de 120 kg ha^{-1} de K_2O resultou em ganhos no volume de madeira equivalentes a 48% para *E. grandis* em LVAd de textura argilosa e teor de K trocável no solo equivalente a 0,5$mmol_c$ dm^{-3} (FARIA *et al.*, 2002). Em

São Miguel Arcanjo-SP, um povoamento em segunda rotação de *E. grandis* em PVAd com teor de K trocável igual a 1,7 $mmol_c$ kg^{-1} apresentou ganhos de 2% na produtividade de madeira quando comparado ao tratamento com omissão do nutriente (GAVA, 1997).

Tabela 4 – Respostas à fertilização potássica em plantações de eucalipto com diferentes teores de K-trocável, dose e fonte aplicada e forma de aplicação

Local	Espécie	Solo	Textura	$K_{Trocável}$	Camada	Dose	Fertilizante	Aplicação	Idade	Ganhos	Fonte
				$mmol_c\ kg^{-1}$	cm	$kg\ ha^{-1}$			anos	%	
Itatinga-SP	*E.grandis*	LVAd	Média	0,1	0-15	140,0	Cloreto de Potássio	Projeção da Copa (Superficie) - Parcelada	3,0	120,0	Almeida *et al.* (2010)
Itatinga-SP	*E.grandis*	LVAd	Média	0,1	0-15	140,0	Sulfato de Potássio	Projeção da Copa (Superficie) - Parcelada	3,0	100,0	Almeida *et al.* (2010)
Anhembi-SP[(1)]	*E.urophylla x E.grandis*	RQ	Arenosa	1,3	0-20	105,0	Cloreto de Potássio	Projeção da Copa (Superficie) - Parcelada	2,0	43,6	Silva *et al.* (2013)
Anhembi-SP[(1)]	*E.urophylla x E.grandis*	RQ	Arenosa	1,3	0-20	105,0	Cloreto de Potássio	Projeção da Copa (Superficie) - Única	2,0	43,4	Silva *et al.* (2013)
Itamarandiba-MG[(2)]	*E.grandis*	LVAd	Argilosa	0,5	0-20	120,0	Cloreto de Potássio	Projeção da Copa (Superficie) - Parcelada	6,6	48,0	Faria *et al.* (2002)
São Miguel Arcanjo – SP[(2)]	*E.grandis*	PVAd	Média	1,7	0-30	360,0	Cloreto de Potássio	Projeção da Copa (Superficie) - Parcelada	5,0	2,3	Gava (1997)
Chibero-Zw	*E.grandis*	RQ	Arenosa	–	–	55,5	Sulfato de Potássio	—	10,0	-2,0	Gotore *et al.* (2004)
Itamarandiba	*E.saligna*	LVA	Argilosa	0,7	–	53,3	Cloreto de Potássio	Cova	6,5	28,1	Barros *et al*. (1984)

[(1)] Comparação com a testemunha absoluta (0 $kg\ ha^{-1}$ de N, P e K); [(2)] Respostas à aplicação de K em segunda rotação

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização das áreas experimentais

Os experimentos para avaliar a resposta de povoamentos clonais de *Eucalyptus sp.* às fertilizações com os macronutrientes N, P e K foram instalados em quatro localidades (Tabela 5). Destas, Paulistânia, Luiz Antônio e Mogi-Guaçu estão localizadas no estado de São Paulo, e Ribas do Rio Pardo, no estado de Mato Grosso do Sul (Figura 2).

Tabela 5 – Localização das áreas experimentais

Código	Município	Latitude	Longitude	Altitude
		S	O	m
1	Ribas do Rio Pardo (MS)	22º 27'	54º 37'	530
2	Paulistânia (SP)	22º33'	49º19'	610
3	Luís Antônio (SP)	21º 35'	47º 31'	638
4	Mogi-Guaçu (SP)	22º 04'	47º 02'	591

Figura 2 – Distribuição geográfica das áreas experimentais

Os experimentos foram instalados em solos muito intemperizados de reduzida fertilidade, pertencentes à classe dos Latossolos e Neossolos (Tabela 6). Os teores de matéria orgânica do solo (MOS), P disponível e K trocável nestes sítios estiveram nas faixas consideradas baixas ou muito baixas e com alto potencial de resposta à fertilização, com algumas excessões. Em Luís Antônio e Mogi-Guaçu, os teores de P para a camada 0-20cm de profundidade foram considerados altos e com baixa ou nenhuma probabilidade de resposta à fertilização fosfatada. Os teores de MOS nestes locais estiveram acima de 15 g dm^{-3}, sendo considerados teores médios com moderado a alto potencial de resposta a fertilização nitrogenada (GONÇALVES *et al.*, 2008).

Tabela 6 – Caracterização das áreas experimentais com os teores médios de pH, P, Bases trocáveis (K, Ca e Mg) e atributos físicos do solo na camada de 0-20 cm de profundidade

Sítio	pH	MOS	P	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	SB	Al^{3+}	H+Al	CTC_7	V	Areia	Argila
		g dm^3	mg dm^3	——————mmol$_c$ dm^3——————							%	—g kg^{-1}—	
R. do Rio Pardo	4,0	12,9	1,4	1,4	1,0	0,3	2,7	6,8	29,6	32,3	8,1	908,0	73,0
Paulistânia	3,6	9,8	3,0	3,0	1,5	0,4	5,0	9,5	35,8	40,8	12,3	860,0	123,0
Luís Antônio	4,1	19,4	8,7	16,3	5,8	0,4	22,5	4,1	47,9	70,2	32,3	906,6	88,6
Mogi-Guaçu	4,1	16,1	4,0	20,5	3,5	0,3	24,3	0,9	42,3	52,5	54,6	509,0	164,4

MOS, dicromato/colorimétrico; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K, resina trocadora de íons; Al^{3+}, extrator KCl 1 mol l^{-1}; H+Al, pH SMP; Areia, Pesagem; Argila, densimetro

O clima dos municípios de Ribas do Rio Pardo e Luís Antônio foram, de acordo com Köppen (1936), classificados como Aw, caracterizados por inverno seco, com temperatura média no mês mais frio maior que 18 ºC e período chuvoso concentrado no verão. Os municípios de Paulistânia e Mogi-Guaçu têm clima Cwa, caracterizando mesotérmico com estações de verão e inverno bem definidas, chuvas de verão e temperatura média superior a 22 ºC nesta estação (Tabela 7). O balanço hídrico climatológico dos sítios experimentais foi calculado para o período avaliado (Tabela 8).

Tabela 7 – Características edafoclimáticas dos sítios

Localização e Atributos	Municípios			
	Ribas do Rio Pardo	Paulistânia	Luís Antônio	Mogi-Guaçu
Estado	MS	SP	SP	SP
Solo[1]	RQ	RQ	RQ	LVA
Clima[2]	Aw	Cwa	Aw	Cwa

[1] Classificação do solos de acordo com Embrapa (2013); [2] Classificação climática de acordo com Koppen (1936)

Tabela 8 - Valores anuais do balanço hídrico do solo pelo método proposto por Thorntwaite e Mather (1955) para os locais de estudo, durante o período de condução do experimento, com os dados de, temperatura máxima, mínima e média, precipitação (PPT), evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), excedente hídrico (EXC), Soma do déficit hídrico anual (DEF) e número de meses com déficit hídrico, (s) desvio padrão da média

	Temperatura								
ANO	**Máxima**	**Média**	**Mínima**	**PPT**	**ETP**	**ETR**	**EXC**	**DEF**	**MESES COM DEF**
	ºC			mm					
Ribas do Rio Pardo									
2008	32,2	26,3	20,4	290	294	285	4,9	8,4	1
2009	29,8	24,3	18,9	1724	1315	1250	474	64,8	4
2010	30	27	18,9	1270	1345	1133	137	211	7
2011	30,8	29,8	18,7	1640	1335	1036	604	299	7
2012	30,4	29,9	19,2	1371	1390	1174	197	216	6
2013	30,8	29,5	18,7	1352	1289	1216	137	74	4
Média	**29,9**	**24,4**	**18,9**	**1471**	**1335**	**1162**	**310**	**173**	**6**
S	**0,4**	**0,3**	**0,2**	**365,6**	**41,4**	**76,8**	**225**	**93,2**	**2**
Paulistânia									
2008	27,6	22,1	16,6	1134	1073	981	153	93	4
2009	27,8	22,5	17,1	1691	1119	1060	631	59	3
2010	28,4	22,6	16,8	1272	1123	1053	219	70	5
2011	28,3	22,4	16,5	1404	1107	969	435	138	4
2012	28,9	22,8	16,8	1265	1157	1058	208	99	5
2013	27,7	22,1	16,6	1304	1083	1022	282	61	3
Média	**28,1**	**22,4**	**16,7**	**1345**	**1110**	**1024**	**321**	**87**	**4,0**
S	**0,5**	**0,3**	**0,1**	**64,0**	**31,2**	**40,8**	**104,6**	**34,8**	**1,5**
Luís Antônio									
2009*	24,2	23,5	22,7	643	499	473	170	26	1
2010	22,2	21,4	20,6	1066	1034	881	185	153	6
2011	21,9	21,2	20,4	1540	1015	934	606	81	4
2012	22,4	21,6	20,8	989	1048	809	179	239	6
2013	21,8	20,3	19,6	1256	985	984	272	1	1
Média	**22,5**	**21,6**	**20,8**	**1213**	**1020**	**902**	**310**	**118**	**4,5**
S	**0,3**	**0,6**	**0,6**	**245,6**	**27,4**	**74,8**	**201,7**	**101,6**	**3,5**
Mogi-Guaçu									
2009	27,9	21,5	20,6	1428	1031	873	555	158	4
2010	22,8	22	21,2	1446	1066	1002	444	64	3
2011	22,6	21,8	21	1614	1042	904	710	138	4
2012	23	22,2	21,5	1380	1090	948	431	141	4
2013	22,4	21,6	20,9	1346	1031	978	368	53	4
Média	**23,7**	**21,8**	**21**	**1443**	**1052**	**941**	**502**	**111**	**4**
S	**0,3**	**0,3**	**0,2**	**119,2**	**26,4**	**42,4**	**151,5**	**47,2**	**1,2**

* dados a partir de setembro

3.2 Delineamento e tratamentos experimentais

O experimento foi instalado em delineamento aleatorizado em blocos com 13 tratamentos e quatro repetições de 64 plantas. Os tratamentos corresponderam a doses crescentes de N, P_2O_5, e K_2O. Para avaliar a influência isolada de cada nutriente, as doses dos demais foram mantidas constantes. As doses para N e K_2O variaram entre 0 e 150 kg ha^{-1}, e para P_2O_5, entre 0 e 90 kg ha^{-1} (Tabela 9). O tratamento correspondente à dose de 100 kg ha^{-1} de N, 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 150 kg ha^{-1} foi intitulado de N100 para a comparação das doses de N, de P90 para as doses de P e, de K150 paras as doses de K. O tratamento testemunha não recebeu aplicação de N, P e K. Testou-se a substituição da fonte de N para ureia, com o tratamento N100 (ureia) na dose de 100 kg ha^{-1} de N. Adicionalmente, a omissão de Ca também foi testada com o tratamento Ca0 para verificar a produtividade da floresta sem aplicação de calcário.

O experimento instalado em Paulistânia recebeu dois tratamentos adicionais, K230 e K300. O tratamento K230 recebeu 230 kg ha^{-1} de K_2O e o tratamento K300, 300 kg ha^{-1} de K_2O. Ambos receberam 100 kg ha^{-1} de N e 90 kg ha^{-1} de P_2O_5. A forma de aplicação e época foram as mesmas que os demais tratamentos.

A fertilização de base foi realizada em covetas laterais com aplicação do fósforo em dose única, quinze dias após o plantio (Figura 3). A fertilização de cobertura foi parcelada em duas vezes, aos três e seis meses após o plantio, em cobertura e na projeção da copa. A aplicação de ureia foi realizada da mesma forma que as fertilizações com nitrato de amônio, em cobertura e sobre a projeção da copa.

O calcário (Dolomítico) foi aplicado em dose única após o preparo da área, sendo aplicado em cobertura e área total, na dose de 2000 kg ha^{-1}. A dose utilizada foi superior à demanda das áreas e foi utilizada para evitar perdas de produtividade por deficiência de Ca e Mg. Como fonte de B, foi utilizado a Ulexita acidificada, na dose de 25 kg ha^{-1}. Os micronutrientes foram aplicados a partir do FTE BR 12, na dose de 20 kg ha^{-1}. Os macronutrientes secundários e os micronutrientes foram aplicados em doses que não limitassem a produção dos tratamentos, acima das doses recomendadas comercialmente.

Tabela 9 – Descrição dos tratamentos, doses aplicadas, parcelamento e idade de aplicação

Fertilização	Idade	Fertilizante	Tratamentos														
			Test	N0	N50	N100	N150	N100 (Ureia)	P0	P30	P60	P90	K0	K50	K100	K150	Ca0
			kg ha^{-1}														
Base	0 meses	Nitrato de Amônio	0	0	31	31	31	23	31	31	31	31	31	31	31	31	31
		Superfosfato Triplo	0	196	196	196	196	196	0	65	130	196	196	196	196	196	196
		Cloreto de Potássio	0	17	17	17	17	10	17	17	17	17	0	17	17	17	17
		FTE Br 9 ou 12	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
		Calcário Dolomítico	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0
Cobertura	3 meses	Nitrato de Amônio	0	0	63	140	219	102	140	140	140	140	140	140	140	140	140
		Cloreto de Potássio	0	116	116	116	116	116	116	116	116	116	0	39	78	116	116
		Ulexita Acidificada	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	6 meses	Nitrato de Amônio	0	0	63	140	219	102	140	140	140	140	140	140	140	140	140
		Cloreto de Potássio	0	116	116	116	116	116	116	116	116	116	0	39	78	116	116
		Ulexita Acidificada	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
			kg ha^{-1}														
Nutrientes aplicados		N	0	0	50	100	150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		P	0	90	90	90	90	90	0	30	60	90	90	90	90	90	90
		K	0	150	150	150	150	150	150	150	150	150	0	50	100	150	150
		Ca	0	543	543	543	543	543	543	543	543	543	543	543	543	543	0
		Mg	0	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	0
		S	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		B	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
		Cu	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
		Zn	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
		Fe	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
		Mo	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
		Mn	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Nitrato de Amônio (31-00-00);Superfosfato Triplo (00-46-00); Cloreto de Potássio (00-00-57,8); Ureia (46-00-00); FTE BR 9; Ulexita Acidificada (10% B)

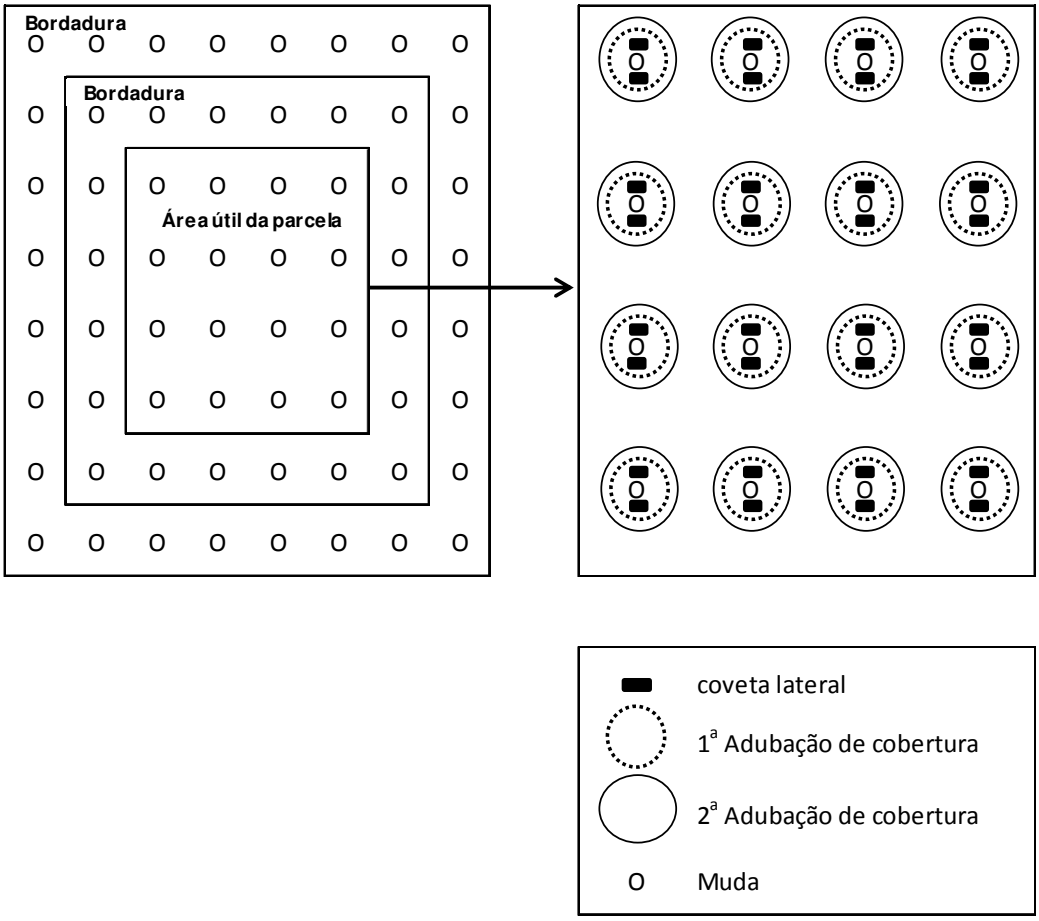

Figura 3 – Representação da localização de aplicação dos fertilizantes durante as etapas de instalação do experimento

3.3 Instalação dos experimentos

Os experimentos foram instalados durante o período chuvoso, para aumentar a sobrevivência dos plantios e evitar a baixa absorção de nutrientes por limitação hídrica do solo. Entre novembro e dezembro de 2008 os experimentos foram instalados nos municípios de Paulistânia e Ribas do Rio Pardo e, em novembro de 2009, em Luís Antônio e Mogi-Guaçu. O solo foi preparado até 40 cm de profundidade em Ribas do Rio Pardo e Paulistânia e, até 60 cm de profundidade em Mogi-Guaçu e Luís Antônio (Tabela 10). Utilizaram-se dois materiais genéticos distintos de *E. grandis x E. urophylla*, para Paulistânia e Ribas do Rio Pardo. Em Mogi-Guaçu e Luís Antônio foi utilizado o material genético híbrido de *E. urophylla x E. globulus*. O controle de plantas invasoras foi realizado até os 24 meses após o plantio.

Tabela 10 – Locais, genótipos, profundidade de preparo do solo e espaçamento utilizados

Município	Material genético	Preparo do solo	Espaçamento de plantio
		cm	—m—
Ribas do Rio Pardo (MS)	*E. grandis vs E. urophylla*	40,0	3,00 x 2,75
Paulistânia (SP)	*E. grandis vs E urophylla*	40,0	3,00 x 2,00
Luís Antônio (SP)	*E.urophylla vs E. globulus*	60,0	3,00 x 2,75
Mogi-Guaçu (SP)	*E.urophylla vs E globulus*	60,0	3,00 x 2,50

3.4 Avaliação da fertilidade do solo

Antes da implantação dos experimentos foi realizada a coleta de amostras compostas de solo nos locais dos experimentos nas camadas 0-10, 10-20, e 20-40 cm para caracterização das áreas experimentais. Anualmente, foram realizadas coletas de solo nas profundidades acima descritas em todas as parcelas do experimento, para verificar alterações nos atributos químicos do solo durante o desenvolvimento das plantações.

As amostras foram coletadas com trado holandês nas linhas e entrelinhas de plantio. Os métodos de análise química utilizados foram descritos por Raij *et al.* (2001). O pH foi determinado em $CaCl_2$ 0,01mol l^{-1},o Al^{3+} trocável for extraído com solução KCl 1 mol L^{-1} e titulado com NaOH 0,05 mol l^{-1}, em presença de azul de bromotimol, a acidez potencial (H+Al) foi determinada em tampão SMP, P, K, Ca e Mg extraídos pelo método da resina trocadora de íons. A determinação de P foi realizada por colorimetria, de K, por espectofotometria de chama e, de Ca e Mg, por espectofotometria de absorção atômica, A MOS foi determinada via dicromato.

3.5 Avaliação do estado nutricional das plantas

A partir do primeiro ano de plantio dos experimentos, foi realizada a coleta de folhas recém maduras para determinação em laboratório do estado nutricional das plantas (SILVEIRA *et al.,* 2000). As coletas foram realizadas com folhas do terço superior da copa, em locais sem competição por luz, em quatro árvores por parcela, em três blocos, com cinco folhas em cada quadrante, totalizando 20 folhas por árvore e 80 folhas por parcela (BELLOTE; SILVA, 2000). Para evitar deficiências nutricionais induzidas pela sazonalidade, as coletas foram realizadas uma vez ao ano durante o período chuvoso (verão). As coletas

foram realizadas a partir dos seis meses em Luís Antônio e Mogi-Guaçu e, a partir dos 12 meses, em Paulistânia e Ribas do Rio Pardo.

As folhas coletadas foram acondicionadas em sacos de papel. No laboratório, estas foram secas em estufa a temperatura de 65º C durante cinco dias. Após a secagem, as folhas foram processadas em moinhos tipo wiley e encaminhadas para análise. Em laboratório, o N foi determinado pelo método micro kjeldahl, após extração por digestão sulfúrica. Para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn após a digestão nítrico perclórica do material vegetal, procedeu-se a determinação dos mesmos. Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram medidos por espectofotometria de absorção atômica, K por fotometria de chama e P e S, por colorimetria. B foi extraído a partir de água quente e determinado por colorimetria.

3.6 Medição do crescimento das árvores

As medições de altura (H) e circunferência à altura do peito (CAP) foram realizadas em parcela útil de 16 plantas, com bordadura dupla para linha e entrelinha. As medições foram semestrais até o final do segundo ano de plantio, sendo realizadas a cada 12 meses a partir dos dois anos de idade. A primeira medição foi realizada com régua dendrométrica e, a partir dos 12 meses, com clinômetro Suunto. Foram medidas todas as árvores vivas dentro da parcela útil. A circunferência do tronco a altura do peito (CAP) foi medida com a utilização de fita métrica e, posteriormente, transformada em DAP.

Para o cálculo do volume foram utilizadas as equações ajustadas previamente para cada material genético clonal, com exceção do material clonal utilizado em Ribas do Rio Pardo, o qual, por não dispor de equação específica, foi calculado a partir do volume cilíndrico utilizando a área basal, altura e fator de forma igual a 0,5, de acordo com as equações 1, 2 e 3.

***E. urophylla x globulus* (Mogi-Guaçu e Luís Antônio)**

$$\text{Volume Individual } (m^3) = e^{(-10,3317 + 2,005947*\ln(DAP) + 0,987837*\ln(H))} \qquad (1)$$

***E. grandis x urophylla* (Paulistânia)**

$$\text{Volume Individual } (m^3) = (0,125957*(DAP^{2,02469}) * (H^{0,54262}))/ 2000) + ((0,0341051*DAP^{1,7322}*H^{1,2530}) /2000) \qquad (2)$$

***E. grandis x urophylla* (Ribas do Rio Pardo)**

$$\text{Volume Individual } (m^3) = (\pi\, r^2) * h * 0,5 \qquad (3)$$

3.7 Índice de uniformidade – PV50 (%)

A uniformidade dos tratamentos foi avaliada por meio do Índice de uniformidade PV50 (HAKAMADA, 2012). Para a elaboração do índice, foram calculados os volumes individuais de todas as árvores presentes na parcela útil. Com estes valores, as árvores foram organizadas em ordem crescente de volume individual. Posteriormente, somou-se o volume individual de cada uma das 50 % menores árvores e dividiu-se pelo volume total da parcela útil, multiplicando-se ao final por 100 para se ter um valor percentual e comparativo. A equação abaixo (eq. 5) detalha o cálculo do PV50(%),

$$PV50 = \frac{\sum_{k=1}^{n/2} Volume\ Individual_{ij}}{\sum_{k=1}^{n} Volume\ Individual_{ij}} \qquad (5)$$

Sendo:

PV50= Porcentagem volumétrica das 50% menores árvores plantadas;

Volume Individual= Volume individual do tratamento i na idade j;

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

3.8 Determinação da produtividade relativa

A produtividade relativa dos tratamentos foi calculada para permitir a comparação entre os ganhos nos quatro locais de estudo. Os ganhos relativos em produtividade dos diferentes tratamentos foram obtidos a partir do seguinte cálculo, eq.(6):

$$PR = \frac{(PTrat)}{PMax}\ x\ 100 \qquad (6)$$

Sendo:

PR: Produtividade Relativa do tratamento avaliado, em %.

PMax: Produtividade do tratamento N100/P90/K150 em $m^3\ ha^{-1}$

PTrat: Produtividade do tratamento N0/P0/K0 em $m^3\ ha^{-1}$

3.9 Índice de Eficiência Agronômica e Equivalente em adubo padrão

Entre os tratamentos nitrogenados, foi testada a utilização da ureia como fonte de N alternativa ao Nitrato de Amônio. Para comparação entre as duas fontes, utilizou-se o volume de madeira obtido com cada uma, a uma dose padrão de N de 100 kg ha^{-1}. Resultados superiores a 100% indicam maiores respostas à ureia, enquanto que respostas inferiores, ao nitrato de amônio. Com base nos resultados em volume obtidos, a partir de cada tratamento,

pôde-se calcular os ganhos em produtividade referentes ao uso destas fontes, pelo Índice de Eficiência Agronômica, de acordo com a equação (7).

$$IEA = \frac{N100(UREIA) - N0}{N100 - N0} \times 100 \quad (7)$$

Sendo:

IEA: Índice de Eficiência Agronômica, em %;

N100 (UREIA): Produtividade em m^3 ha^{-1} da dose de 100 kg ha^{-1} de N-Ureia;

N0: Produtividade em m^3 ha^{-1} da dose de 0 kg ha^{-1} de N;

N100: Produtividade em m^3 ha^{-1} da dose de 100 kg ha^{-1} de N-Nitrato de Amônio.

Os resultados em volume de madeira dos tratamentos nitrogenados e a elaboração de curvas de resposta por meio de análises de regressão permitiram o cálculo da dose de adubo padrão equivalente. Por meio dos valores obtidos e da equação de regressão foi possível calcular a dose de adubo padrão necessária para obtenção da mesma produtividade alcançada com a dose de 100 kg ha^{-1} da dose alternativa. Os cálculos foram feitos segundo a equação 8 (eq.8),

$$EqAP = \frac{N(Calculado)}{N100(Ureia)} \; x \; 100 \quad (8)$$

EqAP: Equivalente Adubo Padrão, em %;

N(Calculado): Dose de N calculada a partir da equação de regressão, em kg ha^{-1};

N100 (Ureia): N-Ureia na dose de 100 kg ha^{-1}.

3.10 Estimativa do Índice de Área Foliar

Para a medição do Índice de Área Foliar (IAF), foi utilizado o método das lentes *fish-eye,* também conhecido como método da fotografia hemisférica. Tal método mede a porção de abertura do dossel em vários ângulos de visada, em ordem de análise separada, e quantificada em ângulo e área foliar (Figura 4). O processamento das imagens coletadas foi realizado com o software HEMISFER ® 1.3.1. O aplicativo transforma a imagem do dossel capturada em pixels pretos, e o céu, em pixels brancos. Com base na área da imagem ocupada por pixels pretos, é estimado pelo software o Índice de Área Vegetada (IAV) estimado. Para a estimação do IAF utilizou-se o IAV estimado e a equação obtida por Lemos (2012) para correção do IAF em plantações clonais de eucalipto no estado de São Paulo, descrita na equação 9.

$$IAFc = 2{,}2078*(IAV) - 0{,}5417 \qquad (9)$$

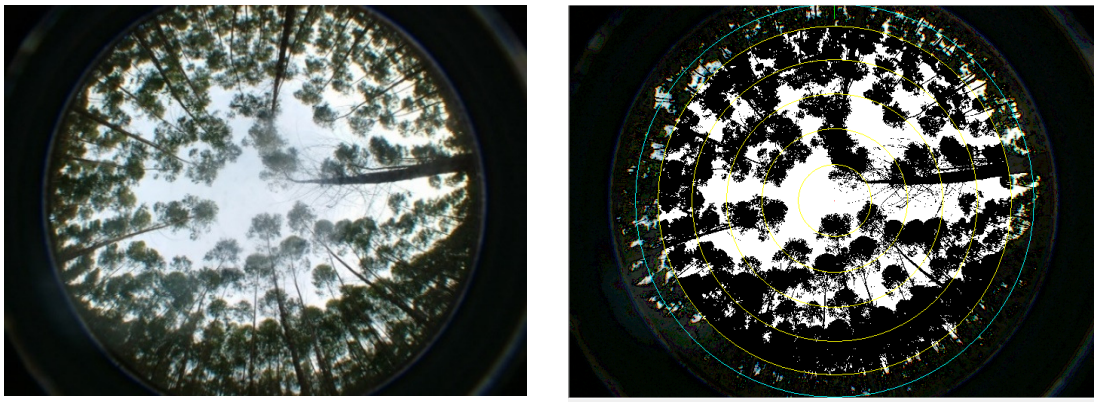

Figura 4 - Imagem coletada em campo (a); Resultado da análise (b)

Em cada parcela, foram capturadas 4 imagens, estacionando e nivelando a câmera com o auxílio de um nível de bolha e direcionando a extremidade superior da lente para o Norte, com a ajuda da bússola. Foram coletadas duas imagens na linha e duas na entrelinha. A metodologia foi repetida para os 13 tratamentos nos 4 blocos do experimento.

O material utilizado para obtenção das imagens de IAF foi: Máquina fotográfica Fujifilm Finepix S5000, lente Fisheye Opteka® 0.22X AF e adaptador, tripé com plataforma e altura de 1,0 m, bússola para o alinhamento com o norte magnético e nível de bolha, para fotos perpendiculares ao zênite.

3.11 Análise estatística

Os dados de altura, DAP, volume, teores foliares e IAF foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Box-Cox). Atendidas estas suposições, procedeu-se com a análise das variâncias por meio do teste F. As fontes de variação foram o tratamento, bloco e a idade e a interação tratamento e idade. Para a análise dos atributos químicos do solo, os dados foram separados por profundidade. Para cada profundidade foi realizada uma análise. Além da profundidade, os tratamentos foram analisados pelo nutriente testado. Foram analisados separadamente os tratamentos de N, P e K. Quando significativo, efetuou-se o teste LSD para estimativa da diferença mínima significativa e comparação das médias. Foi utilizado o programa estatístico SAS 9.1 for Windows para realização das análises.

Os resultados de volume, em m^3 ha^{-1}, foram submetidos à análise de regressão pelo *software* Sigmaplot para que fossem estabelecidas as curvas de resposta à aplicação das doses

dos nutrientes. Foi realizada a análise de regressão para as curvas de resposta ao N, P e K, entre as idades de 18 e 60 meses, de acordo com o local de estudo. A partir dos resultados obtidos, foi possível identificar as doses de máxima resposta e as respostas a estas doses de acordo com a idade.

Como alternativa às análises de regressão, utilizou-se o método gráfico proposto por Cate e Nelson (1965) para determinação das doses alternativas. Este método busca dividir as informações gráficas em quatro quadrantes (Figura 5). O método empírico objetivou dividir os resultados gráficos obtidos em dois quadrantes opostos, servindo de indicativo para mudanças de resposta à fertilização ou determinação de níveis críticos de nutrientes nas plantas. Por meio das equações obtidas com a análise de regressão, calculou-se 95% da produção encontrada pela dose máxima. A partir destes valores, utilizou-se o método gráfico para identificação da dose adequada.

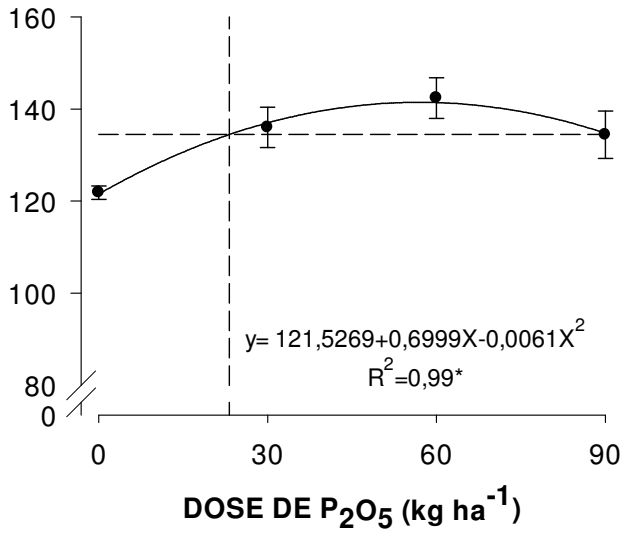

Figura 5 – Determinação da dose recomenda pelo método gráfico

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Respostas à aplicação de nitrogênio

4.1.1 Ribas do Rio Pardo

4.1.1.1 Fertilidade do solo

Aos 24 meses, os teores de MOS na camada de 0-10 cm foram de 12,1 g dm^{-3} para o tratamento N0 e, de 13,1 g dm^{-3} para o N150 (Tabela 11). Aos 48 meses, os teores aumentaram para 22,5 e 18,9 g dm^{-3}, respectivamente, para estes tratamentos. Este aumento pode ser atribuído à ciclagem biogeoquímica que se inicia após os primeiros anos de idade com a deposição de folhas e galhos em plantações de eucalipto no Brasil (GONÇALVES *et al.*, 2008; LACLAU et al.; 2010). Devido à baixa relação C/N, a decomposição destes materiais é rápida, aumentando os teores de nutrientes e de matéria orgânica. De acordo com Rocha (2014), o tempo de meia vida da biomassa de folhas na serapilheira equivale a 0,6 anos, e dos galhos, a 1,1 anos. Em Ribas do Rio Pardo, o tempo entre as duas avaliações foi de dois anos. É possível que os incrementos no teor de MOS sejam resultado da decomposição do material vegetal depositado sobre o solo. Devido à baixa deposição, os teores entre os zero e 24 meses apresentaram pequenas variações.

Os valores de pH e os teores de P-resina no solo apresentaram pequenas variações entre os 24 e 48 meses para todas as profundidades avaliadas. As doses de P aplicadas foram as mesmas (90 kg ha^{-1} de P_2O_5) entre os tratamentos N0 e N150, por isso, os teores no solo de P não apresentaram grandes variações entre os tratamentos. Comparativamente aos valores de K trocável obtidos antes da instalação do experimento (Tabela 3), as variações não foram significativas. Antes da instalação, os teores de K nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm foram de 0,4, 0,2 e 0,2 $mmol_c$ dm^{-3}, respectivamente. Aos 48 meses, os teores médios para estas camadas foram de 0,4, 0,3 e 0,3 $mmol_c$ dm^{-3}.

Os teores de Ca e Mg aumentaram entre 0 e 48 meses de idade. Antes da instalação, os teores de Ca e Mg na camada de 0-10 cm foram de 2 e 1 $mmol_c$ dm^{-3}, e, aos 48 meses, 6,2 e 1,9 $mmol_c$ dm^{-3}, respectivamente. Este aumento se deve a aplicação de 2000 kg ha^{-1} de Calcário dolomítico, o qual aportou ao solo 542 kg ha^{-1} de Ca e 150 kg de Mg.

Tabela 11 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de N em plantações de *E.grandis x urophylla*, em, Ribas do Rio Pardo, MS. O valor ao lado direito das médias representa o erro padrão.

	MOS					pH					P					K					Ca					Mg				
Dose de N	24m		48m		**DMS¹**	24m		48m		**DMS¹**	24m		48m		**DMS¹**	24m		48m		**DMS¹**	24m		48m		**DMS¹**	24m		48m		**DMS¹**
kg ha^{-1}	g dm^{-3}					mg dm^{-3}					mmol$_c$ dm^{-3}																			
0-10 cm																														
0	12,1	0,9	22,5	4,3	**ns**	4,5	0,3	4,2	0,1	**ns**	2,2	0,4	2,2	0,9	**ns**	0,2	0,0	0,4	0,1	**ns**	9,4	4,0	5,8	1,1	**ns**	8,3	4,2	1,7	0,2	**ns**
50	11,9	0,8	17,8	4,4	**ns**	4,3	0,3	4,2	0,0	**ns**	3,0	0,4	2,2	0,9	**ns**	0,2	0,0	0,4	0,0	**0,1**	4,2	1,8	6,0	0,5	**ns**	3,8	1,2	1,9	0,6	**ns**
100	12,7	1,4	22,6	3,2	**ns**	4,4	0,4	4,3	0,1	**ns**	3,4	0,4	2,7	0,5	**ns**	0,2	0,0	0,6	0,2	**ns**	4,6	1,2	6,5	0,2	**ns**	4,4	1,6	2,0	0,9	**ns**
150	13,1	1,6	18,9	2,3	**ns**	4,1	0,2	4,2	0,1	**ns**	2,9	0,4	2,5	0,8	**ns**	0,2	0,0	0,3	0,0	**ns**	4,6	1,8	6,6	0,6	**ns**	4,9	2,0	2,1	0,9	**ns**
DMS²	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
100(Ureia)	13,0	1,9	21,4	1,8	**2,4**	4,0	0,1	4,7	0,4	**ns**	2,7	0,2	3,3	0,4	**ns**	0,3	0,1	0,4	0,0	**ns**	3,9	0,7	13,7	7,2	**ns**	3,7	0,8	9,2	7,7	**ns**
10-20 cm																														
0	9,4	0,5	18,2	1,7	**6,1**	4,4	0,3	4,1	0,1	**ns**	1,7	0,7	2,1	0,8	**ns**	0,2	0,1	0,3	0,0	**ns**	5,4	1,7	5,7	1,0	**ns**	4,3	1,5	1,3	0,2	**ns**
50	10,8	0,3	16,2	4,6	**ns**	4,2	0,3	4,2	0,0	**ns**	2,6	0,5	2,7	0,6	**ns**	0,2	0,1	0,4	0,0	**ns**	3,2	0,4	5,3	0,5	**ns**	3,2	0,6	1,6	0,4	**0,8**
100	10,5	0,5	22,5	4,7	**ns**	4,2	0,2	4,2	0,1	**ns**	2,2	0,5	2,8	0,6	**ns**	0,1	0,0	0,4	0,0	**ns**	1,7	0,4	5,7	0,3	**2,5**	2,2	0,6	1,4	0,8	**ns**
150	10,5	0,8	17,3	2,4	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,1	**ns**	2,3	0,4	3,1	0,7	**ns**	0,1	0,0	0,4	0,0	**0,1**	1,9	0,2	5,7	0,3	**2,3**	2,7	0,3	1,4	0,8	**ns**
DMS²	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**0,7**			**ns**		**ns**			**3,3**		**ns**			**ns**		**ns**		
100(Ureia)	9,8	1,4	18,4	3,6	**ns**	4,1	0,1	4,6	0,3	**ns**	2,7	0,3	3,2	0,9	**ns**	0,2	0,0	0,3	0,0	**ns**	1,5	0,3	10,2	3,3	**ns**	2,0	0,2	5,8	3,8	**ns**
20-40 cm																														
0	8,5	0,7	15,8	2,2	**6,2**	4,3	0,2	4,2	0,0	**ns**	1,9	0,5	1,7	0,6	**ns**	0,1	0,0	0,3	0,0	**0,1**	3,9	1,1	5,8	0,7	**ns**	4,2	1,5	1,3	0,2	**ns**
50	7,8	0,0	12,9	2,8	**ns**	4,2	0,2	4,2	0,0	**ns**	2,3	0,2	2,2	0,5	**ns**	0,2	0,0	0,3	0,0	**0,1**	1,9	0,3	5,3	0,5	**ns**	2,4	1,0	1,3	0,1	**ns**
100	9,4	1,2	16,0	2,8	**ns**	4,2	0,1	4,2	0,0	**ns**	2,1	0,2	2,2	0,6	**ns**	0,2	0,1	0,3	0,0	**ns**	1,7	0,3	5,8	0,5	**2,8**	2,9	1,6	1,4	0,6	**ns**
150	9,1	0,8	14,9	1,7	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,0	**ns**	1,9	0,2	2,6	0,5	**ns**	0,2	0,0	0,3	0,0	**ns**	1,4	0,2	5,6	0,6	**1,7**	2,1	0,6	0,8	0,7	**ns**
DMS²	**ns**		**2,5**			**ns**		**ns**			**ns**		**0,5**			**ns**		**ns**			**2,3**		**ns**			**ns**		**ns**		
100(Ureia)	10,7	1,8	16,7	2,7	**ns**	4,0	0,0	4,3	0,1	**ns**	2,0	0,3	2,6	0,3	**ns**	0,3	0,1	0,3	0,0	**ns**	1,2	0,3	6,7	0,6	**3,4**	1,4	0,3	2,1	1,1	**ns**

[1] ; significância a 5% pelo teste t (LSD) para a variação do atributo entre as idades;[2] significância a 5% pelo teste t (LSD) entre os tratamentos em uma mesma idade. MOS, extraído por via úmida; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K extraídos pelo método da resina trocadora de íons; P, determinado por colorimetria; K, determinado por fotometria de chama; Ca e Mg, determinados por espectofotometria de absorção atômica

4.1.1.2 Estado nutricional

A aplicação de doses crescentes de N não alterou os teores foliares de N, entre os 12 e 36 meses de idade (Tabela 12). Nenhum dos demais nutrientes avaliados apresentou variações de seus teores foliares em função das doses de N aplicadas (Tabela 12). Contudo, a idade influenciou o teor foliar de todos os nutrientes ($p<0,01$). Foi verificada também a variação entre blocos a 1% de significância para Fe e Mn e, a 5% para os nutrientes P e Zn, indicando variação local, o que indica que os atributos químicos do solo diferem entre os blocos para um mesmo tratamento. Enquanto os teores de N aumentaram entre 12 e 36 meses de idade, as diferenças entre os tratamentos diminuíram com a idade. Aos 12 meses, o teor médio de N para o tratamento N0 foi de 15,8 g kg^{-1} e, para o tratamento N100, de 17,4 g kg^{-1} (Figura 6). Aos 36 meses, o teor de N foi de 20,7 g kg^{-1} para o tratamento N0, e 20,4 g kg^{-1} para o tratamento N100. Para ambos os tratamentos, os teores de N aos 36 meses estiveram abaixo, mas muito próximos da faixa adequada, entre 21 e 30 g kg^{-1} (GONÇALVES, 2011).

A relação entre a produtividade obtida e os teores de N foliares não permitiram o estabelecimento de níveis críticos. Baixas correlações entre a produtividade obtida e os teores foliares deste nutriente também foram verificadas em plantações de eucalipto em Minas Gerais por Jesus *et al*. (2012) e Ferreira (2013).

Tabela 12 – Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn em híbrido de *E. grandis x urophylla* aos 12, 24 e 36 meses de idade, em resposta à fertilização nitrogenada em RQ, Ribas do Rio Pardo, MS

Fonte de Variação	Tratamento	Bloco	Tratamento vs Idade	Idade	Resíduo	LSD[1]
GL	3	2	6	2		
			Quadrado Médio[2]			
N	0,72ns	4,58ns	1,03ns	46,5**	2,01	1,30
P	0,03ns	0,12*	0,01ns	1,0**	0,03	0,17
K	0,17ns	0,06ns	0,19ns	0,001**	1,33	1,11
Ca	1,07ns	0,04ns	1,18ns	394,9**	1,26	1,08
Mg	0,17ns	0,02ns	0,03ns	18,6**	0,06	0,24
S	0,02ns	0,004ns	0,004ns	0,2**	0,02	0,13
B	250,63ns	266,09ns	144,21ns	8377,7**	162,14	12,30
Fe	500,46ns	1795,18**	203,59ns	43401,1**	304,07	16,83
Zn	0,96ns	9,57*	1,62ns	44,4**	2,44	1,51
Mn	21190,32ns	162506,57**	22209ns	3945549,9**	22947,35	152,0

[1] Diferença mínima significativa pelo teste t (LSD) a 5% de significância; [2] nível de significância: ns: não significativo, *5% e **1%; Trat x Idade, interação tratamento x idade

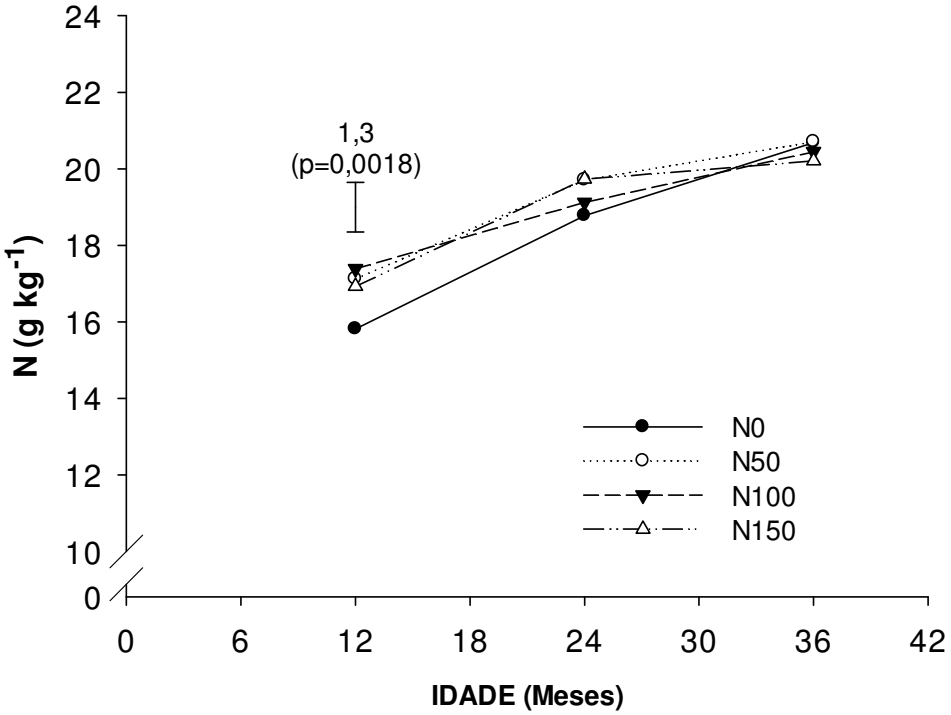

Figura 6 – Teor foliar de N em *E. grandis x urophylla* em resposta à fertilização nitrogenada e idade em RQ localizado em Ribas do Rio Pardo, MS. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste t.

4.1.1.3 Índice de área foliar

O tratamento N150 apresentou os maiores valores de IAF entre os 24 e 60 meses e, o tratamento N0, os menores (Figura 7). Aos 24 meses, o IAF para os tratamentos N0 e N150 foi semelhante, correspondendo a 4,1 e 4,2 m^2 m^{-2}, respectivamente. Aos 36 meses, os IAFs para os tratamentos N0 e N150 foram, respectivamente, de 3,6 e 3,8 m^2 m^{-2} e, de 3,2 e 3,5 m^2 m^{-2} aos 60 meses. Embora não tão expressivos quanto os ganhos percentuais em volume, os ganhos em IAF entre os 24 e 60 meses aumentaram com a dose de N aplicada. Em relação à idade, os valores de IAF diminuíram com o crescimento das árvores. Entre os 24 e 60 meses, os valores de IAF para o tratamento N0 decaíram em 0,9 m^2 m^{-2} e, em 0,7 m^2 m^{-2}, para o tratamento N150. Indicando um aumento na competição por água com diminuição na biomassa de folhas para diminuir as perdas por transpiração.

O maior decréscimo de IAF ocorreu aos 30 meses. A coleta realizada aos 24 meses foi realizada durante o período chuvoso, em Ribas do Rio Pardo e, a coleta aos 30 meses, durante a seca, no mês de junho. Variações sazonais também foram verificadas por Almeida *et al.*(2010b) ao avaliar o IAF em diferentes épocas do ano, para plantações clonais de *E.grandis x urophylla* próximas ao litoral, nos estados de Espirito Santo e Bahia. O período de coleta

dos dados podem ter influenciado a amplitude das diferenças entre os tratamentos, devido ao início do período de chuvas.

Em plantios de eucalipto submetidos a diferentes doses de fertilização nitrogenada na Austrália, apenas para os tratamentos em que incremento foi superior a 100% foram constatadas diferenças significativas nos valores de IAF (SMETHURST *et al.*, 2003).

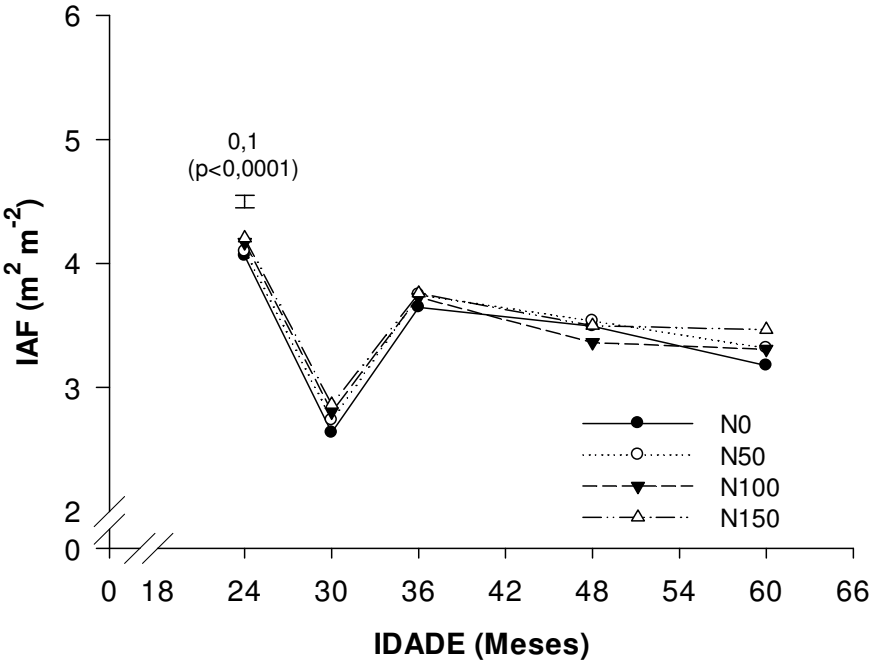

Figura 7 – Índice de Área Foliar (IAF) de *E. grandis x urophylla*, em resposta à fertilização com N e idade em RQ, Ribas do Rio Pardo, MS. As barras representam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t a 5% de significância

4.1.1.4 Crescimento das árvores

Aos 24 meses, não foi possível ajustar curvas de resposta com os valores de volume encontrados. As doses testadas não apresentaram relação com os volumes obtidos (Figura 8). A partir dos 36 meses, a dose para produção máxima foi de 97,7 kg ha^{-1} de N com produção de 63,5 m^3 ha^{-1}. Aos 48 meses, a dose para produção máxima foi de 86,3 kg ha^{-1} de N com produção de 119,0 m^3 ha^{-1} e, aos 60 meses, a dose foi de 83,8 kg ha^{-1} de N e a produção de 152,3 m^3 ha^{-1}. A dose para produção máxima decresceu com a idade, desde os 36 meses. Essa diminuição da resposta à fertilização nitrogenada está relacionada à limitação por outros fatores de crescimento, principalmente água e luz, devido à competição intraespecífica (GONÇALVES *et al.*, 2008). A maior exploração do solo pelas raízes com o desenvolvimento radicular e a ciclagem biogeoquímica também influenciam na diminuição das doses para a produção máxima (LACLAU et al., 2003; LACLAU et al., 2010).

Comparativamente, as doses recomendadas pelo método gráfico foram de 51,3 e 54,1 kg ha^{-1} de N, para os mesmos períodos. Isto significa que ao se buscar 95% da produção máxima, encontrada pelas análises de regressão, as doses recomendadas caíram em média 30 kg ha^{-1}, correspondendo à 60% da dose máxima encontrada com as equações obtidas a partir da análise de regressão.

Os ganhos em produtividade com a aplicação do tratamento N100 em comparação ao tratamento N0 foram crescentes. Aos 24 meses, os ganhos foram de 23%. Aos 36, 48 e 60 meses os ganhos corresponderam a 66, 40 e 60%, respectivamente (Figura 9). Diferentemente do que se verifica em plantações clonais de eucalipto, os ganhos com aplicação de N se mantiveram com a idade (GONÇALVES et al., 2008; PULITO, 2009). O incremento corrente anual (ICA) aos 60 meses para o tratamento N0 foi de 10,1 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e, de 34 m^3 ha^{-1} ano^{-1} para o tratamento N100. Estes resultados indicam um menor crescimento do tratamento N0 aos 60 meses. O elevado déficit hídrico presente na região de Ribas do Rio Pardo pode explicar a resposta continuada ao N. Este pode ter limitado o crescimento radicular e, consequentemente, a exploração radicular do solo, aumentando a dependência das plantas às doses de N aplicadas próximas a estas. Em experimento conduzido com dois clones de *E. globulus*, verificou-se que o mais resistente à seca apresentou crescimento radicular cerca de 30% maior (SILVA *et al.*, 2004). Chairungsee *et al.* (2013) verificaram que a taxa de elongação e o crescimento de raízes finas em *Hevea brasiliensis* está diretamente relacionado com a frequência e intensidade de chuvas. Durante os períodos mais secos do ano, a produção de raízes cessa, sendo retomada assim que se reinicia o período de chuvas. Em Ribas do Rio Pardo, o déficit hídrico anual é de 173 mm, com uma média de 5 meses de déficit hídrico por ano.

A comparação entre o uso de fontes alternativas de N na dose de 100 kg ha^{-1} apresentou resultados próximos entre os 24 e 60 meses (Figura 10). Aos 24 meses, a diferença de produtividade foi de 0,3 m^3 ha^{-1}, correspondendo a 2%. Aos 36 meses, o tratamento N100 (ureia) apresentou maior crescimento, sendo 13% maior que o tratamento N100. Aos 48 e 60 meses, a diferença em produtividade correspondeu a 2%, com a maior produção para o tratamento N100. De acordo com os resultados, o IEA para o tratamento N100 (ureia) foi inferior a 100% aos 24, 48 e 60 meses. Apenas aos 36 meses o resultado foi superior (Tabela 13). Assim, o nitrato de amônio foi mais eficiente que a ureia como fonte de N. Em termos de produtividade, a diferença correspondeu a 3,9 m^3 ha^{-1}, aos 60 meses. Estes resultados indicam a possibilidade em se utilizar fontes nitrogenadas à base de ureia para este local, sem grandes perdas de produtividade.

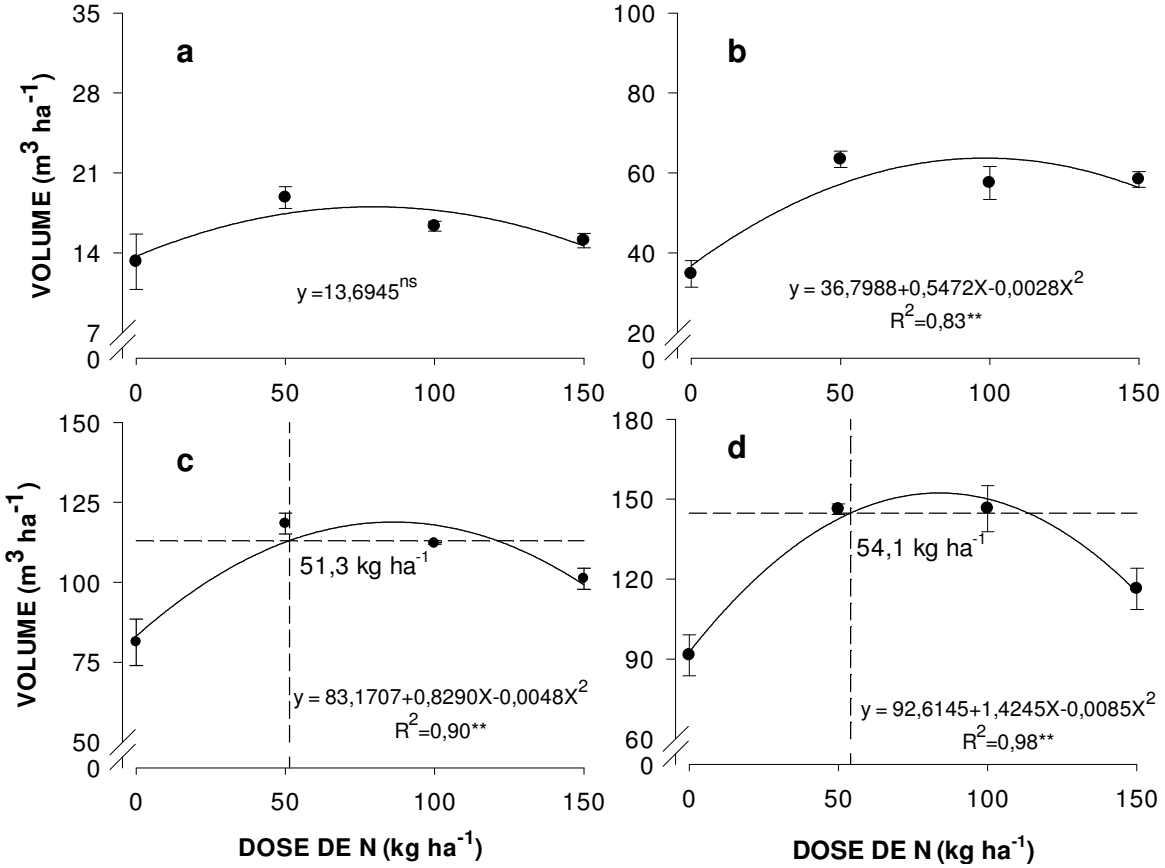

Figura 8 – Volume de madeira com casca do híbrido *E. grandis x E. urophylla* em função da idade e da dose de N aplicada em Neossolo Quartzarênico aos 24 meses (a), 36 meses (b), 48 meses (c) e 60 meses de idade (d), no município de Ribas do Rio Pardo. *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

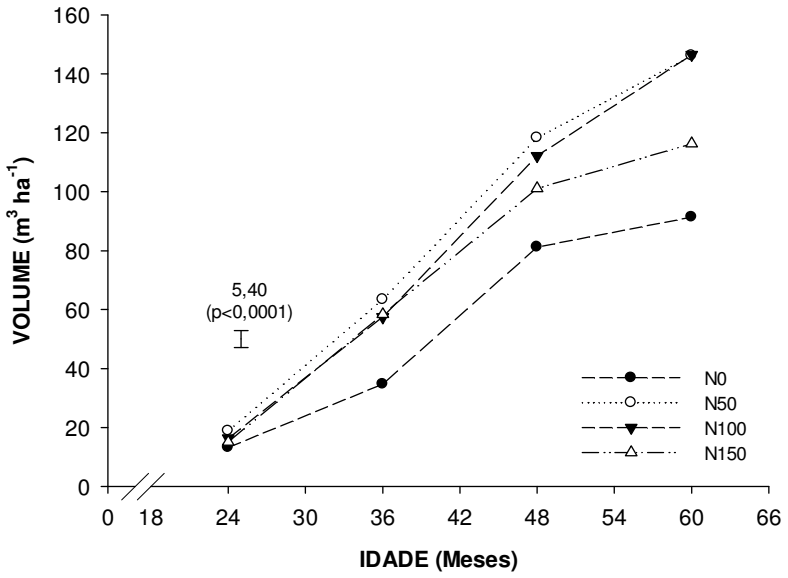

Figura 9 – Volume de madeira com casca do híbrido *E. grandis x E. urophylla* aos 24, 36, 48 e 60 meses de idade de acordo com a dose de N aplicada (kg ha^{-1}) em um RQ no município de Ribas do Rio Pardo, MS. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F

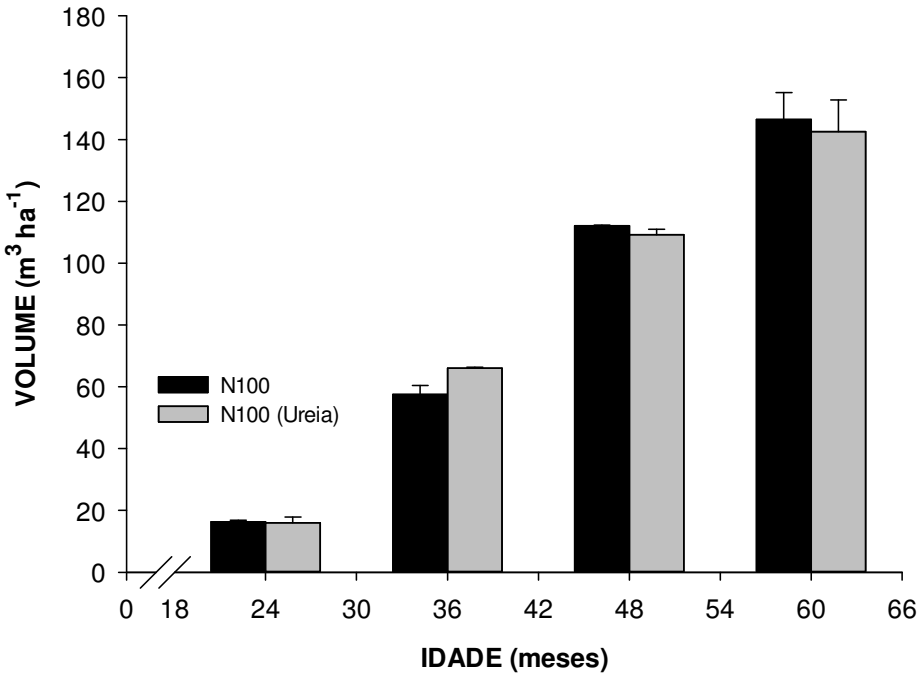

Figura 10 – Volume de madeira com casca do híbrido *E. grandis x urophylla* aos 24, 36, 48 e 60 meses após o plantio obtidos com a aplicação de duas fontes de N, nitrato de amônio e ureia, na dose de 100 kg ha^{-1}, em RQ, Ribas do Rio Pardo, MS

Tabela 13 – Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e Equivalente em Adubo Padrão (EqAP) para as fontes nitrogenadas, Nitrato de Amônio e Ureia aos 24, 36, 48 e 60 meses de idade em plantios de *E.grandis x urophylla*, em Ribas do Rio Pardo, MS

Idade	**N0**	**N100**	**N100(Ureia)**	**IEA**	**EqAP**
mês	———————	m^3 ha^{-1}	———————	——%	——
24	13,2	16,3	16,0	90,3	–
36	34,7	57,5	66,0	137,4	–
48	81,2	112,2	109,3	90,6	41,5
60	91,4	146,5	142,6	92,9	50,0

4.1.2 Mogi-Guaçu

4.1.2.1 Fertilidade do solo

Os teores de nutrientes e de MOS variaram de acordo com a idade (Tabela 14). A MOS aumentou para os tratamentos N0 e N100 na profundidade de 0-10cm entre 24 e 48 meses de idade. Aos 24 meses, o teor de MOS foi de 10,5 g dm^{-3} no tratamento N0 e 11 g dm^{-3} no tratamento N100, e, aos 48 meses, foi de 16,7 e 15,3 g dm^{-3}, respectivamente, para esses tratamentos. Na ocasião da instalação do experimento, o teor de MOS foi de 16,1 g dm^{-3}, próximo aos valores encontrados aos 48 meses para todos os tratamentos. Assim, houve diminuição nos teores de MOS até 24 meses e, a partir de então, houve aumento até atingir teores próximos aos encontrados durante a instalação do experimento. Estas alterações coincidem com o período de máximo IAF (entre os 24 e 36 meses), de máximo crescimento radicular e início do processo de deposição de serapilheira. O período de fechamento de copas e de máximo IAF ocorre próximo aos dois anos de idade, sendo que a partir de então tem início a competição por água e luz e o início da deposição de serapilheira (GONÇALVES, 2011). Este material depositado se mineraliza podendo elevar os teores de MOS, como verificado aos 48 meses de idade neste sítio e, em Ribas do Rio pardo, entre as mesmas idades.

As bases trocáveis Ca, Mg e K apresentaram diminuições em seus teores na camada de 20-40 cm entre os 24 e 48 meses nos tratamentos N0, N50, N100 e N100(Ureia) evidenciando absorção destes nutrientes pelas plantas. Parte das alterações verificadas pela aplicação de ureia podem ser atribuídas à diminuição do pH e à acidificação do solo, o que resulta na diminuição das bases trocáveis e aumento dos teores de Al^{3+} (CHEN *et al.*, 2013).A aplicação de ureia diminuiu os valores de pH nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Esta diminuição foi causada pelo processo de nitrificação de NH_4^+ a partir da ureia, o qual libera íons H^+ (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Embora o nitrato de amônio também apresente reações de nitrificação, maiores alterações no pH são esperadas para a ureia, pois esta contém potencialmente mais NH_4^+ responsável pela liberação de H^+ e acidificação do solo (MALAVOLTA, 2006).

Em plantações comerciais de *Citrus paradisi* MacFayden localizadas em Mount County, Florida, diminuições de 0,7 a 1,7 unidades em pH foram verificadas com a aplicação de doses de 120 kg ha^{-1} de ureia. Resultados semelhantes foram apresentados por diversos autores (BOUMAN *et al.*, 1995; COSTA *et al.*, 2008; NEILSEN, NEILSEN; HERBERT, 2009; JIANG; CAO; ZHANG, 2014).

Tabela 14 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de N em plantações de *E.urophylla x globulus*, em Mogi-Guaçu, SP

Dose de N	MOS					pH					P					K					Ca					Mg				
	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]
kg ha^{-1}	g dm^{-3}										mg dm^{-3}					mmol$_c$ dm^{-3}														
0-10 cm																														
0	11,0	1,7	15,0	1,2	**2,5**	6,0	0,5	5,1	0,4	**ns**	4,3	0,9	5,3	0,9	**ns**	0,4	0,0	0,4	0,0	**ns**	33,7	8,8	21,0	4,6	**ns**	5,7	2,0	7,0	1,2	**ns**
50	10,3	1,2	14,3	1,3	**ns**	5,2	0,1	5,3	0,5	**ns**	5,3	1,2	6,3	1,5	**ns**	0,4	0,2	0,5	0,1	**ns**	23,7	4,9	29,0	9,5	**ns**	5,7	1,9	7,0	1,5	**ns**
100	10,3	1,2	14,0	1,0	**ns**	5,6	0,4	4,6	0,1	**ns**	6,0	1,5	4,7	0,3	**ns**	0,3	0,1	0,5	0,1	**ns**	25,0	5,0	17,0	3,5	**ns**	5,3	0,3	6,7	1,3	**ns**
150	11,0	1,0	14,0	1,0	**ns**	5,2	0,1	5,2	0,4	**ns**	6,3	2,0	8,0	3,1	**ns**	0,6	0,1	0,5	0,1	**ns**	34,3	13,9	30,0	9,0	**ns**	4,7	0,3	6,7	0,7	**ns**
DMS[2]	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
100(Ureia)	11,3	1,8	12,7	1,8	**ns**	5,6	0,3	4,7	0,0	**ns**	2,7	0,3	3,7	0,3	**ns**	0,7	0,3	0,4	0,1	**ns**	29,0	5,5	21,3	1,9	**ns**	6,3	1,7	5,7	0,9	**ns**
10-20 cm																														
0	8,3	1,5	12,3	1,9	**2,5**	5,1	0,4	4,7	0,4	**ns**	3,7	0,3	4,7	0,3	**ns**	0,3	0,0	0,4	0,1	**ns**	18,0	7,0	14,7	5,8	**ns**	4,7	0,7	5,3	0,7	**ns**
50	9,7	0,7	13,0	1,2	**ns**	5,2	0,3	5,4	0,6	**ns**	4,7	1,5	5,7	1,2	**ns**	0,4	0,1	0,5	0,0	**ns**	26,3	6,7	31,3	13,0	**ns**	5,7	0,9	6,3	0,9	**ns**
100	12,3	1,9	11,0	0,6	**ns**	5,6	0,4	4,4	0,1	**ns**	4,3	0,7	4,3	0,3	**ns**	0,4	0,1	0,4	0,1	**ns**	20,7	4,4	14,7	5,7	**ns**	5,0	1,2	4,7	0,3	**ns**
150	10,0	0,6	12,0	0,6	**ns**	5,6	0,5	4,7	0,3	**ns**	3,0	1,0	3,3	0,3	**ns**	0,3	0,0	0,4	0,0	**ns**	21,3	1,3	19,0	7,5	**ns**	3,7	0,3	4,7	0,3	**ns**
DMS[2]	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**2,2**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
100(Ureia)	9,7	0,9	9,3	0,9	**ns**	5,4	0,2	4,3	0,1	**ns**	2,0	0,0	3,0	0,6	**ns**	0,8	0,5	0,3	0,1	**ns**	14,3	1,5	10,0	2,0	**ns**	7,0	0,6	3,0	0,0	**ns**
20-40 cm																														
0	8,0	1,0	9,7	1,5	**ns**	4,8	0,1	4,4	0,2	**ns**	3,7	2,2	3,3	0,7	**ns**	0,3	0,0	0,3	0,1	**ns**	16,3	3,7	11,3	1,8	**ns**	3,3	0,3	3,3	0,7	**ns**
50	7,0	1,0	9,3	0,7	**ns**	4,9	0,5	4,8	0,5	**ns**	2,7	0,3	3,3	0,3	**ns**	0,3	0,1	0,3	0,1	**ns**	20,3	11,7	17,7	9,9	**ns**	4,0	0,0	4,7	0,7	**ns**
100	9,0	1,5	8,3	0,3	**ns**	5,1	0,2	4,1	0,1	**0,9**	2,7	0,3	3,0	0,0	**ns**	0,3	0,1	0,2	0,0	**ns**	10,3	0,3	7,3	1,3	**ns**	3,7	0,3	2,7	0,3	**ns**
150	8,0	0,6	9,3	0,7	**ns**	5,6	0,5	4,6	0,5	**ns**	2,7	0,3	7,0	1,7	**ns**	0,3	0,0	0,3	0,0	**ns**	11,3	4,3	13,3	8,3	**ns**	2,7	0,3	3,0	1,0	**ns**
DMS[2]	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**3,5**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**1,1**		**ns**		
100(Ureia)	8,3	0,7	7,7	1,8	**ns**	5,1	0,1	4,2	0,0	**ns**	1,3	0,3	1,7	0,7	**ns**	0,4	0,1	0,1	0,0	**ns**	15,3	1,8	4,7	0,9	**ns**	4,0	0,6	2,3	0,3	**ns**

[1] ; significância a 5% pelo teste t (LSD) para a variação do atributo entre as idades;[2] significância a 5% pelo teste t (LSD) entre os tratamentos em uma mesma idade. MOS, extraído por via úmida; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K extraídos pelo método da resina trocadora de íons; P, determinado por colorimetria; K, determinado por fotometria de chama; Ca e Mg, determinados por espectofotometria de absorção atômica.

4.1.2.2 Estado nutricional

Os teores foliares dos nutrientes, com exceção de Zn, variaram devido à idade ($p<0,05$) para todas as doses de N aplicadas (Tabela 15). Os teores de Mg e S dos micronutrientes, com exceção de Zn, apresentaram diferença entre blocos ($p<0,01$). Estas diferenças podem ser atribuídas aos baixos teores destes nutrientes nas plantas e desta forma sendo mais sensíveis às variações nutricionais do solo.

Com exceção do Mn, os teores foliares dos nutrientes não variaram com o aumento das doses de N ($p<0,05$). Os maiores teores de N foram verificados aos 12 meses de idade, atingindo valores de 26,9 g kg^{-1} (Figura 11). A diminuição no teor de N com a idade se deve ao efeito de diluição, pois houve rápido crescimento das plantas após esta idade. O volume de madeira acumulado aos 12 meses foi de 1,6 m^3 ha^{-1} e, aos 24 meses, correspondeu a 48,5 m^3 ha^{-1}. De acordo com determinações da biomassa de compartimentos aéreos em experimento conduzido por Laclau et al. (2003), a participação das folhas na massa total da árvore diminui com a idade. Ao final do primeiro ano, 30% da massa total das árvores é representado por tecido foliar e, aos 4 anos, 15% da massa total (LACLAU *et al.*, 2003). Estes resultados indicam maior representatividade dos compartimentos tronco, casca e raízes, e consequentemente, maior demanda pelos nutrientes armazenados nas folhas. Os teores de N aos 24 e 36 meses pós-plantio variaram entre 12,2 e 16,4 g kg^{-1}, abaixo dos valores encontrados em trabalhos realizados com *E. grandis* (LEITE *et al.*, 2011; FERRAZ, 2013; ROCHA, 2014) e próximos aos valores encontrados em trabalhos realizados com *E. urophylla x grandis* (COSTA et al., 2012; FREITAG, 2013) e *E. globulus* (BENNETT, WESTON; ATTIWILL, 1997; MERINO *et al.*, 2003).

Apesar de ter sido verificado ganhos volumétricos de madeira próximos a 20% com a aplicação de N neste trabalho, variações modestas no teor de N nas folhas foram verificadas. Estes resultados se assemelham àqueles encontrados por Bennett, Weston e Attiwill (1997), Pulito (2009), Jesus *et al*. (2012), e Ferreira (2013). Assim, o teor de N nas folhas não teve boa relação com os ganhos volumétricos.

Tabela 15 – Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn foliares em híbrido de *Eucalyptus urophylla x globulus* aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade, em resposta à fertilização nitrogenada em LVA localizado em Mogi-Guaçu, SP

Fonte de Variação	Tratamento	Bloco	Trat x Idade	Idade	Resíduo	LSD[1]
GL	4	3	12	3	42	
			Quadrado Médio[2]			
N	5,66ns	5,96ns	4,75ns	409,28**	7,07	2,1
P	0,03ns	0,02ns	0,02ns	1,59**	0,01	0,1
K	0,80ns	2,55ns	2,16ns	95,63**	1,13	0,8
Ca	0,03ns	3,09ns	1,06ns	6,09**	1,24	0,9
Mg	0,03ns	0,19**	0,05ns	1,84**	0,04	0,2
S	0,05ns	0,52**	0,052ns	6,74**	0,09	0,2
B	43,24ns	400,81**	48,93ns	1285,08**	52,9	5,7
Fe	179,07ns	722,08**	277,07**	10741,11**	91,23	7,6
Zn	506,87ns	1359,59ns	732,93ns	1482,29ns	617,32	19,7
Mn	10657,85*	12862,50*	2868,50ns	36406,11**	3557,94	47,2

[1] Diferença mínima significativa pelo teste t (LSD) a 5% de significância; [2] nível de significância: ns: não significativo, *5% e **1%; Trat x Idade, interação tratamento x idade

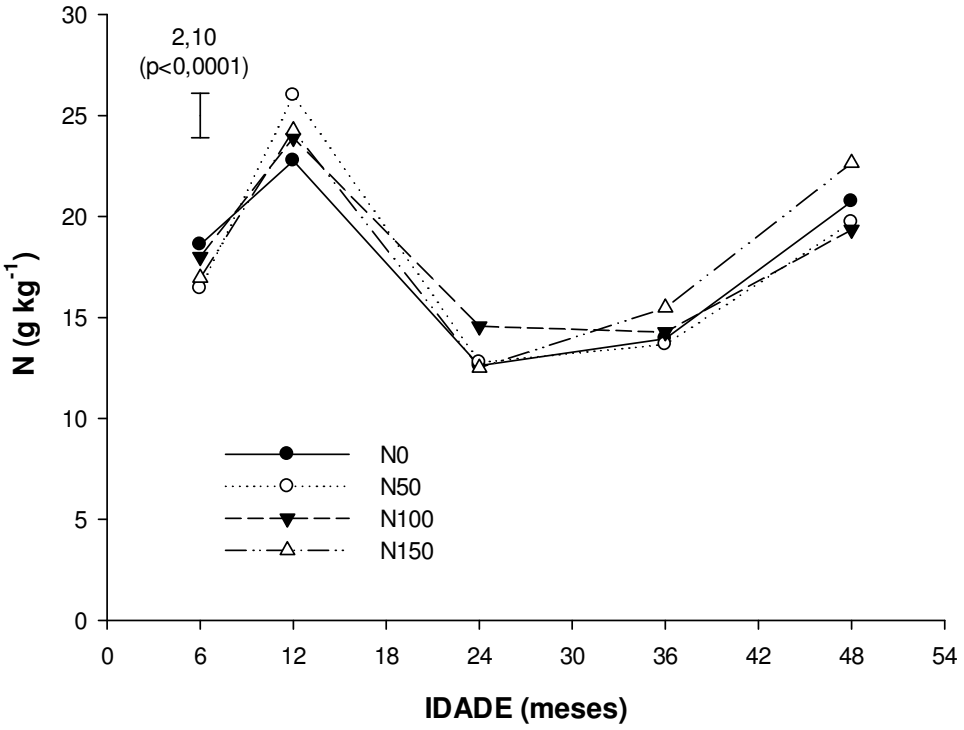

Figura 11 – Teor foliar de N em *E. urophylla x globulus* em resposta à fertilização nitrogenada e idade em LVA localizado em Mogi-Guaçu, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD

4.1.2.3 Índice de área foliar

Os maiores valores do IAF foram encontrados na idade de 30 meses (Figura 12). Numericamente, os maiores valores foram verificados para os tratamentos N100(Ureia) e N150. As diferenças de IAF encontradas variaram de 2 a 10% entre o N0 e o N150 durante o período avaliado, sendo significativas aos 36 e 48 meses de idade. O tratamento N150 apresentou IAF igual a 3,57 e 3,38 m^2 m^{-2} e, o tratamento N0, valores iguais a 3,22 e 3,03 m^2 m^{-2}, aos 36 e 48 meses, respectivamente. O tratamento N0 apresentou o menor IAF em todos os tempos.

A diferença de IAF verificada aos 48 meses entre os tratamentos N0 e N150 correspondeu a 12%, enquanto que a diferença em volume de madeira foi de 14,2%. Essas variações foram próximas às verificadas em parcelas gêmeas instaladas em plantações de *E.grandis e E. grandis x urophylla* na região de Luís Antônio, SP (SILVA, 2011). O autor verificou variações próximas a 10% no IAF entre parcelas com e sem fertilização e, 16% no volume de madeira aos 4 anos. Esses resultados reforçam a utilização do IAF como variável indicativa da disponibilidade de N no solo (SMETHURST *et al.*, 2003; MONTE *et al.*, 2007; LE MAIRE *et al.*, 2012).

Após os 24 meses de idade, pequenas variações no IAF foram verificadas, com modestos decréscimos anuais para os tratamentos N0, N50 e N100, indicando equilíbrio dinâmico a partir desta idade. Resultados semelhantes foram encontrados em plantações de *E. globulus* e *E. nitens* depois dos 3 anos de idade, na Austrália, com a estabilização do IAF após esta idade (HINGSTON; GALBRAITH; DIMMOCK, 1998; SMETHURST *et al.*, 2003).

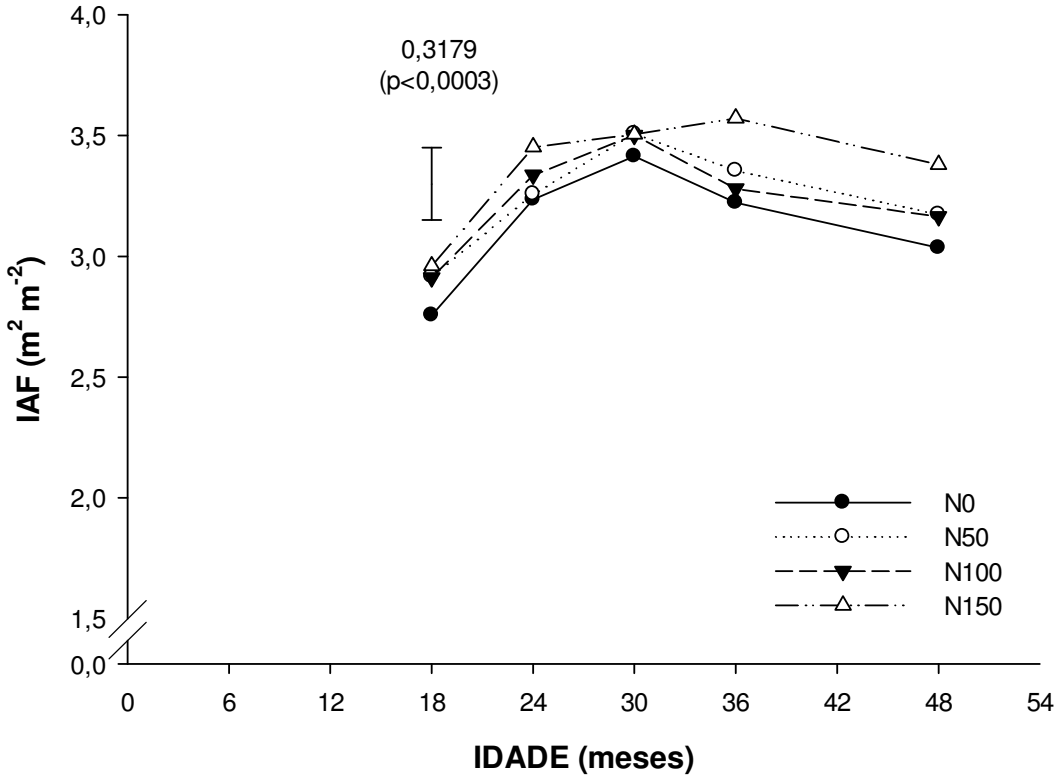

Figura 12 – Índice de Área Foliar (IAF) de *E. urophylla x globulus*, em resposta à fertilização com N e a idade das plantas, em LVA localizado em Mogi-Guaçu, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância

4.1.2.4 Crescimento das árvores

A aplicação de doses crescentes de N resultou em ganhos no volume de madeira com casca durante todo o período avaliado (Figura 13). Aos 24 meses após o plantio, a curva de resposta se ajustou em um modelo de segundo grau, com produção máxima para a dose de 105 kg ha^{-1} de N. Aos 36 e 48 meses, a resposta foi linear. Aos 18 meses, a produtividade do tratamento N0 foi de 22 m^3 ha^{-1} e, para o tratamento N150, 26,4 m^3 ha^{-1} (Figura 14). Aos 48 meses, o volume de madeira produzido pelo tratamento N0 foi de 121,66 m^3 ha^{-1} e, 139,0 m^3 ha^{-1}, para o tratamento N150. O ajuste em um modelo de segundo grau aos 24 meses pode ser atribuído à variação do tratamento N150, com maior erro padrão deslocando a média para baixo e resultando no ajuste de segundo grau.

Na Austrália, ganhos superiores a 100% sobre o volume de madeira produzido aos seis anos com *E.globulus* foram verificados ao se testar o efeito da aplicação de doses crescentes de N, em três sítios na região de Gippsland (JUDD *et al.*, 1996). As regiões apresentavam precipitação pluviométrica anual variando entre 620 e 1000 mm e textura de solo variando entre argilosa e arenosa, caráter distrófico e teor de N total entre 0,07 e 0,3%. No Brasil, o *E.*

globulus é pouco plantado, sem experimentos sobre calibração de doses de N para esta espécie. Em plantações clonais de *E. urophylla* localizadas na região de Itamarandiba, MG, cultivadas em LVA textura muito argilosa, ganhos de até 50% em produtividade aos 3 anos após o plantio foram constatados, com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de sulfato de amônio (JESUS *et al.*,2012). Este autor atribuiu os ganhos a menor taxa de mineralização durante os primeiros anos da floresta e ao elevado teor de argila oxídica no solo, mais pobre e com menor capacidade de retenção de cargas, limitando a retenção de cátions, como o NH_4^+.

Respostas do eucalipto à fertilização nitrogenada são pouco comuns em solos brasileiros (DONALD; SCHULTZ, 1997; GONÇALVES *et al.*, 2008; LACLAU *et al.*, 2008). Pulito (2009) realizou estudos para avaliar a resposta à fertilização nitrogenada em Latossolos, Neossolos e Argissolos de texturas variando entre arenosa e muito argilosa em nove municípios no estado de São Paulo. A autora verificou ganhos de produtividade até os dois anos de idade. A partir desta idade os ganhos de produtividade se extinguiram rapidamente. Os resultados foram atribuídos ao teor de N disponível no solo e à ciclagem de nutrientes. Com o desenvolvimento do povoamento este teve maior acesso aos estoques de N-disponível no solo, devido à expansão do sistema radicular.

Por meio do método gráfico, a dose recomendada aos 48 meses foi de 96 kg ha^{-1}, obtendo 95% da produção atingida por meio da dose de 150 kg ha^{-1} e representando uma diminuição de 54 kg ha^{-1} de N ou, cerca de 33%.

A utilização de ureia como fonte alternativa de N apresentou respostas similares ao nitrato de amônio para a dose de 100 kg ha^{-1} em todos os tempos de avaliação (Figura 15). Esses resultados divergem de outros estudos comparativos de fontes nitrogenadas para culturas agrícolas, nos quais a produtividade com ureia foi inferior às demais fontes, como o nitrato de amônio e o sulfato de amônio (PRIMAVESI *et al.*, 2005; HAFEZ; KOBATA, 2012; GORDON, 2014), nos quais ambos fertilizantes foram aplicados em cobertura. Estes efeitos foram atribuídos à volatilização da amônia, resultante da hidrólise da ureia sob condições de altas temperaturas e umidade do solo. Em plantios de milho no Kansas, diversas fontes nitrogenadas foram testadas, dentre elas ureia e nitrato de amônio. As menores produtividades independentemente da dose se deram para os tratamentos à base de ureia. Estes resultados foram atribuídos à aplicação em cobertura da ureia que expôs o fertilizante a temperaturas mais elevadas e ao período sem chuvas após a instalação do experimento (GORDON, 2014).

Neste experimento, a equivalência de efeito entre as fontes nitrogenadas pode ser atribuída à época de aplicação, realizada no mês de fevereiro, com precipitação pluviométrica média de 200 mm. Elevados níveis de precipitação pluviométrica como estes aceleram a percolação da amônia gerada a partir da ureia, incorporando-as ao solo e diminuindo assim as perdas por volatilização (HEILMAN *et al*., 1981). A manutenção dos resíduos e a umidade do solo podem ter diminuído a temperatura na superfície do solo, diminuindo a volatilização do fertilizante.

O IEA calculado aos 18 meses foi de 138,4%, indicando que os ganhos com aplicação de ureia foram superiores aos ganhos com nitrato de amônio (Tabela 16). O EqAP foi igual a 118%. Aos 24 meses de idade, o IEA foi de 102%. Não foi possível estimar o EqAP nesta idade. Dois anos depois, o IEA foi de 56,1% e, o EqAP, 77%. Assim, até os 36 meses de idade, a ureia apresentou maiores produtividades que o nitrato de amônio (NA). Aos 48 meses, a maior produtividade foi obtida com o uso do nitrato de amônio. Esta diferença pode estar relacionada à quebra de árvores dentro da parcela útil e à ocorrência de percevejo bronzeado na área dos experimento, introduzindo fatores de variação não controláveis.

O incremento médio anual do *E. urophylla x globulus* foi de aproximadamente 30 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, bem inferior ao IMA médio nacional para plantações de eucalipto, equivalente a 43,1 m^3 ha^{-1} ano^{-1} (ABRAF, 2013). Esta menor produtividade pode ser atribuída à hibridação com *E. globulus,* normalmente, de menor capacidade produtiva que materiais genéticos como *E. grandis, E. urophylla* e o híbrido *E. grandis x urophylla,* amplamente plantados no Brasil (SANTOS; ASSIS; STAHL, 2008). A adaptação do clone à região também pode ter limitado o potencial produtivo do material clonal, sendo o E.globulus plantados em regiões de clima mais ameno, com menores temperaturas médias anuais, assim como na Argentina e Portugal.

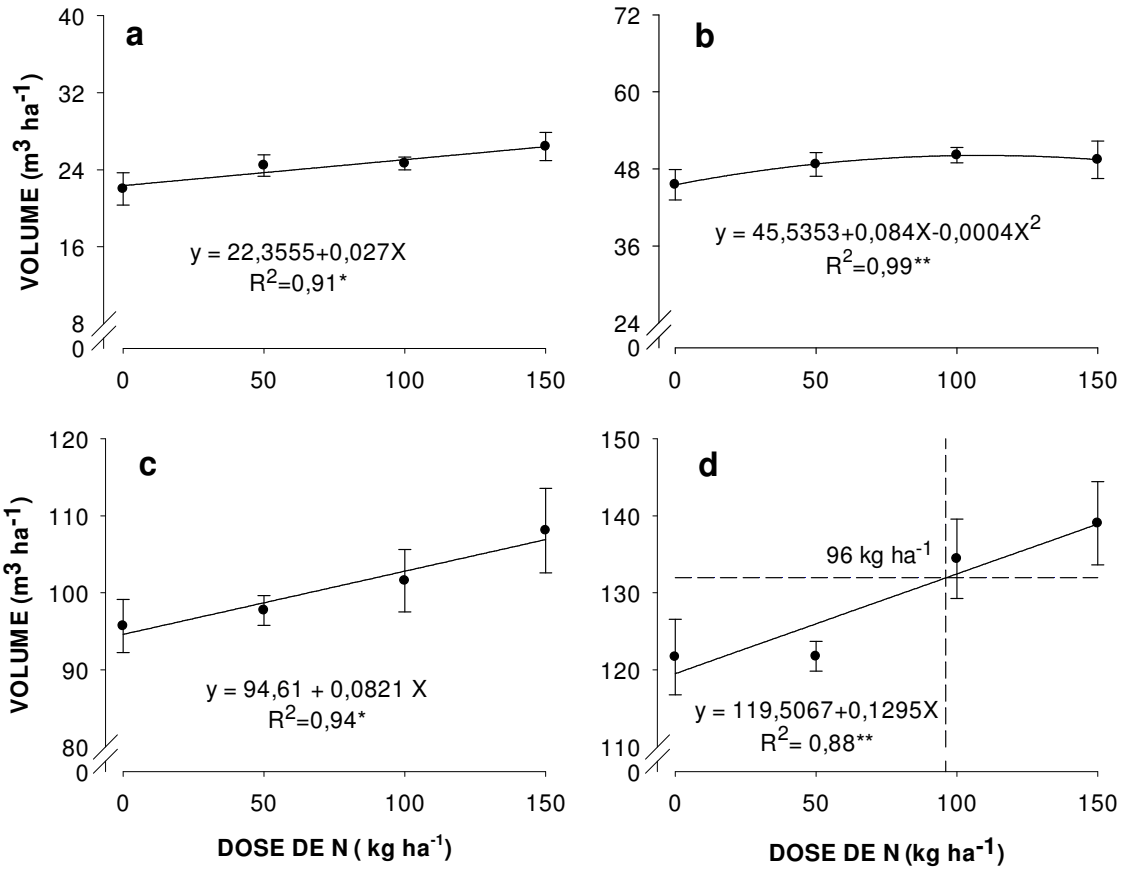

Figura 13 – Volume de madeira com casca em função da idade e da dose de N aplicada em LVAd aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c) e 48 meses (d), Mogi-Guaçu, SP. *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

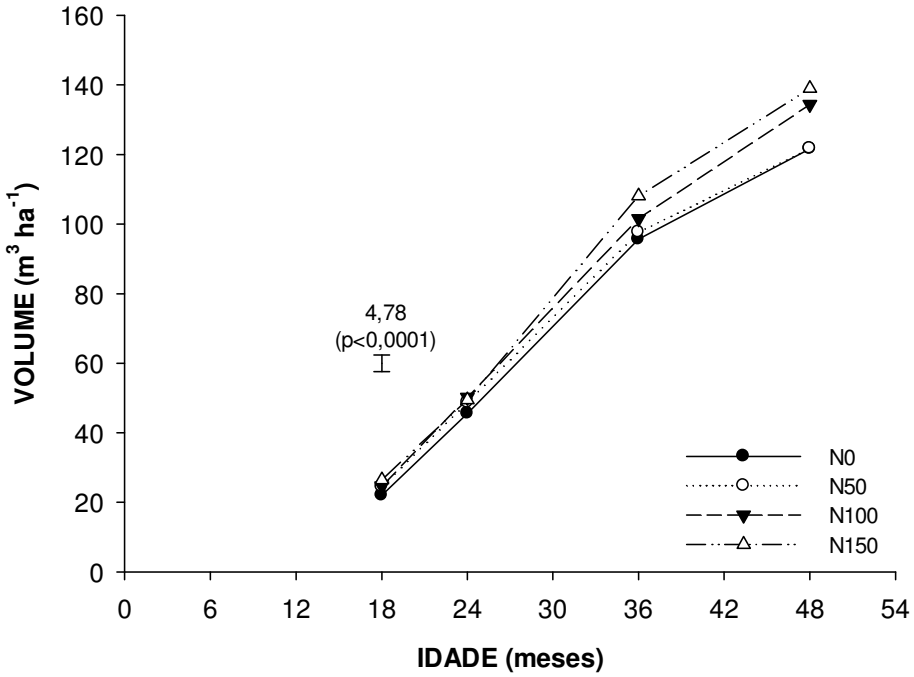

Figura 14 – Volume de madeira com casca aos 18, 24, 36 e 48 meses de idade de acordo com a dose de N aplicada (kg ha^{-1}) em um LVA, Mogi-Guaçu, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F

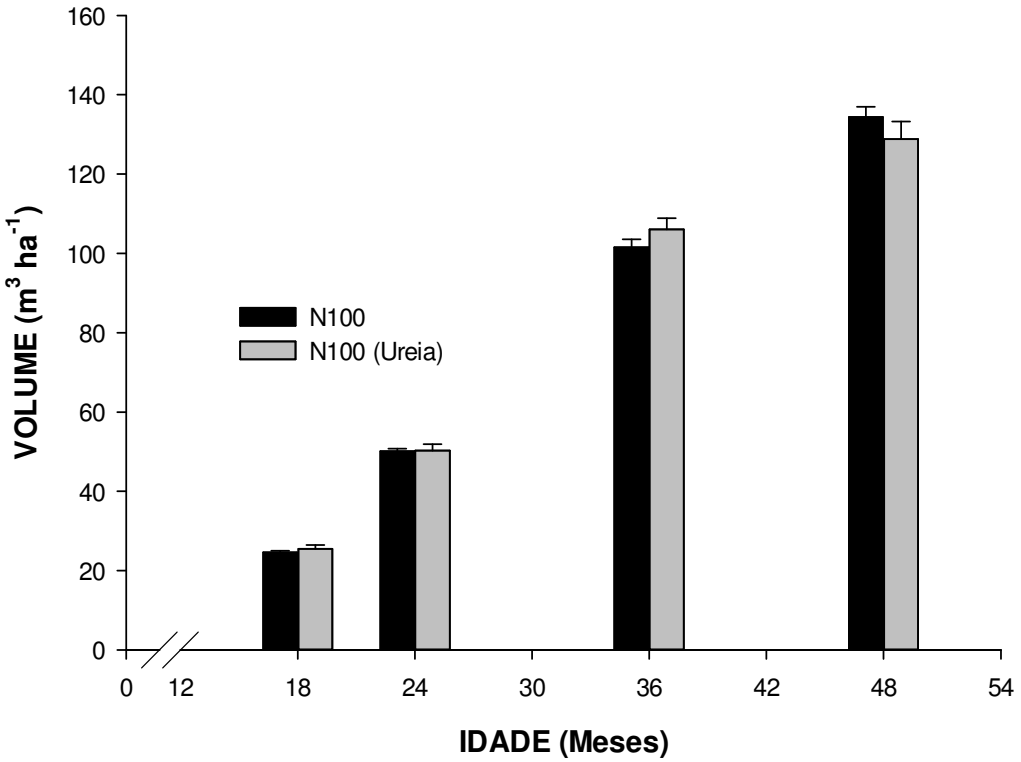

Figura 15 – Volume de madeira com casca aos 18, 24, 36 e 48 meses pós plantio obtidos com a aplicação de duas fontes de N, Nitrato de Amônio e Ureia, na dose de 100 kg ha^{-1}, em LVA, Mogi-Guaçu, SP

Tabela 16 – Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e Equivalente em Adubo Padrão (EqAP) para a as fontes nitrogenadas, Nitrato de Amônio(NA) e Ureia aos 18, 24, 36 e 48 meses de idade em plantios de *E. urophylla x globulus,* em LVA, localizados em Mogi-Guaçu, SP

Idade	**N0(NA)**	**N100(NA)**	**N100(Ureia)**	**IEA**	**EqAP**
meses	———————	m^3 ha^{-1}	———————	——%	——
18	22,0	24,6	25,6	138,4	118,4
24	45,6	50,1	50,3	102,9	–
36	95,7	101,6	106,0	176,0	139,1
48	121,7	134,4	128,8	56,1	77

4.1.3 Luís Antônio

4.1.3.1 Fertilidade do solo

Não houve relação entre as doses de N aplicadas e os teores de MOS (Tabela 17). A modesta variação nos teores de MOS se assemelha aos resultados obtidos em plantações de *E. grandis* submetidas a doses crescentes de K, que embora tenham apresentado ganhos de até 101% em volume de madeira aos 3 anos, não apresentaram variações nos teores de MOS para as camadas de 5-10, 10-20 e 20-40 cm (ALMEIDA, 2009). De modo geral, pode-se perceber que os teores de nutrientes aplicados via fertilização não são suficientes para aumentar os teores dos nutrientes no solo.

Assim, como os teores de MOS, os valores de pH apresentaram pequenas variações entre os 24 e 48 meses, variando em média 0,2 unidades para as camadas de 0-10 cm. O tratamento N100 apresentou diferenças significativas para as camadas de 10-20 e 20-40 cm e, o tratamento N50, variações na camada de 10-20 cm.

Os teores de P no solo apresentaram variações aos 48 meses nas três camadas de solo avaliadas, mas não houve relação com as doses de N aplicadas. Considerados médio a altos, os teores de P foram superiores a 6 mg dm^{-3} indicando teor adequado ao desenvolvimento das plantas (GONÇALVES, 2011).

As bases trocáveis, K, Ca e Mg sofreram pequenas variações entre os 24 e 48 meses (Tabela 17). Os teores de K foram em média inferiores a 0,5 $mmol_c$ dm^{-3}, enquanto que os teores de Mg variaram entre 4 e 5 $mmol_c$ dm^{-3} e, os teores de Ca, iguais a 20 $mmol_c$ dm^{-3}. De acordo com Gonçalves (2011), estes teores podem ser considerados de alta, média e baixa ou nula resposta potencial à fertilização para plantações de eucalipto, respectivamente (GONÇALVES, 2011).

Tabela 17 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de N em plantações de *E.urophylla x globulus*, em RQ, Luís Antônio, SP

	MOS					pH					P					K					Ca					Mg				
Dose de N	24m		48m		**DMS[1]**	24m		48m		**DMS[1]**	24m		48m		**DMS[1]**	24m		48m		**DMS[1]**	24m		48m		**DMS[1]**	24m		48m		**DMS[1]**
kg ha^{-1}	g dm^{-3}										mg dm^{-3}					mmol$_c$ dm^{-3}														
															0-10 cm															
0	18,0	1,7	16,0	0,6	**ns**	5,0	0,1	4,8	0,2	**ns**	6,0	0,8	6,0	0,5	**ns**	0,6	0,0	0,6	0,1	**0,2**	22,7	0,9	23,0	3,8	**ns**	4,7	0,3	4,3	0,3	**ns**
50	21,7	3,2	21,3	1,3	**ns**	5,0	0,1	4,7	0,1	**ns**	8,7	0,7	9,3	1,1	**ns**	0,4	0,1	0,4	0,1	**0,1**	23,3	1,9	23,3	3,4	**ns**	4,7	0,7	4,7	0,7	**ns**
100	21,7	2,0	20,0	1,0	**ns**	5,1	0,0	4,9	0,1	**ns**	8,0	0,0	8,3	0,3	**ns**	0,5	0,1	0,5	0,1	**ns**	21,7	1,5	20,0	2,3	**ns**	4,7	0,7	4,3	0,3	**ns**
150	18,3	2,6	18,7	1,2	**3,3**	4,8	0,2	4,8	0,2	**ns**	6,3	0,3	7,0	0,5	**ns**	0,5	0,1	0,5	0,1	**ns**	24,0	4,7	22,0	3,6	**ns**	5,0	1,2	5,0	0,6	**ns**
DMS[2]	**ns**		**3,2**			**ns**		**ns**			**ns**		**2,8**			**0,2**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
100(Ureia)	17,3	2,9	17,3	0,3	**ns**	5,1	0,2	4,8	0,2	**ns**	7,7	1,5	8,7	0,7	**ns**	0,4	0,0	0,4	0,0	**0,2**	19,7	2,3	20,0	2,9	**ns**	4,3	0,3	5,3	0,7	**ns**
															10-20 cm															
0	17,3	2,9	17,3	0,3	**ns**	5,1	0,2	4,8	0,2	**ns**	7,7	1,5	8,7	0,7	**ns**	0,4	0,0	0,4	0,0	**0,2**	19,7	2,3	20,0	2,9	**ns**	4,3	0,3	5,3	0,7	**ns**
50	14,3	1,2	14,0	1,6	**ns**	5,0	0,1	4,7	0,2	**0,3**	4,7	0,7	5,0	0,5	**ns**	0,5	0,0	0,5	0,1	**ns**	19,7	1,2	20,0	1,5	**ns**	4,0	0,6	4,3	0,7	**ns**
100	16,3	0,7	15,3	1,5	**ns**	5,0	0,1	4,6	0,1	**0,2**	4,7	0,3	5,0	0,8	**ns**	0,4	0,1	0,4	0,1	**ns**	20,0	2,1	17,0	2,9	**ns**	4,0	0,6	4,7	0,3	**ns**
150	18,7	1,7	16,7	0,3	**ns**	5,1	0,1	4,6	0,1	**ns**	6,7	0,5	8,0	0,8	**ns**	0,5	0,2	0,5	0,1	**0,2**	20,7	2,4	20,0	2,0	**ns**	3,7	1,2	3,7	0,3	**ns**
DMS[2]	**ns**		**2,7**			**ns**		**ns**			**1,6**		**2,2**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**1,1**		
100(Ureia)	18,0	4,2	17,0	2,5	**ns**	5,0	0,2	4,9	0,3	**ns**	6,3	0,5	6,7	0,3	**ns**	0,4	0,1	0,5	0,1	**ns**	18,7	3,3	19,7	4,8	**ns**	3,7	0,3	5,3	0,7	**ns**
															20-40 cm															
0	18,0	4,2	17,0	2,5	**ns**	5,0	0,2	4,9	0,3	**ns**	6,3	0,5	6,7	0,3	**ns**	0,4	0,1	0,5	0,1	**ns**	18,7	3,3	19,7	4,8	**ns**	3,7	0,3	5,3	0,7	**1,2**
50	14,0	0,6	11,0	0,0	**ns**	4,9	0,1	4,7	0,1	**ns**	4,7	0,3	5,3	0,3	**ns**	0,3	0,0	0,4	0,1	**ns**	15,5	2,0	16,7	0,7	**ns**	5,7	1,5	3,7	0,3	**ns**
100	15,3	1,3	11,3	0,7	**ns**	4,9	0,1	4,7	0,2	**0,3**	6,0	1,2	6,7	1,0	**3,1**	0,4	0,1	0,4	0,2	**ns**	16,0	3,0	12,0	3,1	**ns**	4,0	0,6	2,7	0,3	**ns**
150	14,0	2,0	13,0	1,0	**ns**	4,8	0,1	4,7	0,3	**ns**	5,0	0,5	5,0	0,0	**ns**	0,4	0,0	0,4	0,1	**ns**	16,3	1,5	14,3	1,5	**ns**	3,7	0,3	3,0	0,6	**1,2**
DMS[2]	**ns**		**3,9**			**ns**		**ns**			**ns**		**2,2**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
100(Ureia)	14,0	1,7	15,3	2,9	**ns**	4,8	0,1	4,6	0,1	**ns**	4,7	0,7	8,0	0,8	**ns**	0,4	0,1	0,5	0,1	**ns**	14,3	2,9	15,3	5,2	**ns**	3,7	0,7	2,7	0,3	**ns**

[1] ; significância a 5% pelo teste t (LSD) para a variação do atributo entre as idades;[2] significância a 5% pelo teste t (LSD) entre os tratamentos em uma mesma idade. MOS, extraído por via úmida; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K extraídos pelo método da resina trocadora de íons; P, determinado por colorimetria; K, determinado por fotometria de chama; Ca e Mg, determinados por espectofotometria de absorção atômica.

4.1.3.2 Estado nutricional

Os teores dos macronutrientes, N, P, Ca, Mg e S e dos micronutrientes, B, Zn e Mn diminuiram com a idade, indicando o efeito de diluição com o crescimento volumétrico da floresta (Tabela 18). Estes resultados foram similares aos encontrados em plantações clonais de eucalipto no Congo e no Brasil, nos quais foram verificadas diminuições nos teores de N, P, K, Ca e Mg e aumento na eficiência de uso destes nutrientes com o desenvolvimento da floresta (LACLAU; BOUILLET; RANGER, 2000; LACLAU *et al.*, 2003).

Não foi possível estabelecer relação entre as doses de N aplicadas e os teores do nutriente nas folhas. Estes resultados se assemelham àqueles verificados em outros estudos com aplicação de doses de N em plantações clonais de eucalipto no Brasil (DE JESUS *et al.*, 2012; PULITO *et al*, no prelo).

O teor foliar de N aumentou até os 12 meses, devido ao parcelamento das doses aplicadas e, depois, diminuiu para todos os tratamentos. Os teores de N foram de 17,1 e 16,9 g kg^{-1} aos 6 meses, de 20,7 e 21,2 g kg^{-1} aos 12 meses e, de 15,0 e 16,2 g kg^{-1} aos 36 meses para os tratamentos N0 e N150, respectivamente. Com exceção dos resultados obtidos aos 12 meses, os teores foliares de N estiveram abaixo da faixa recomendada (GONÇALVES, 2011).

Tabela 18 - Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn em híbrido de *Eucalyptus urophylla x globulus* aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade em resposta à fertilização nitrogenada em RQ em Luis Antônio, SP

Fonte de Variação	Tratamentos	Bloco	Trat, vs, Idade	Idade	Erro	LSD[1]
GL	4	3	12	3	42	
			Quadrado Médio[2]			
N	2,13ns	3,88ns	6,38ns	130,43**	394,11	2,47
P	0,03ns	0,12**	0,05*	1,00**	1,13	0,1299
K	12,79ns	26,42ns	14,59ns	39,32ns	911,93	3,69
Ca	0,14ns	0,72ns	1,08**	9,64**	14,93	0,47
Mg	0,05ns	0,53**	0,08ns	2,18**	3,23	0,22
S	0,02ns	0,07ns	0,09ns	6,57**	7,27	0,32
B	39,00ns	1184,08**	82,33ns	12229,19**	9860,86	12,12
Fe	385,51ns	1410,13ns	560,40ns	1159,65ns	31791,55	21,77
Zn	54,84*	6,91ns	31,57ns	93,56**	781,62	3,41
Mn	1508,43ns	1684,30ns	773,91ns	6908,19**	44553,33	25,78

[1] Diferença mínima significativa pelo teste t (LSD) a 5% de significância; [2] nível de significância: ns: não significativo, *5% e **1%; Trat vs Idade, interação tratamento x idade

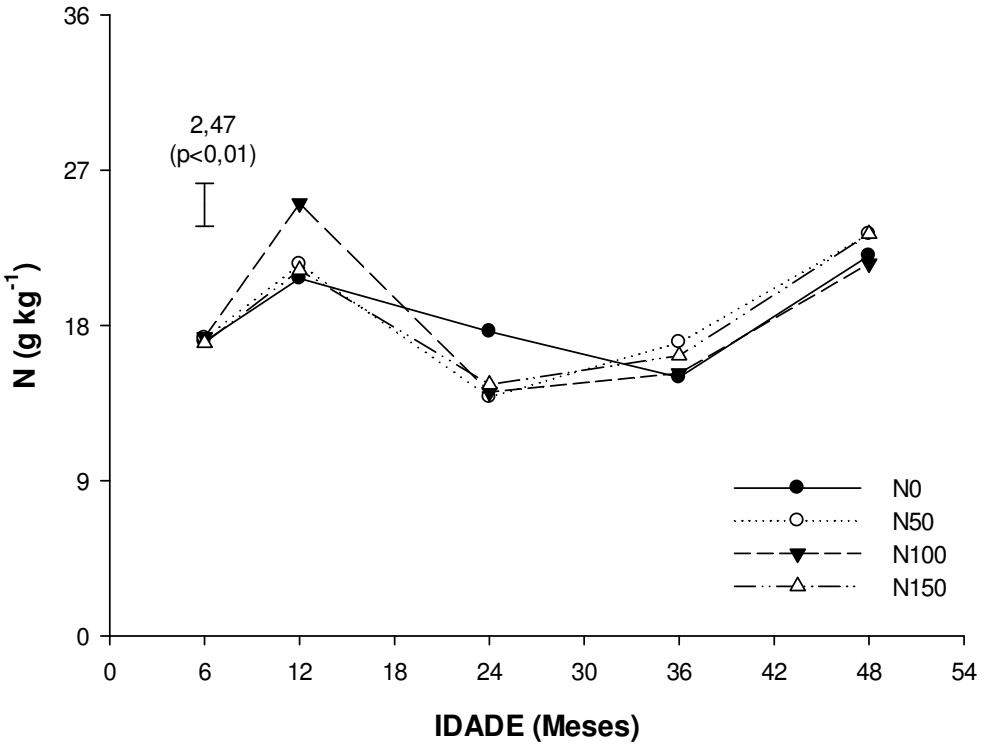

Figura 16 – Teor foliar de N em *E. urophylla x globulus* em resposta à fertilização nitrogenada e da idade em RQ localizado em Luís Antônio, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD

4.1.3.3 Índice de área foliar

O IAF variou de 2,3 a 4,7 m^2 m^{-2} de acordo com o tratamento e a idade, avaliados entre os 18 e 48 meses (Figura 17). Os maiores valores de IAF foram verificados aos 36 meses e, em Mogi-Guaçu, aos 30 meses. Tais resultados podem indicar que a idade de máximo IAF está relacionada à produtividade da floresta. Em Mogi-Guaçu, cujo IMA para o tratamento N150 aos 36 meses de idade foi de 36 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, o IAF máximo foi atingido entre os 24 e 30 meses, 3,5 m^2 m^{-2}. Em Luís Antônio, cujo IMA aos 36 meses foi de 25,4 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, o IAF máximo ocorreu aos 36 meses de idade, entre 4,0 e 4,4 m^2 m^{-2}. Outros fatores, como déficit hídrico e temperatura média anual também podem influenciar os valores máximos de IAF obtidos para um mesmo material genético sob diferentes condições edafoclimáticas (BATTAGLIA *et al.*, 1998).

Os tratamentos N100 e N150 apresentaram os maiores valores de IAF em todas as idades, sendo que as maiores diferenças foram encontradas na idade na qual o IAF foi máximo. Notou-se também que o IAF diferiu entre os 18 e 24 meses, entre os 24 e 36 meses e entre os 36 e 48 meses.

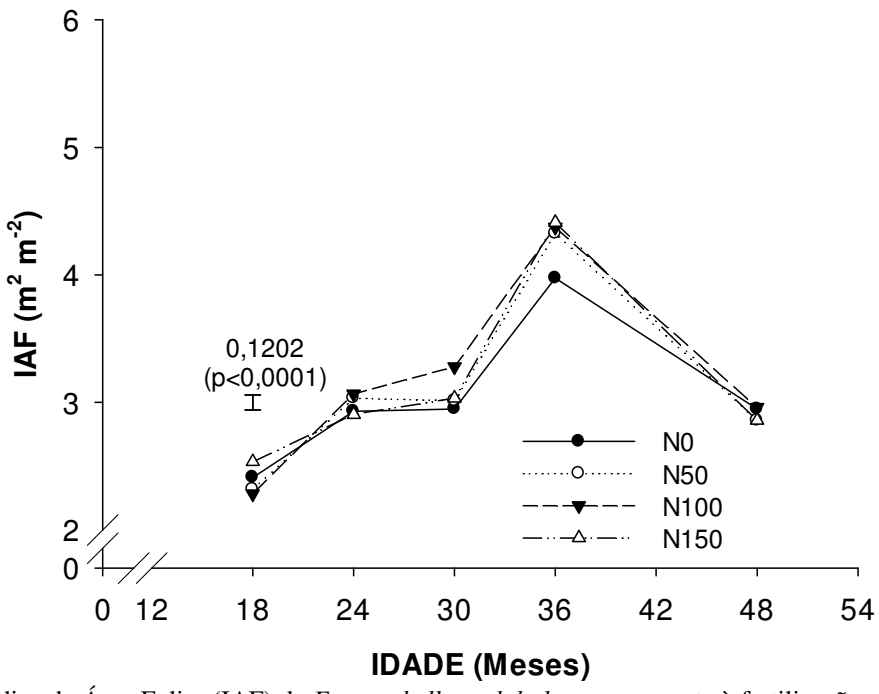

Figura 17 - Índice de Área Foliar (IAF) de *E. urophylla x globulus*, em resposta à fertilização com N e da idade em RQ, localizado em Luís Antônio, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância

4.1.3.4 Crescimento das árvores

A fertilização nitrogenada proporcionou respostas lineares para o volume de madeira produzido entre os 18 e 48 meses (Figura 18). Aos 18 meses, os ganhos entre os tratamentos N0 e N150 foram de 66%, com 11,6 m^3 ha^{-1} e 19,2 m^3 ha^{-1}, respectivamente. Aos 18 meses, as diferenças foram de 52% com 18,3 m^3 ha^{-1} e 28,0 m^3 ha^{-1} para os tratamentos N0 e N150 e, aos 48 meses, a diferença caiu para 27% com 91,4 m^3 ha^{-1} e 116,3 m^3 ha^{-1}, respectivamente para os mesmos tratamentos. Estes resultados se assemelham aos demais experimentos com fertilização nitrogenada realizados em plantações de eucalipto sob condições tropicais e subtropicais, cujas respostas decrescem com a idade (BARROS; NOVAIS; NEVES, 1990; XU; DELL, 2002; GONÇALVES, 2008; PULITO, 2009). Ainda assim, ganhos significativos permaneceram até os 48 meses de idade (Figura 19).

Respostas decrescentes decorrentes do crescimento da floresta e a interação com os demais fatores limitantes (água e luz) ressaltam a importância em se estabelecer recomendações de fertilização com base em resultados obtidos ao final da rotação de cultivo, não obstante a recomendações baseadas em respostas encontradas até os primeiros dois anos da floresta (BARROS; NEVES; NOVAIS, 2000).

O ajuste às equações de regressão foi linear entre os 18 e 48 meses. Por isso, não foi possível calcular a dose adequada para a produção máxima. Desta forma, admite-se que, até os 48 meses, a dose recomendada é superior a 150 kg ha^{-1}. Processos como a ciclagem biogeoquímica, responsável pela reabsorção dos nutrientes mineralizados a partir da serapilheira depositada, a retranslocação interna do N entre os tecidos da planta, a expansão do sistema radicular, aumentando o volume de solo explorado, e as competições intraespecíficas por água e luz contribuem para a diminuição das respostas de acordo com a idade (GONÇALVES *et al.*, 2008; JESUS *et al.*, 2012). Apenas em condições de baixa disponibilidade nutricional no solo, na qual a limitação pelo nutriente é mais acentuada que a limitação por água ou luz, é que diferenças de produtividade relacionadas à aplicação de fertilizantes não se alteram com a idade.

Para o uso do método gráfico utilizou-se a produção obtida com o tratamento N150 e calculou-se a produção para o método gráfico, 112, 51 m^3 ha^{-1}. Estes resultados foram obtidos com a dose de 106,4 kg ha^{-1}, aproximadamente 45% menor.

As diferenças em volume entre os tratamentos ocorreram a partir dos 18 meses após o plantio ($p<0,0001$), quando iniciou-se o cálculo da produção volumétrica. Aos 18 e 24 meses, os tratamentos diferiram apenas quando comparados ao tratamento N0.

A utilização do tratamento N100(Ureia) como fonte alternativa de N apresentou produção volumétrica, aos 18 e 48 meses, de 19,6 e 118,2 m^3 ha^{-1}, repesctivamente, e o tratamento N100, de 17,9 e 111,5 m^3 ha^{-1} (Figura 20). Os resultados encontrados indicam maiores respostas à aplicação de ureia, indicando que houve baixa ou nenhuma perda por volatilização, uma vez que estas perdas reduziriam a resposta ao tratamento N100(Ureia) (AULAKH; BIJAYSINGH, 1997; ANKUMAH *et al.*, 2003; BERNARDI *et al.*, 2014).

O IEA aumentou com a idade, com exceção dos resultados aos 24 meses. Aos 18 meses, o IEA foi de 127% e, aos 48 meses, 153% (Tabela 19). Estes resultados indicam que as respostas ao tratamento N100(Ureia) foram superiores ao N100. De acordo com o EqAP, seria necessário que a dose de N-Nitrato de amônio fosse de 165 kg ha^{-1} (165%), para a que a produção obtida com o uso deste fertilizante fosse a mesma que a obtida pelo uso da ureia na dose de 100 kg ha^{-1}.

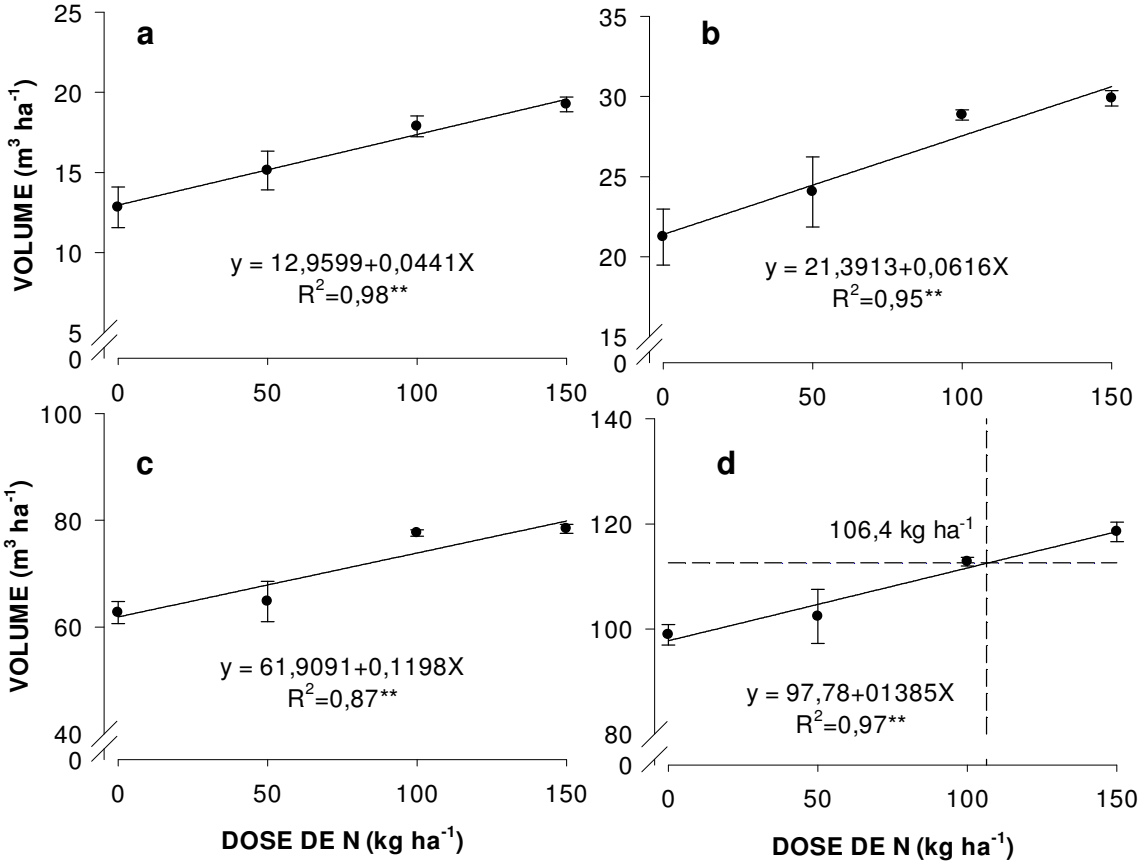

Figura 18 - Volume de madeira com casca de *E. urophylla x globulus* em função da dose de N aplicada em RQ aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c) e 48 meses (d), no município de Luís Antônio, SP. *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

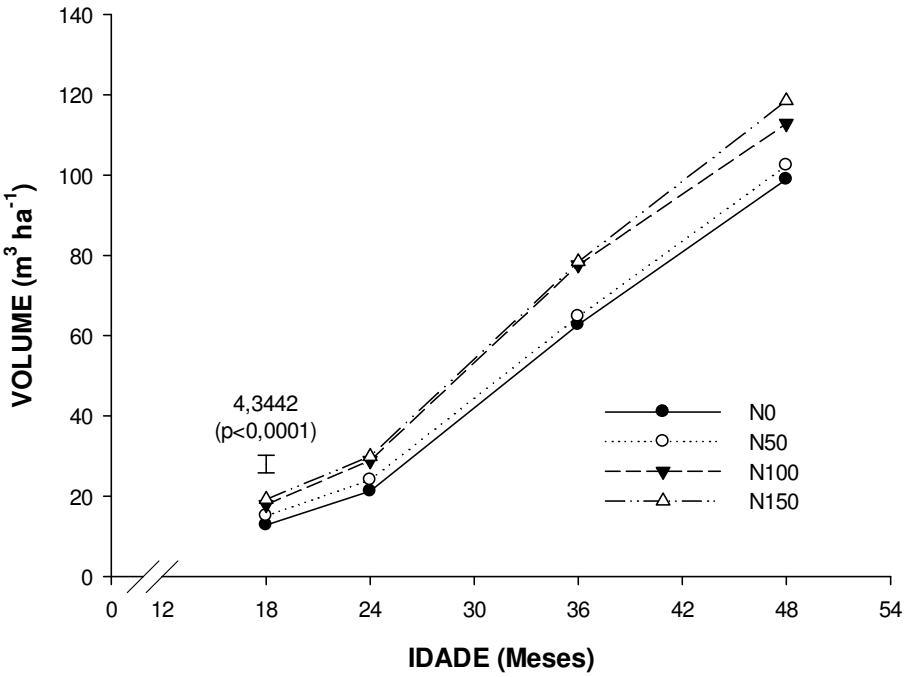

Figura 19 - Volume de madeira com casca de *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36 e 48 meses de idade de acordo com a dose de N aplicada (kg ha^{-1}) em um RQ no município de Luís Antônio, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F

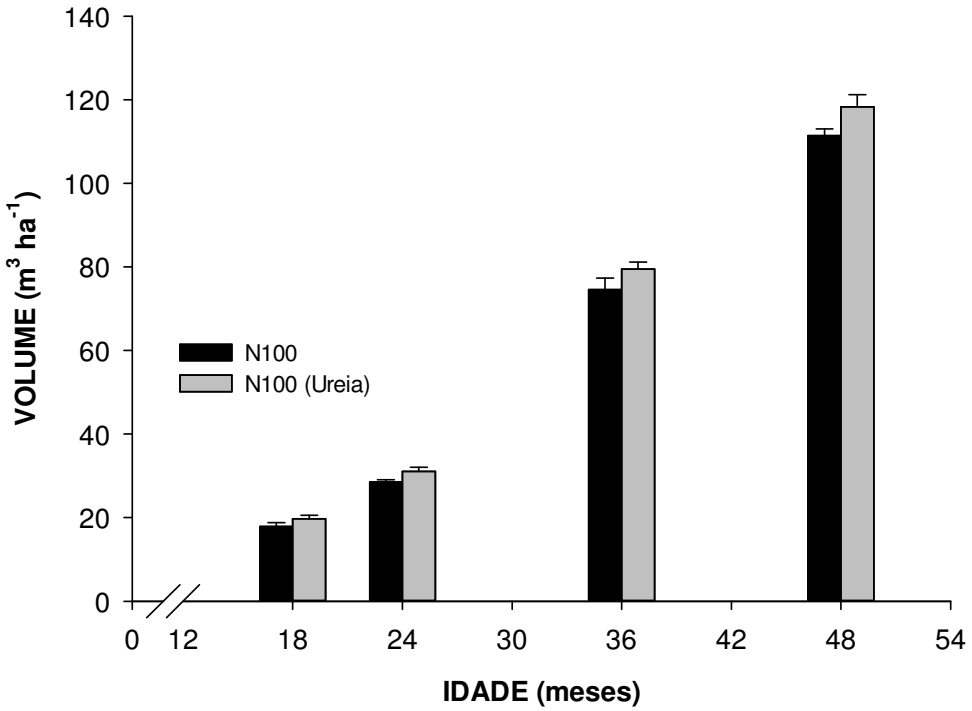

Figura 20 - Volume de madeira com casca de *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36 e 48 meses pós plantio obtidos com a aplicação de duas fontes de N, Nitrato de Amônio e Ureia, na dose de 100 kg ha^{-1}, em Luis Antônio, SP

Tabela 19 - Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e Equivalente em adubo padrão (EqAP) para as fontes nitrogenadas, Nitrato de Amônio e Ureia aos 18, 24, 36 e 48 meses de idade em plantios de *E. urophylla x globulus*, em RQ localizado em Luís Antônio, SP

Idade	N0	N100	N100(Ureia)	IEA	EqAP
	m^3 ha^{-1}			%	
18	11,6	17,9	19,6	127,0	146,03
24	19,6	28,6	31,0	126,6	185,5
36	62,7	74,6	79,3	139,5	176,6
48	98,9	111,5	118,2	153,2	165,0

4.1.4 Paulistânia

4.1.4.1 Fertilidade do solo

Os teores de MOS diminuíram entre os 48 e 60 meses e as maiores variações foram verificadas na camada de 0-10 cm, seguido pelas variações na camada de 10-20 cm (Tabela 20). A camada de 20-40 cm foi a que apresentou as menores variações nos teores de MOS entre as idades. Os valores de pH sofreram variações não representativas entre os 48 e 60 meses, contudo, comparativamente à pré-instalação do experimento os valores de pH se elevaram de 3,6 aos 0 meses para 4,2 aos 48 e 60 meses.

Os teores de Ca e Mg trocáveis aumentaram entre 0 e 48 meses. Aos 0 meses, o teor de Ca no solo foi de 3 $mmol_c\ dm^{-3}$ e, aos 48 meses, nos tratamentos N0 a N150 variou entre 4,9 e 9,1 $mmol_c\ dm^{-3}$. Estes resultados indicam que a aplicação de calcário aumentou o teor de Ca no solo.

Embora não significativos, verificou-se que os teores de P-disponível no solo aos 48 meses foram inversamente proporcionais às doses de N aplicadas. Como o pH não se alterou, o que poderia diminuir a disponibilidade de P no solo, admite-se que as maiores doses de N aplicadas possibilitaram maiores crescimentos e consequentemente, maiores quantidades de P foram absorvidas do solo. Essas diminuições apresentaram o mesmo comportamento nas três camadas de solo estudadas.

Para o K trocável, diminuições no teor do nutriente no solo ocorreram nas camadas de 10-20 e 20-40 cm. Diferenças foram verificadas para o tratamento N0 nas camadas de 0-10 e 20-40 cm. Todos os demais tratamentos apresentaram diminuições nos teores de K nas três profundidades avaliadas. Os menores teores de K foram verificados para a camada de 20-40 cm aos 60 meses.

Os teores de P e K no solo no tratamento N100 (Ureia) foram similares aos dos demais tratamentos. O teor de P se equiparou ao dos tratamentos N100 e N150 para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Estes resultados reforçam a evidência de que o aumento nas doses de N aplicadas resultou em maior crescimento e, desta forma, demandaram maiores quantidades do P disponível no solo.

Tabela 20 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 48 e 60 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de N em plantações de *E.grandis x urophylla*, em RQ, Paulistânia, SP

	MOS					pH					P					K					Ca					Mg				
Dose de N	48m		60m		**DMS¹**	48m		60m		**DMS¹**	48m		60m		**DMS¹**	48m		60m		**DMS¹**	48m		60m		**DMS¹**	48m		60m		**DMS¹**
kg ha^{-1}	g dm^{-3}					mg dm^{-3}										mmol$_c$ dm^{-3}														
0-10cm																														
0	16,0	1,4	11,3	0,8	**ns**	4,2	0,0	4,2	0,1	**ns**	1,5	0,4	2,0	0,0	**ns**	0,6	0,0	0,4	0,0	**0,1**	5,2	1,1	2,3	0,2	**ns**	3,9	0,7	3,0	0,7	**ns**
50	15,8	0,6	10,7	1,2	**ns**	4,3	0,1	4,2	0,0	**ns**	1,7	0,3	2,0	0,0	**ns**	0,5	0,0	0,3	0,0	**ns**	6,3	1,0	2,0	0,0	**ns**	4,5	0,9	3,3	0,2	**ns**
100	12,9	1,0	11,3	2,2	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,1	**ns**	1,4	0,4	2,0	0,0	**ns**	0,6	0,0	0,4	0,0	**ns**	4,9	1,1	3,0	0,6	**ns**	2,6	0,4	4,0	0,6	**ns**
150	18,8	0,4	13,7	3,9	**ns**	4,2	0,1	4,2	0,1	**ns**	1,1	0,2	2,0	0,0	**ns**	0,8	0,0	0,5	0,0	**ns**	9,1	2,4	3,7	0,7	**ns**	4,8	1,4	3,7	0,4	**ns**
DMS²	**5,2**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**0,2***			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
100(Ureia)	22,4	6,4	12,3	6,4	**1,5**	4,1	0,2	4,3	0,1	**ns**	0,9	0,2	2,0	0,0	**0,5**	0,7	0,2	0,5	0,0	**ns**	3,1	1,1	3,3	0,9	**ns**	2,4	1,2	3,7	0,9	**ns**
10-20cm																														
0	15,9	1,3	9,7	0,4	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,1	**ns**	1,9	0,3	2,3	0,2	**ns**	0,5	0,0	0,2	0,0	**ns**	4,3	1,3	2,3	0,2	**ns**	2,7	0,3	3,3	0,7	**ns**
50	14,9	0,3	11,3	0,8	**ns**	4,3	0,1	4,1	0,0	**ns**	1,6	0,3	2,0	0,0	**ns**	0,6	0,0	0,3	0,0	**ns**	6,2	1,6	2,0	0,0	**ns**	3,5	0,9	2,3	0,2	**ns**
100	12,9	1,1	10,0	2,3	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,1	**ns**	1,4	0,2	2,0	0,0	**ns**	0,5	0,0	0,4	0,0	**ns**	4,7	1,2	2,7	0,4	**ns**	2,3	0,3	3,7	0,5	**ns**
150	16,8	0,4	13,0	4,1	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,1	**ns**	1,2	0,3	2,0	0,0	**ns**	1,4	0,4	0,4	0,0	**ns**	10,0	2,4	4,0	0,7	**ns**	5,4	2,2	3,3	0,2	**ns**
DMS²	**ns**		**ns**			**0,2**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**4,9**		**1,8**			**ns**		**ns**		
100(Ureia)	23,9	4,3	7,0	2,0	**12,3**	4,2	0,0	4,2	0,0	**ns**	1,2	0,7	2,0	0,0	**ns**	0,6	0,1	0,2	0,0	**ns**	3,1	1,1	3,0	0,6	**ns**	3,0	0,8	1,9	0,9	**ns**
20-40cm																														
0	13,7	1,1	9,0	1,2	**ns**	4,1	0,0	4,1	0,0	**ns**	1,3	0,3	2,0	0,0	**ns**	0,5	0,0	0,1	0,0	**0,4**	4,2	1,3	2,0	0,0	**ns**	1,5	0,3	2,0	0,3	**ns**
50	12,6	0,9	10,7	1,2	**ns**	4,1	0,0	4,1	0,0	**ns**	1,1	0,4	2,0	0,0	**ns**	0,6	0,0	0,3	0,0	**ns**	4,9	1,0	2,3	0,2	**ns**	1,5	0,4	2,0	0,0	**ns**
100	11,8	1,3	9,0	1,2	**ns**	4,0	0,0	4,1	0,0	**ns**	0,6	0,1	2,0	0,0	**1,4**	0,6	0,1	0,2	0,0	**ns**	4,5	1,2	2,3	0,2	**ns**	1,8	0,4	2,0	0,3	**ns**
150	15,0	0,2	9,3	3,4	**ns**	4,0	0,0	4,1	0,1	**ns**	0,6	0,2	2,0	0,0	**ns**	0,7	0,1	0,4	0,0	**ns**	4,6	0,9	3,7	1,0	**ns**	2,9	0,9	2,0	0,6	**ns**
DMS²	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**0,2**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
100(Ureia)	18,5	2,1	8,0	3,0	**ns**	4,1	0,0	4,1	0,0	**ns**	0,6	0,5	2,0	0,0	**ns**	0,6	0,1	0,2	0,0	**ns**	7,2	5,2	2,3	0,3	**ns**	2,2	0,3	1,2	0,6	**ns**

[1] ; significância a 5% pelo teste t (LSD) para a variação do atributo entre as idades;[2] significância a 5% pelo teste t (LSD) entre os tratamentos em uma mesma idade. MOS, extraído por via úmida; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K extraídos pelo método da resina trocadora de íons; P, determinado por colorimetria; K, determinado por fotometria de chama; Ca e Mg, determinados por espectofotometria de absorção atômica.

4.1.4.2 Estado nutricional

Os teores de N nas folhas aumentaram com a idade até os 24 meses (Figura 21). Aos 6 meses, os teores de N foliar variaram entre 16,1g kg^{-1} para o tratamento N0 e 18,9 g kg^{-1} para o tratamento N150. Aos 12 meses, foram de 17,3 g kg^{-1} para o tratamento N0 e 19,4 g kg^{-1} para o tratamento N150. Aos 24 meses, atingiram valores de 25,9 g kg^{-1} para o tratamento N0 e 23,8 g kg^{-1} para o tratamento N150. Aos 48 meses os teores de N foliar foram de 24,0 g kg^{-1} para o tratamento N0 e 21,40 g kg^{-1} para o tratamento N150. Notou-se que, a partir dos 24 meses, os maiores valores de N foliar se deram para o tratamento N0. Estes resultados apresentaram maiores teores de N para o tratamento que obteve as menores produtividades, indicando que para os tratamentos mais produtivos houve um efeito de diluição sobre os teores de N nas folhas. Os resultados obtidos indicam uma aproximação nos teores de N entre os tratamentos de acordo com a idade. A diferença entre os tratamentos N0 e N150 para o teor de N aos 48 meses foi de 12%, enquanto que a diferença de produtividade entre os dois tratamentos para a mesma idade foi de 7%.

A produtividade máxima aos 60 meses foi aquela obtida pelo tratamento N150 e correspondeu a 270,4 m^3 ha^{-1}. Por estes resultados, verificou-se que nenhum dos tratamentos testados foi inferior a esta produtividade, assim como os teores foliares de N, os quais estiveram dentro da faixa adequada proposta por Gonçalves (2011).

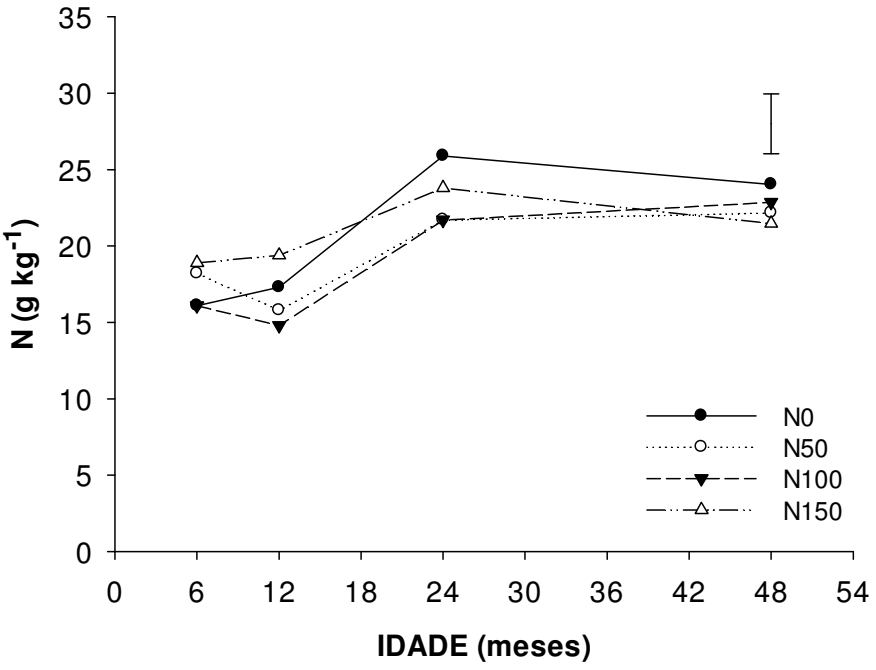

Figura 21 – Teor foliar de N foliar em *Eucalyptus grandis x urophylla* em resposta à fertilização nitrogenada e da idade em RQ localizado em Paulistânia, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD

4.1.4.3 Índice de área foliar

O IAF apresentou pequenas variações entre os 30 e 60 meses (Figura 22). Em geral, o IAF apresentou comportamento crescente com o desenvolvimento das árvores. Estes resultados refletem as altas produtividades obtidas em Paulistânia e podem explicar o incremento corrente anual (ICA) crescente do tratamento N0 com a idade. Aos 36 meses o ICA foi de 47,6 m^3 ha^{-1} ano^{-1} enquanto que aos 60 meses o ICA foi de 64,1 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Estes resultados indicam que o desenvolvimento do IAF esteve diretamente ligado ao ritmo de crescimento das árvores, representado pelo ICA. Os valores de IAF variaram de 3,6 m^2 m^{-2} aos 30 meses, a 4,6 m^2 m^{-2} aos 60 meses. O aumento do IAF representa o aumento na quantidade de folhas na copa das árvores e consequentemente no aumento da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) que atua diretamente na fotossíntese e produz energia para o desenvolvimento das árvores (STAPE; BINKLEY; RYAN, 2004). Este aumento do IAF até os 60 meses poderia indicar que não houve a ocorrência de fatores limitantes ao crescimento como ocorre geralmente em plantações florestais a partir dos 2 anos, momento no qual o pico de IAF é atingido, mas para isso, avaliações dos teores de umidade do solo e do crescimento sazonal seriam necessárias. A inexistência destes fatores limitantes permitiu o desenvolvimento das árvores e resultou nas altas produtividades obtidas.

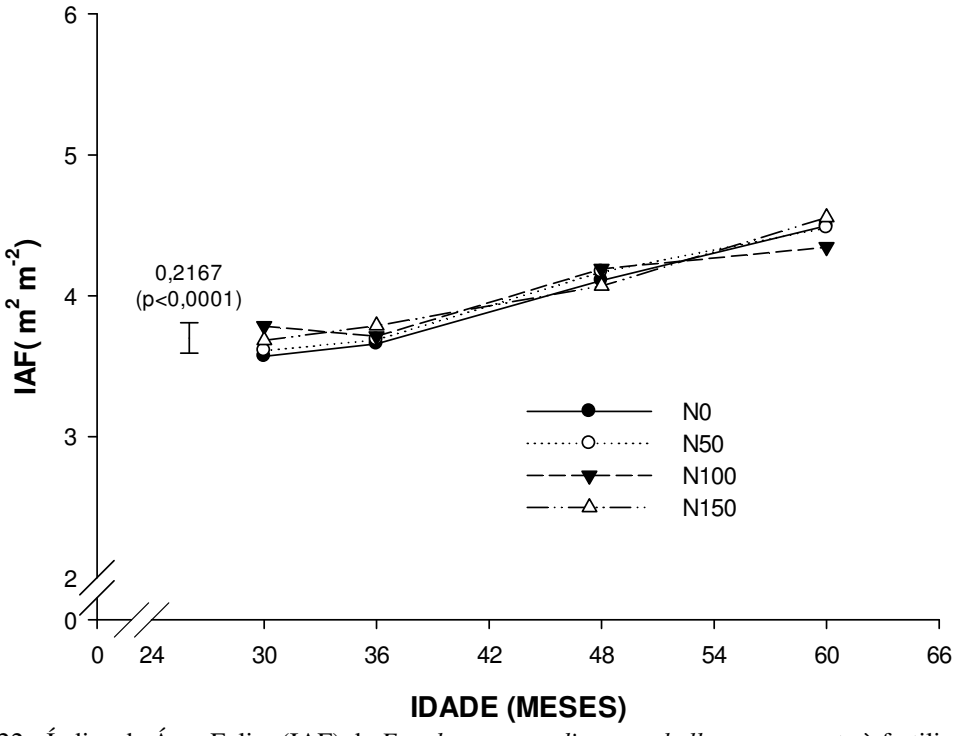

Figura 22 - Índice de Área Foliar (IAF) de *Eucalyptus grandis x urophylla*, em resposta à fertilização com N e da idade em Paulistânia, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância

4.1.4.4 Crescimento das árvores

A análise de regressão para calibração das curvas de resposta foi significativa a partir dos 24 meses (Figura 23). A resposta à aplicação das doses de nitrato de amônio aos 48 e 60 meses foi linear. Esses resultados indicam que as doses testadas não foram suficientes para determinar a dose para produção máxima em Paulistânia. Contudo, os ganhos com as fertilizações nitrogenadas foram modestos. Aos 48 meses, a diferença entre o volume de madeira produzido para os tratamentos N0 e N150 foi de 6% e aos 60 meses, de 4%. A diferença entre os tratamentos N0 e N150 foi significativa apenas a partir dos 48 meses (Figura 24). Esses resultados se assemelham àqueles encontrados para plantações clonais de *E. grandis* em Botucatu e Agudos, nos quais a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N em RQ e LVAd resultou em ganhos de 8 e 2% em volume de madeira aos 36 meses pós plantio (PULITO, 2009).

Por apresentar pequenos ganhos referentes às doses aplicadas, as doses recomendadas pelo método gráfico aos 48 e 60 meses, foram de 20 e 23 kg ha^{-1}, respectivamente. Como o comportamento dos tratamentos foi linear nestas idades, não foi possível estabelecer-se a dose para produção máxima.

Avaliando-se as duas fontes nitrogenadas, puderam-se verificar maiores respostas quando se aplicou a ureia (Figura 25). Aos 60 meses, a diferença em volume para as duas fontes correspondeu a 18,75 m^3 ha^{-1} ou 6%. De acordo com o IEA calculado, a eficiência agronômica do fertilizante nitrogenado a base de ureia aumentou com o tempo (Tabela 21). Aos 18 meses, o IEA foi de 150% enquanto que aos 60 meses o índice foi de 350%. Esses resultados indicam que os ganhos obtidos com o tratamento N100 (ureia), foram maiores que os obtidos pelo tratamento N100, quando comparadas as produtividades destes tratamentos com a produtividade obtida pelo tratamento N0. Aos 18 meses, o ganho com a aplicação do tratamento N100 sobre o N0 foi de 2% enquanto que aos 60 meses este ganho foi de 3%. Para os mesmos períodos, os ganhos com a aplicação de N100 (ureia) foram de 6% e 10%. Para se obter as mesmas respostas em volume que aquelas obtidas com a aplicação de N100(ureia), seriam necessários aos 24 meses, 132 kg ha^{-1} de nitrato de amônio, de acordo com o EqAP de 132% obtido. Aos 60 meses, seria necessário a aplicação de 311,8 kg ha^{-1} de nitrato de amônio para obtenção dos mesmos resultados com a ureia. Por meio desses resultados, verificou-se maior resposta à aplicação de N na forma de ureia, similar aos resultados verificados em Mogi-Guaçu e Luis Antônio neste trabalho.

A aplicação de ureia como fonte de N é preterida em plantações devido às perdas por volatilização (PRIMAVESI *et al.*, 2005; GOOS, 2013). Contudo, neste trabalho verificou-se que a utilização desta fonte se equiparou à utilização de nitrato de amônio como fonte de N.

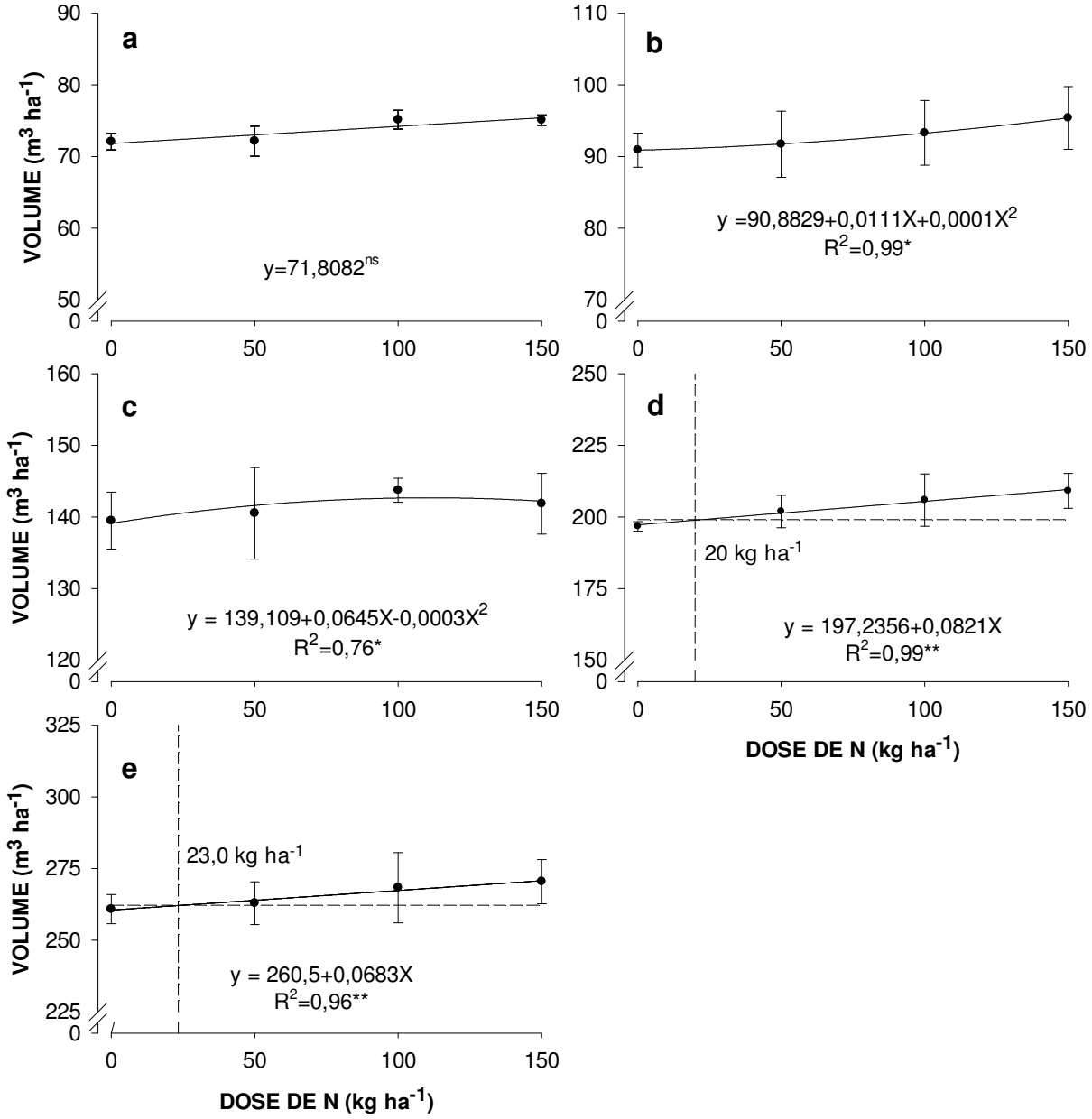

Figura 23 – Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* em função da idade e da dose de N aplicada em Neossolo Quartzarênico, aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d) e 60 meses (e) no município de Paulistânia, SP. *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

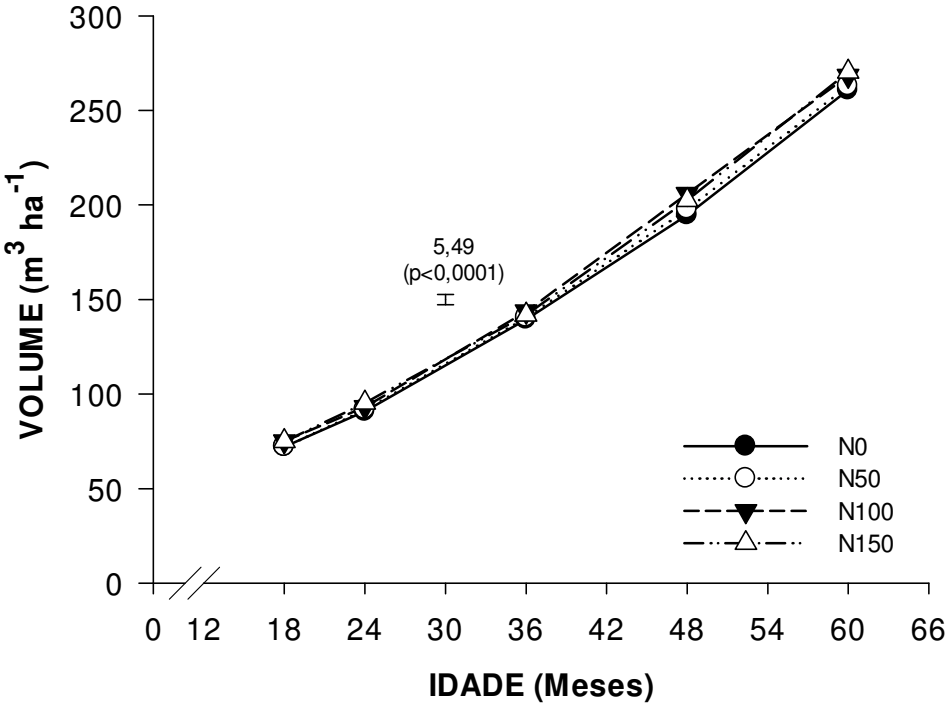

Figura 24 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* aos 18, 24, 36, 48 e 60 meses de acordo com a dose de N aplicada (kg ha^{-1}) em um RQ no município de Paulistânia, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F

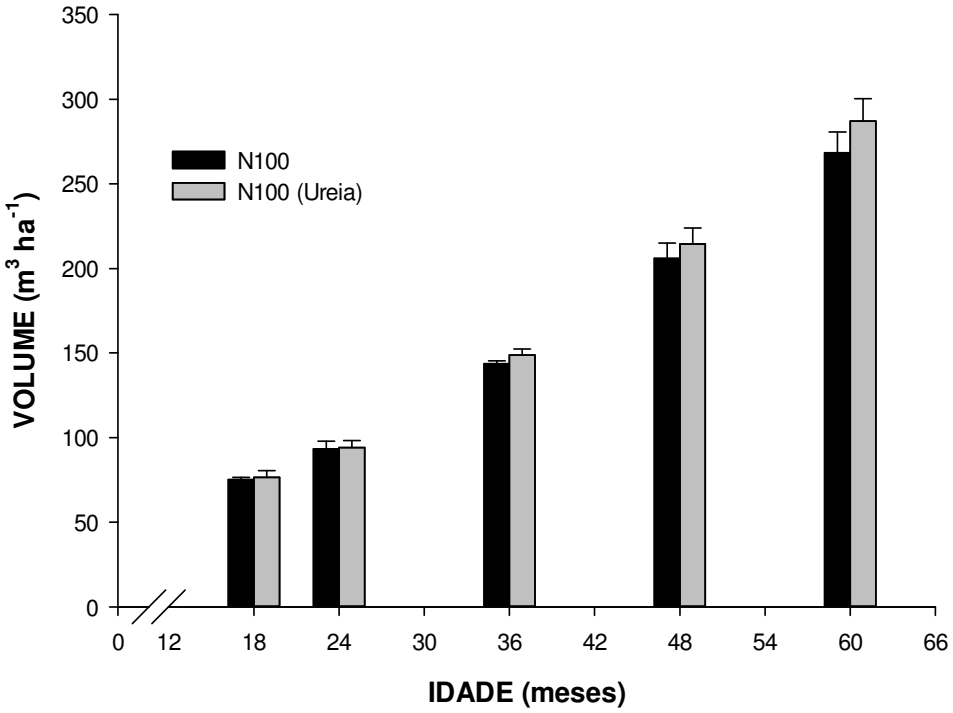

Figura 25 - Volume de madeira com casca em plantações de *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36, 48 e 60 meses pós plantio obtidos com a aplicação de duas fontes de N, Nitrato de Amônio e Ureia, na dose de 100 kg ha^{-1}, em Paulistânia, SP

Tabela 21 - Índice de Eficiência Agronômica (IEA) e Equivalente em adubo padrão (EqAP) para as fontes nitrogenadas, Nitrato de Amônio e Ureia aos 18, 24, 36, 48 e 60 meses de idade em plantios de *E.grandis x urophylla*, em Paulistânia, SP

Idade	N0	N100	N100(Ureia)	IEA	EqAP
	——————————m^3 ha^{-1}——————————			——%——	
18	72,1	75,1	76,6	150,0	
24	90,9	93,3	94,1	132,0	132
36	139,5	143,7	148,8	218,1	--
48	194,7	205,9	214,5	177,0	210,3
60	260,8	268,3	287,1	350,0	311,8

4.2 Respostas à aplicação de fósforo

4.2.1 Ribas do Rio Pardo

4.2.1.1 Fertilidade do solo

Os teores de MOS aumentaram entre 0 (antes da instalação) e 48 meses. Na camada de 0-10 cm, os teores, aos 0 meses foram de 16 g dm^{-3}, de 12,6 g dm^{-3} aos 24 meses e, de 21 g dm^{-3} aos 48 meses não sendo verificadas alterações relacionadas às doses de P aplicadas (Tabela 22).

As alterações nos teores de P no solo não foram significativos entre os 24 e 48 meses. Aumentos nos teores de nutrientes podem ser associados à ocorrência de ciclagem biogeoquímica, a qual é iniciada após o fechamento da copa e diminuição do IAF (LACLAU *et al*., 2003). Devido às pequenas elevações de pH, os aumentos nos teores de P, não podem ser atribuídas às alterações no pH (MALAVOLTA, 2006). A aplicação em doses crescentes não resultou em diferenças nos teores de P no solo, pois as doses aplicadas foram muito baixas para proporcionar alterações no solo. A aplicação localizada do fertilizante, em covetas, também influencia na manutenção dos teores de P. Devido à baixa mobilidade do nutriente no solo, elevações nos teores só seriam possíveis em caso de aplicações em filetes ou faixas. Por outro lado, estes tipos de aplicação diminuem a eficiência de uso do fertilizante, devido à alta fixação do nutriente em solos muito intemperizados (MATAR; BROWN, 1989; FERNANDEZ *et al*, 2000). Elevações nos teores de P, devido a decomposição da serapilheira, são muito baixos em plantações de eucalipto no Brasil e não são suficientes para alterar a fertilidade do solo. Em média, após o primeiro ano, cerca de 1,5 kg ha^{-1} ano^{-1} de P retorna ao solo via ciclagem biogeoquímica (LACLAU *et al*., 2010).

Os teores de Ca e Mg aumentaram quando comparados aos valores obtidos aos 0 meses, paras as três camadas de solo analisadas. Os aumentos mais expressivos se deram para

o Ca, devido aos seus maiores teores comparativamente ao Mg para o corretivo utilizado (calcário dolomítico). A aplicação do fertilizante forneceu 513 kg ha^{-1} de Ca e 150 kg ha^{-1} de Mg. Os valores obtidos entre os 24 e 48 meses indicaram pequenas variações entre as idades, sem diferenças entres as doses de P para as duas idades e nas três profundidades.

Tabela 22 - Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de P_2O_5 em plantações de *E.grandis x urophylla*, em RQ localizado em Ribas do Rio Pardo,MS

Dose de P_2O_5	MOS					pH					P					K					Ca					Mg				
	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]
kg ha^{-1}	g dm^{-3}										mg dm^{-3}					mmol$_c$ dm^{-3}														
0-10 cm																														
0	14,3	1,9	18,8	3,6	**ns**	4,0	0,1	4,3	0,2	**ns**	2,9	0,6	2,7	0,2	**ns**	0,2	0,0	0,3	0,0	**0,1**	2,0	0,7	7,7	1,0	**5,7**	1,7	0,5	2,7	0,6	**ns**
30	11,4	0,2	20,6	1,8	**8,5**	4,7	0,4	4,3	0,1	**ns**	3,0	0,5	2,2	0,3	**ns**	0,3	0,1	0,4	0,1	**ns**	9,6	4,4	10,7	2,7	**ns**	9,0	4,0	5,1	1,5	**ns**
60	12,3	0,4	20,0	0,3	**3,0**	4,2	0,2	4,3	0,1	**ns**	2,9	0,5	2,6	0,1	**ns**	0,2	0,1	1,6	1,2	**ns**	6,8	4,9	6,0	1,3	**ns**	6,5	4,8	2,2	0,6	**ns**
90	12,7	1,4	22,6	3,2	**ns**	4,4	0,4	4,3	0,1	**ns**	3,4	0,4	2,7	0,5	**ns**	0,2	0,0	0,6	0,2	**ns**	4,6	1,2	6,5	0,2	**ns**	4,4	1,6	2,0	0,9	**ns**
DMS[2]	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
10-20 cm																														
0	13,0	0,7	16,5	1,6	**ns**	4,0	0,1	4,2	0,1	**ns**	2,7	0,4	2,4	0,3	**ns**	0,2	0,0	0,3	0,1	**ns**	4,1	0,8	6,0	0,6	**ns**	4,0	0,9	1,4	0,7	**ns**
30	10,9	0,5	21,3	2,1	**10,1**	4,5	0,3	4,2	0,1	**ns**	2,8	0,7	3,0	0,4	**ns**	0,2	0,0	0,3	0,1	**ns**	6,9	3,5	6,9	0,3	**ns**	6,8	3,5	1,8	0,6	**ns**
60	9,9	0,3	18,2	2,3	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,0	**ns**	2,3	0,7	2,7	0,1	**ns**	0,2	0,0	0,4	0,1	**0,1**	4,1	1,0	5,0	1,2	**ns**	4,9	0,8	1,5	0,7	**2,8**
90	10,5	0,5	22,5	4,7	**ns**	4,2	0,2	4,2	0,1	**ns**	2,2	0,5	2,8	0,6	**ns**	0,1	0,0	0,4	0,0	**ns**	1,7	0,4	5,7	0,3	**2,5**	2,2	0,6	1,4	0,8	**ns**
DMS[2]	**2,0**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
20-40 cm																														
0	10,5	1,3	15,0	1,1	**ns**	4,1	0,1	4,2	0,1	**ns**	1,7	0,1	2,4	0,4	**ns**	0,2	0,0	0,3	0,0	**0,1**	3,6	1,8	5,9	0,5	**ns**	2,9	1,6	1,3	0,5	**ns**
30	8,7	1,0	16,6	1,5	**ns**	4,3	0,1	4,2	0,0	**ns**	1,9	0,5	2,4	0,2	**ns**	0,1	0,0	0,3	0,0	**ns**	3,5	0,1	4,9	1,3	**ns**	4,2	0,3	1,2	0,7	**ns**
60	11,1	1,2	18,7	2,5	**ns**	4,2	0,2	4,2	0,1	**ns**	2,5	0,5	2,5	0,3	**ns**	0,2	0,1	0,5	0,4	**ns**	4,3	2,3	6,3	1,3	**ns**	4,5	2,2	2,0	0,9	**1,6**
90	9,4	1,2	16,0	2,8	**ns**	4,2	0,1	4,2	0,0	**ns**	2,1	0,2	2,2	0,6	**ns**	0,2	0,1	0,3	0,0	**ns**	1,7	0,3	5,8	0,5	**2,8**	2,9	1,6	1,4	0,6	**ns**
DMS[2]	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**0,4**		

[1] ; significância a 5% pelo teste t (LSD) para a variação do atributo entre as idades;[2] significância a 5% pelo teste t (LSD) entre os tratamentos em uma mesma idade. MOS, extraído por via úmida; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K extraídos pelo método da resina trocadora de íons; P, determinado por colorimetria; K, determinado por fotometria de chama; Ca e Mg, determinados por espectofotometria de absorção atômica.

4.2.1.2 Estado nutricional

A aplicação de P não influenciou os teores de N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes (Tabela 23). Os teores para estes nutrientes aumentaram entre os 12 e 36 meses. Excetuando-se o P, não foram verificadas diferenças entre blocos ou interações entre os tratamentos e a idade. Xu *et al.* (2005) avaliaram a resposta à aplicação de doses crescentes de P_2O_5 em plantações de *E.urophylla* na China. Os ganhos de produtividade entre as doses de 0 e 200 kg ha^{-1} foram próximos a 1000% aos 4,5 anos e os teores foliares de P, iguais. Resultado semelhante ao verificado neste experimento.

Os teores foliares de P aumentaram com a idade (Figura 26). Aos 12 meses, os teores de P para os tratamentos P0 e P90 foram de 1,5 e 1,7 g kg^{-1}, respectivamente. Aos 36 meses, os teores de P foram de 2,3 g kg^{-1} para os tratamentos P0 e P90. Estes teores estão acima da faixa adequada proposta por Gonçalves (2011), entre 1,0 e 1,3 g kg^{-1}, sendo atribuídos ao baixo crescimento volumétrico dos tratamentos, o que permitiu maiores teores do P nas folhas. O aumento nos teores dos demais nutrientes também foi verificada para os demais nutrientes e pode ser atribuído ao mesmo fator. Laclau *et al.* (2000) verificaram menores teores foliares de P com o desenvolvimento, atribuindo os resultados à retranslocação do nutriente para outros compartimentos da árvore.

Tabela 23 - Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn foliares em híbrido de *E. grandis x urophylla* aos 12, 24 e 36 meses de idade, em resposta à fertilização fosfatada em RQ em Ribas do Rio Pardo, MS

Fonte de Variação	Tratamento	Bloco	Trat, vs, Idade	Idade	Erro	LSD
GL	3	2	6	2	22	
			Quadrado Médio			
N	0,97ns	0,67ns	0,51ns	36,49**	1,09	1,02
P	0,02ns	0,19*	0,03ns	0,73**	0,05	0,21
K	0,19ns	0,84ns	0,37ns	14,85**	1,57	1,22
Ca	0,36ns	0,67ns	0,25ns	287,10**	1,18	1,06
Mg	0,7ns	0,07ns	0,10ns	13,01**	0,09	0,29
S	0,01ns	0,008ns	0,001ns	0,2**	0,02	0,14
B	68,50ns	58,08ns	173,05ns	3356,48**	189,45	13,4
Fe	149,88ns	765,31ns	27,45ns	41108,01**	291,4	16,7
Zn	1,09ns	6,53ns	0,37ns	25,85**	2,15	1,4
Mn	54664,75ns	60024,33ns	44655,65ns	3517315,27**	31199,54	172,7

(1) Diferença mínima significativa pelo teste t (LSD) a 5% de significância; (2) nível de significância: ns: não significativo, *5% e **1%; Trat vs Idade, interação tratamento x idade

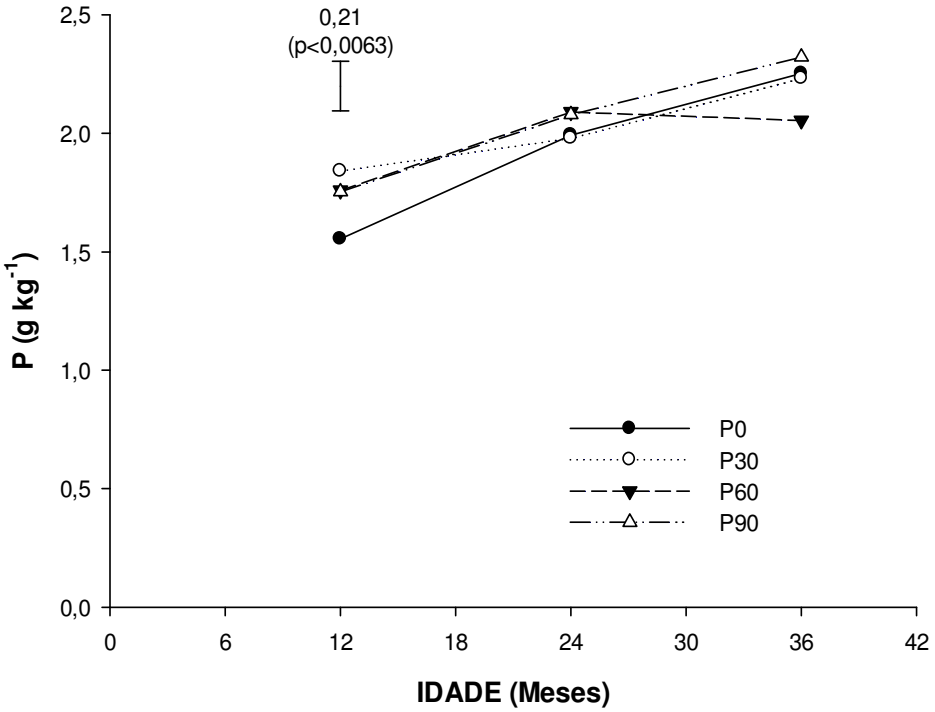

Figura 26 - Teor foliar de P em *E. grandis x urophylla* em resposta à fertilização fosfatada e idade em RQ localizado em Ribas do Rio Pardo, MS. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD

4.2.1.3 Índice de área foliar

O IAF diminuiu entre os 24 e 60 meses para todos os tratamentos (Figura 27). Aos 24 meses, o IAF do tratamento P0 foi de 3,8 m^2 m^{-2} e, de 3,2 m^2 m^{-2} aos 60 meses. Para o tratamento P90, o IAF aos 24 meses foi de 4,2 m^2 m^{-2} e aos 60 meses, de 3,3 m^2 m^{-2}. A diminuição do IAF com a idade indica a intensificação da competição entre os indivíduos do povoamento. A partir dos 24 meses, as competições por água e luz se intensificam e, desta forma, as árvores diminuem a copa, para aumentar a eficiência de uso destes recursos (ALMEIDA *et al.*, 2010).

As avaliações realizadas em diferentes períodos também influenciaram os resultados obtidos, como verificado entre os 24 e 30 meses. Os maiores valores de IAF foram encontrados aos 24 meses e, os menores, aos 30 meses. A diminuição média de 1,6 m^2 m^{-2}, ocorrida entre os 24 e 30 meses, foi atribuída à coleta de informações em diferentes épocas. A coleta aos 24 meses foi realizada durante o mês de dezembro e, aos 30 meses, no mês de junho, períodos de excedente e déficit hídrico, respectivamente.

A influência climática também foi verificada em plantações clonais de eucalipto no estado do Espírito Santo, com variações de 1,0 m^2 m^{-2} entre os períodos de chuva e déficit hídrico (XAVIER *et al.*, 2002). Esta diminuição está associada à queda de folhas durante os períodos de maiores déficits hídricos para diminuir as perdas de água por evapotranspiração (LACLAU, *et al.* 2009).

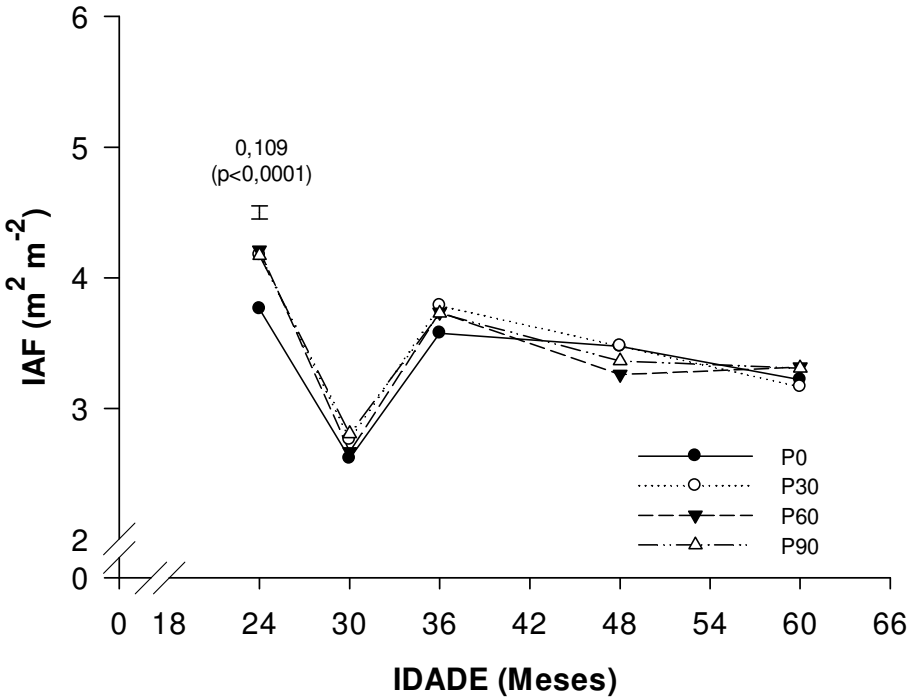

Figura 27 - Índice de Área Foliar (IAF) de *E. grandis x urophylla*, em resposta à fertilização com P_2O_5 e da idade em RQ localizado em Ribas do Rio Pardo, MS. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância

4.2.1.4 Crescimento das árvores

Aos 24 meses, o volume de madeira produzido no tratamento P0 foi de 9,9 m^3 ha^{-1} e, de 16,3 m^3 ha^{-1} em P90, ou seja, um aumento de 64% de crescimento (Figura 28). Aos 48 meses, o volume de madeira produzido no tratamento P0 foi de 92,3 m^3 ha^{-1}e, de 118,8 m^3 ha^{-1} para o P90. Aos 60 meses, o volume produzido para o tratamento P0 foi de 104,0 m^3 ha^{-1} e 146,0 m^3 ha^{-1} para o P90, correspondendo a aumento de 40% no crescimento. A dose estimada para produção máxima aumentou com a idade. Aos 24 meses, a dose para produção máxima foi de 72,2 kg ha^{-1} de P_2O_5, aos 48 meses, de 95,2 kg ha^{-1} e, aos 60 meses, superior a 90 kg ha^{-1}. Os resultados indicaram aumento das respostas ao P com a idade. O crescimento do povoamento, com resposta linear aos 60 meses, indica que para o tratamento P90, as plantas mantiveram seu ritmo de crescimento, enquanto que para os demais tratamentos, com

doses inferiores, as plantas tiveram seu crescimento limitado. Diferenças significativas entre os tratamentos foram verificadas a partir dos 24 meses de idade. Nessa idade o tratamento P0 diferiu dos demais ($p<0,0001$). Aos 60 meses, o tratamento P90 diferiu de todos os demais tratamentos, evidenciando o distanciamento entre as curvas de crescimento (Figura 29).

Os baixos crescimentos obtidos refletiram nos teores foliares de P. Entre os 12 e 36 meses, os teores de P aumentaram, resultados incomuns para plantações de eucalipto (LACLAU *et al.* 2003). O IMA, aos 36 meses, foi inferior a 20 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, inferior à média nacional de 42 m^3 ha^{-1} ano^{-1} para plantações clonais de eucalipto no Brasil (ABRAF, 2013). Tal crescimento pode estar associado às condições climáticas de baixa disponibilidade hídrica e acentuado período seco na região de Ribas do Rio Pardo.

Pela equação gerada aos 48 meses, a dose para produção máxima foi de 95 kg ha^{-1} de P_2O_5. Por meio do método gráfico, a dose estabelecida representou 43% da dose para produção máxima. Estes resultados indicam que para a obtenção de 95% da produção máxima poder-se-ia diminuir em 60% a dose aplicada.

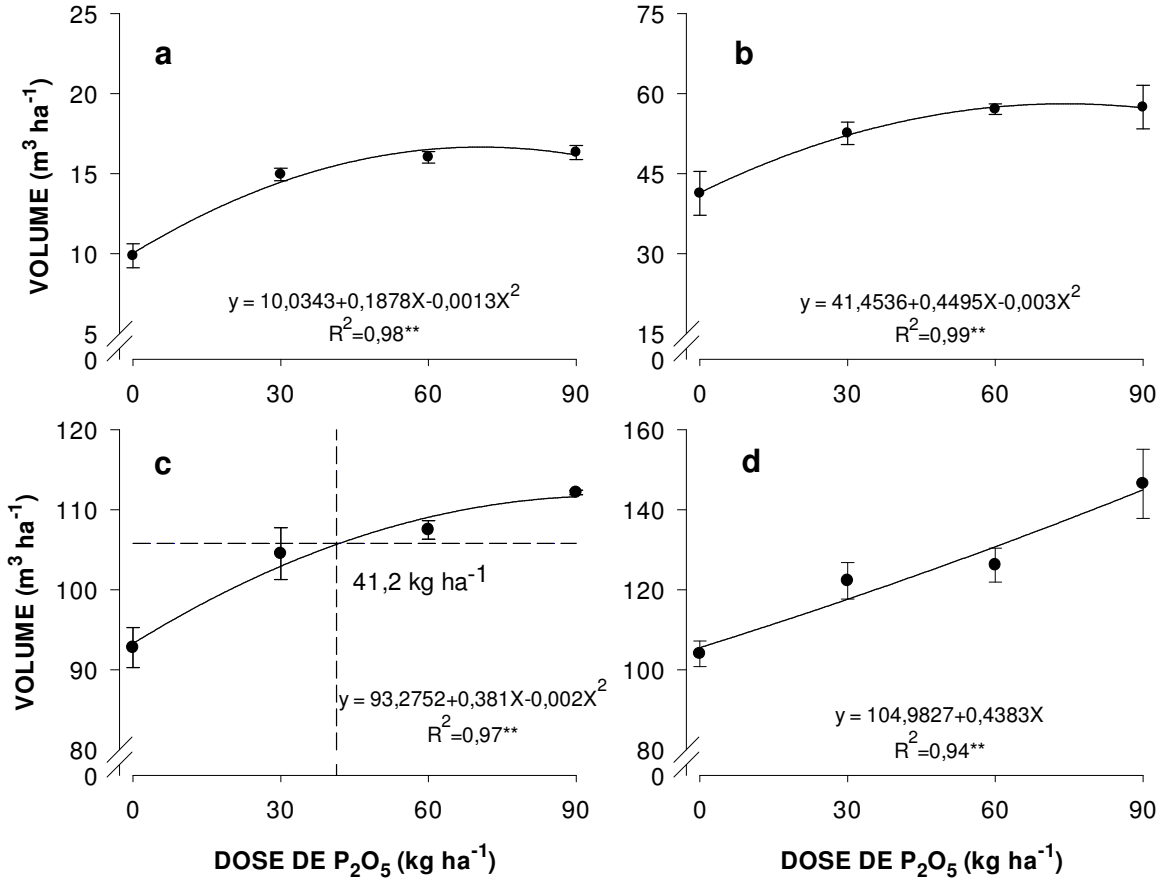

Figura 28 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* em função da idade e da dose de P_2O_5 aplicada em Neossolo Quartzarênico, localizado em Ribas do Rio Pardo, aos 24 meses (a), 36 meses (b), 48 meses (c), 60 meses (d). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

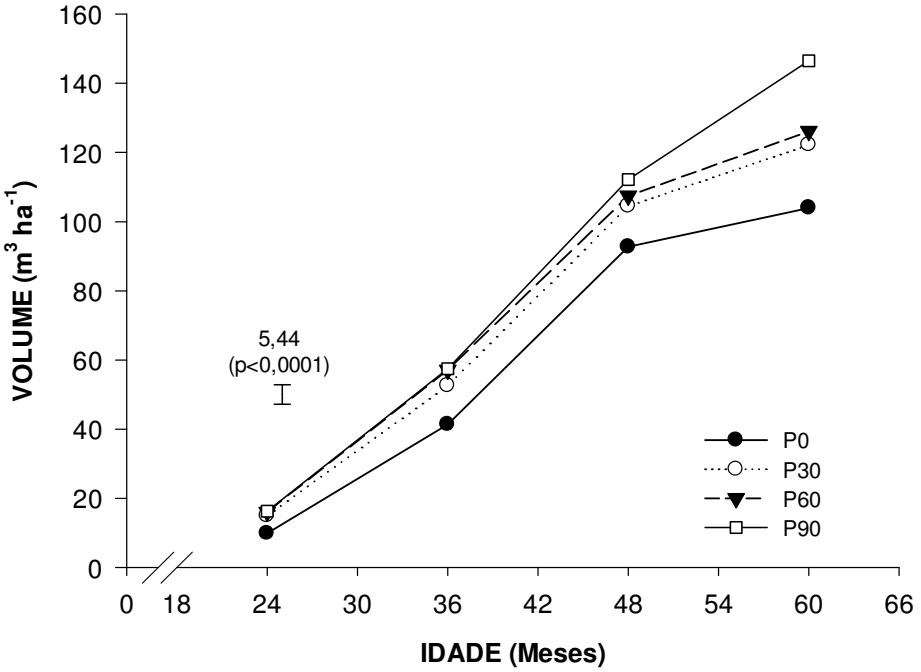

Figura 29 - Volume de madeira com casca para *E.grandis x urophylla* aos 24, 36, 48 e 60 meses de idade de acordo com a dose de P_2O_5 aplicada (kg ha^{-1}) em um RQ no município de Ribas do Rio Pardo, MS. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F

4.2.2 Mogi-Guaçu

4.2.2.1 Fertilidade do solo

Embora não tenham sido significativas (p>0,05), com exceção do tratamento P90, variações nos teores de MOS foram observadas para a camada de 0-10 cm (Tabela 24). Houve aumento nos teores de MOS, após os 24 meses, o que pode ser atribuído à ciclagem biogeoquímica (GONÇALVES, MENDES E SASAKI, 2001). Resultados similares também foram obtidos com as doses de N aplicadas em Mogi-Guaçu. Destes, depreende-se que as alterações nos teores de MOS estão mais relacionadas aos processos naturais de ciclagem do que às doses aplicadas.

Poucos trabalhos relacionados à fertilidade do solo em plantações de eucalipto no Brasil apresentam a variação dos atributos químicos do solo com a idade. Em experimento realizado com manejo de resíduos de eucalipto em Itatinga-SP, incrementos similares nos teores de P, foram constatadas no solo durante o primeiro ciclo (ROCHA, 2014). Estas variações foram atribuídas à ciclagem de folhas, galhos e raízes, disponibilizando nutrientes ao solo.

A aplicação de P no solo não apresentou diferenças no seu teor no solo dentro de uma mesma idade em todas as camadas.

Tabela 24 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de P_2O_5 em plantações de *E.urophylla x globulus*, em LVAd, Mogi-Guaçu, SP

Dose de P_2O_5	MOS					pH					P					K					Ca					Mg				
	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]
kg ha^{-1}	g dm^{-3}										mg dm^{-3}					mmol$_c$ dm^{-3}														
0-10 cm																														
0	10,7	1,8	14,7	1,2	**ns**	5,4	0,3	5,2	0,4	**ns**	2,0	0,0	3,0	0,0	**1,0**	0,4	0,1	0,5	0,1	**ns**	28,0	1,5	26,7	10,1	**ns**	6,7	2,0	7,0	1,0	**ns**
30	11,3	0,9	14,3	2,2	**ns**	5,5	0,4	5,3	0,3	**0,1**	5,7	2,2	6,3	1,3	**ns**	0,2	0,0	0,4	0,1	**0,1**	28,0	9,2	27,0	8,1	**ns**	4,0	0,6	5,3	0,9	**ns**
60	11,7	0,3	14,3	0,7	**1,0**	5,1	0,1	4,5	0,3	**ns**	3,7	0,9	5,0	0,0	**ns**	0,4	0,0	0,5	0,0	**ns**	25,0	1,5	21,0	4,5	**ns**	6,0	1,5	7,7	0,7	**ns**
90	10,3	1,2	14,0	1,0	**ns**	5,6	0,4	4,6	0,1	**ns**	6,0	1,5	4,7	0,3	**ns**	0,3	0,1	0,5	0,1	**ns**	25,0	5,0	17,0	3,5	**ns**	5,3	0,3	6,7	1,3	**ns**
DMS[2]																														
10-20 cm																														
0	13,0	2,1	11,7	0,9	**ns**	5,3	0,4	4,8	0,3	**ns**	3,0	0,6	3,3	0,3	**ns**	0,5	0,1	0,4	0,1	**ns**	19,0	4,6	19,0	5,5	**ns**	4,7	0,3	5,3	0,9	**1,4**
30	7,7	0,3	9,3	1,8	**ns**	5,8	0,2	5,1	0,6	**ns**	3,0	0,6	6,3	1,8	**ns**	0,3	0,0	0,3	0,1	**ns**	26,7	2,7	25,7	11,3	**ns**	3,7	0,7	3,7	0,9	**ns**
60	10,3	0,3	13,3	1,3	**ns**	4,8	0,2	4,6	0,3	**ns**	3,3	1,3	4,0	1,2	**ns**	0,4	0,1	0,5	0,1	**ns**	14,7	3,5	16,7	4,9	**ns**	5,0	1,0	5,7	0,3	**2,6**
90	12,3	1,9	11,0	0,6	**ns**	5,6	0,4	4,4	0,1	**ns**	4,3	0,7	4,3	0,3	**ns**	0,4	0,1	0,4	0,1	**ns**	20,7	4,4	14,7	5,7	**ns**	5,0	1,2	4,7	0,3	**ns**
DMS[2]	**3,6**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**0,1**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**2,0**		
20-40 cm																														
0	10,0	1,0	8,7	1,2	**ns**	5,1	0,5	4,5	0,2	**ns**	2,3	0,3	3,3	0,9	**ns**	0,3	0,1	0,2	0,1	**ns**	11,3	3,3	13,0	4,6	**ns**	3,3	0,3	3,0	0,6	**ns**
30	7,3	0,7	9,7	1	**1,4**	5,1	0,0	5,2	0	**ns**	2,0	0,5	3,0	0	**ns**	0,3	0,0	0,3	0	**ns**	15,3	0,7	11,0	2,9	**ns**	3,0	0,5	3,0	0	**ns**
60	10,2	1,4	11,6	1,7	**ns**	5,2	0,3	4,7	0,3	**ns**	3,3	1,1	4,1	1,0	**ns**	0,3	0,1	0,4	0,1	**ns**	19,6	5,1	17,4	6,3	**ns**	4,5	1,0	4,8	1,1	**ns**
90	9,0	1,5	8,3	0,3	**ns**	5,1	0,2	4,1	0,1	**0,9**	2,7	0,3	3,0	0,0	**ns**	0,3	0,1	0,2	0,0	**ns**	10,3	0,3	7,3	1,3	**ns**	3,7	0,3	2,7	0,3	**1,1**
DMS[2]	**1,4**		**ns**			**ns**		**0,7**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		

[1] ; significância a 5% pelo teste t (LSD) para a variação do atributo entre as idades;[2] significância a 5% pelo teste t (LSD) entre os tratamentos em uma mesma idade. MOS, extraído por via úmida; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K extraídos pelo método da resina trocadora de íons; P, determinado por colorimetria; K, determinado por fotometria de chama; Ca e Mg, determinados por espectofotometria de absorção atômica.

4.2.2.2 Estado nutricional

Os teores dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg e dos micronutrientes B, Fe, Zn e Mn diminuíram com a idade ($p<0,0001$) (Tabela 25). Resultados semelhantes foram encontrados para P, K, Ca, Mg, B, Zn, Mn, Cu e B em plantações de *E. grandis*, na região de Santa Barbara, MG (Leite *et al.*, 2011). Essas variações se devem ao crescimento das árvores, ocasionando o efeito de diluição sobre os teores nutricionais foliares (LACLAU *et al.*, 2010).

O teor de P nas folhas foi influenciado pela dose de P aplicada ($p<0,01$). Para os demais nutrientes não foram verificadas variações. Estes resultados indicam que a aplicação de P não apresentou efeitos benéficos ou inibidores sobre a absorção dos demais nutrientes avaliados para as doses testadas. Resultados similares foram encontrados por Ismael *et al.* (1998) com aumento dos teores foliares de P devido à dose de P aplicada, em plantações de *E. grandis*, aos 6 meses de idade. O autor verificou que as maiores diferenças se deram entre omissão do nutriente e as demais doses.

Os teores foliares de P aumentaram até os 12 meses e, a partir de então, decaíram para valores próximos aos observados aos 6 meses (Figura 30). Aos 6 meses, os teores foliares de P foram de 0,7 e 0,8 g kg^{-1} para P0 e P90, respectivamente. Aos 12 meses, foram de 1,1 e 1,5 g kg^{-1}, e, aos 36 meses, de 0,6 e 0,7 g kg^{-1}. Resultados similares foram encontrados em plantações de *E. globulus* entre 2 e 6 anos de idade na Espanha (MERINO *et al.*, 2003). Teores foliares próximos a 0,6 g kg^{-1} de P foram encontrados para solos com teores de P maiores que 4 mg kg^{-1}. Estes resultados foram superiores aos obtidos em plantios de *E. globulus* com 9 anos de idade na Índia, cujos valores médios de P foram 0,35 g kg^{-1} (NEGI; SHARMA, 1996). Plantações de *E. globulus* e híbridos da espécie apresentam menores teores de P nas folhas quando comparadas a demais espécies do gênero (HARRISON *et al.*, 2000; MILLNER; KEMP, 2012).

Os teores foliares de P estiveram abaixo da faixa adequada proposta Gonçalves (2011) para a cultura de Eucalipto no Brasil, com exceção dos resultados aos 12 meses, os quais estiveram dentro da faixa adequada. Esses resultados sugerem uma faixa adequada abaixo daquela proposta por Gonçalves (2011), dado que não foram verificadas respostas expressivas quanto à dose de P aplicada e, o teor do nutriente no solo está em uma faixa classificada como adequada.

Não houve interação entre os tratamentos e a idade das plantas ($p>0,05$). Houve efeito da variação entre blocos para o S e o B, durante todo o período avaliado ($p<0,0001$).

Tabela 25 - Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn em híbrido de *E. urophylla x globulus* aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade em resposta à fertilização fosfatada em LVAd no município de Mogi-Guaçu, SP

Fonte de Variação	Tratamento	Bloco	Trat, vs, Idade	Idade	Erro	LSD
GL	3	3	9	3	33	
			Quadrado Médio			
N	0,92ns	8,37ns	6,37ns	182,05**	5,55	1,9
P	0,08**	0,01ns	0,03ns	1,03**	0,02	0,1
K	2,00ns	1,27ns	0,87ns	91,62**	0,84	0,7
Ca	1,5ns	0,97ns	0,95ns	11,10**	1,21	0,9
Mg	0,07ns	0,12ns	0,03ns	1,54**	0,04	0,2
S	0,20ns	0,58*	0,20ns	7,90ns	0,14	0,3
B	71,66ns	354,25**	28,76ns	1247,87**	61,84	6,3
Fe	445,97ns	332,99ns	265,40ns	8024,13**	154,7	9,9
Zn	27,31ns	149,94ns	36,78ns	404,62**	57,52	6
Mn	18449,85ns	87,33ns	609,98ns	54240,28**	6937,96	66,5

(1) Diferença mínima significativa pelo teste t (LSD) a 5% de significância; (2) nível de significância: ns: não significativo, *5% e **1%; Trat vs Idade, interação tratamento x idade

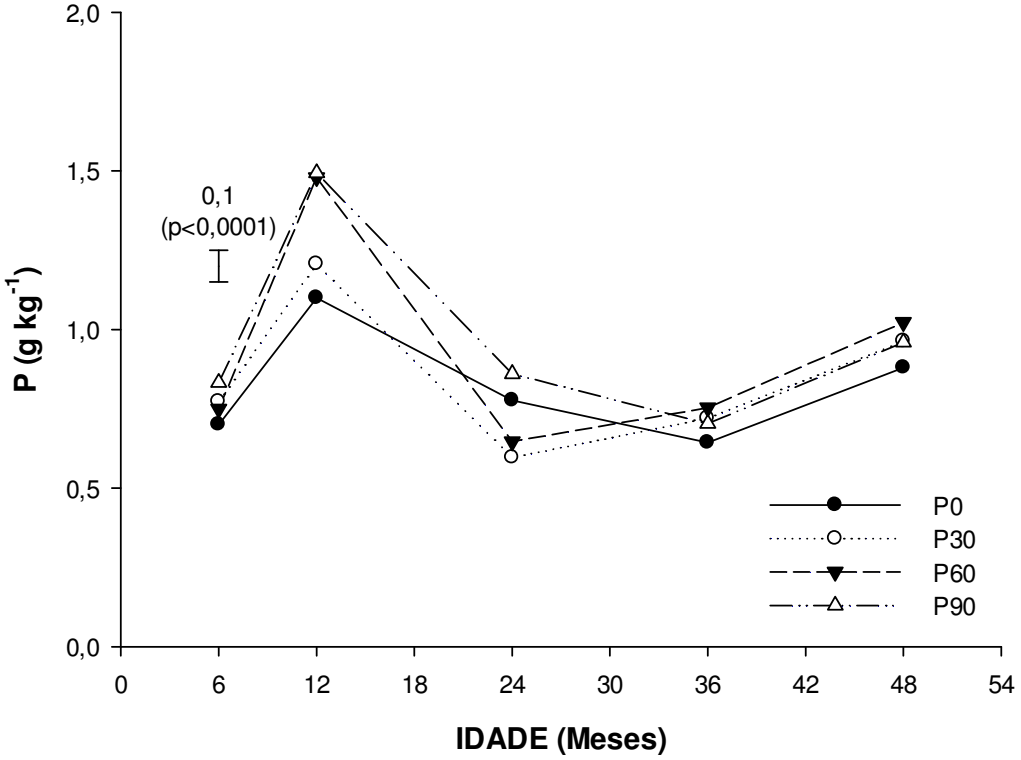

Figura 30 - Teor foliar de P em *E. urophylla x globulus* em resposta à fertilização fosfatada e da idade em LVA localizado em Mogi-Guaçu, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD

4.2.2.3 Índice de área foliar

Verificou-se, aos 30 meses, o pico de IAF, com valor médio de 3,4 m^2 m^{-2} (Figura 31). Após este período, os valores de IAF apresentaram diminuições gradativas aos 36 e 48 meses com 3,28 e 3,08 m^2 m^{-2} para a média entre os tratamentos P0 a P90. O comportamento do IAF indica a diminuição da resposta à dose aplicada com o tempo, a partir dos 30 meses, resultante da retranslocação de P e aumento da competição por água e nutrientes (GONÇALVES *et al.*, 2013).

O IAF aos 18 meses foi de 2,8 e 2,9 m^2 m^{-2} para P0 e P90, respectivamente. Aos 24 meses, de 3,0 e 3,3 m^2 m^{-2} e, de 3,1 e 3,3 m^2 m^{-2}, aos 48 meses. As diferenças foram significativas apenas aos 24 meses, entre P0 e P90. Tal resultado coincidiu com o período de maior resposta em volume de madeira, com diferenças de 28% entre os tratamentos P0 e P90. Estes resultados reforçam a utilização do IAF como variável indicativa do status nutricional das plantações de eucalipto, mas para isso, deve-se verificar o período do ano para se realizar as avaliações, visto que em períodos de menor disponibilidade de água, os valores de IAF tendem a se igualar.

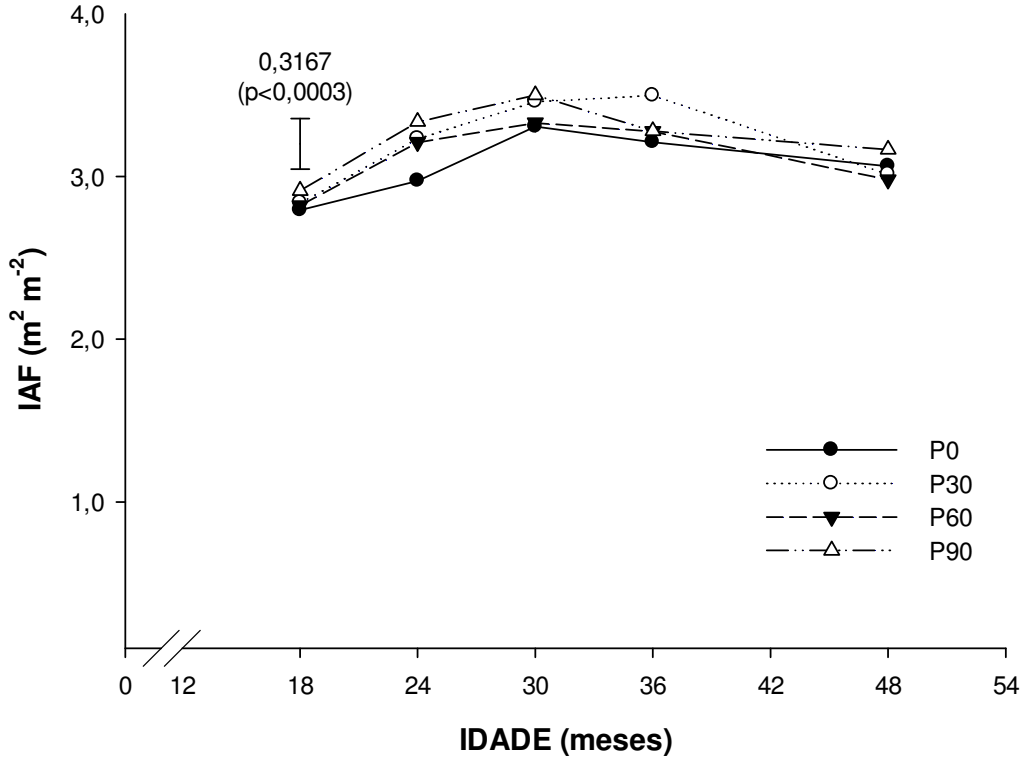

Figura 31- Índice de Área Foliar (IAF) de *E. urophylla x globulus*, em resposta à fertilização com P_2O_5 (kg ha^{-1}) e da idade em um LVA, no município de Mogi-Guaçu, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância. O valor entre parênteses representa a significância ao teste F

4.2.2.4 Crescimento das árvores

A fertilização fosfatada proporcionou respostas significativas no crescimento das árvores, respostas as quais diminuíram com a idade (Figura 32). Aos 18 meses, o ganho em volume com a aplicação do tratamento P90 foi 41% superior ao tratamento P0, 30% superior aos 24 meses, 15% superior aos 36 meses e 10% superior aos 48 meses. Solos com teores de P maiores que 4 mg dm^{-3} apresentam pequenas respostas ou não respondem à fertilização fosfatada para plantações de eucalipto (GONÇALVES *et al,* 2008). Em solos com teores de P maiores que 4 mg dm^{-3}, as respostas à fertilização fosfatada diminuem com a idade e, desaparecem até os 24 meses de idade. Tais respostas são descritas por Gonçalves *et al.* (2008), apresentando aceleração inicial no crescimento, contudo, desaparecendo até o final do segundo ou terceiro ano. Depois deste período, a qualidade do sítio prevalece (BARROS; NEVES; NOVAIS, 2004). Apenas em sítios com teores muito baixos de P (< 4 mg dm^{-3}) no solo as respostas se mantem até o final do ciclo. Este efeito é resultante da dependência do sistema radicular aos teores de P mais próximos. Com o desenvolvimento do sistema radicular, as árvores têm acesso a maiores quantidades de P no solo (FERNANDEZ *et al*., 2000).

A partir da análise de regressão realizada para a resposta em volume aos 18, 24, 36 e 48 meses foi possível calcular a dose para produção máxima (Tabela 26). Notou-se que devido à diminuição nas respostas, a dose calculada diminuiu com a idade. Aos 18 meses de idade, a dose foi de 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 e de 57,4 kg ha^{-1} de P_2O_5 aos 48 meses. Estes resultados demonstram a importância em se avaliar respostas de crescimento até estádios avançados de crescimento do povoamento para correta definição da necessidade de fertilização fosfatada. Resultados semelhantes foram obtidos em plantações de *E. grandis* sob condições de pH equivalente a 3,8 e teores de P pelo método da resina iguais a 8,3 mg kg^{-1} (VALERI; AGUIAR; CORRADINI, 1993). Estes autores encontraram respostas para doses crescentes de P até os 4 anos, desaparecendo posteriormente. Os valores de recomendação obtidos com o presente trabalho se assemelham àqueles previamente propostos para os solos brasileiros, de acordo com com os teores de argila e P no solo verificados, de 20 a 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 (GONÇALVES *et al.*, 2008).

As diferenças entre as doses de 30, 60 e 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 relativamente ao tratamento P0 foram significativas a partir dos 18 meses (Figura 33). O incremento percentual entre o tratamento P0 e P90 decaiu com a idade. O resultado aos 48 meses indica valores de

136 e 134,4 m^3 ha^{-1} em volume de madeira com casca para os tratamentos P30 e P90. Esses valores demonstram não haver diferença entre as doses.

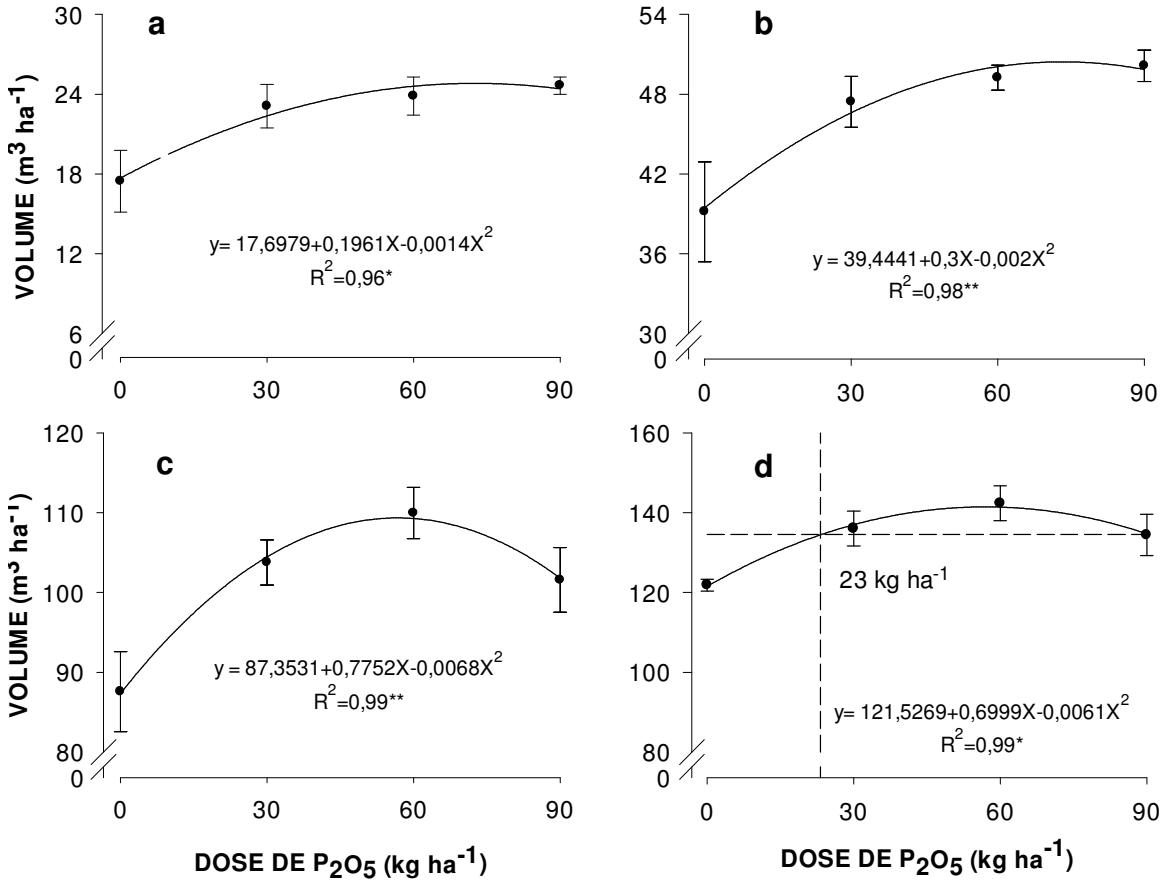

Figura 32 - Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* em função da idade e da dose de P_2O_5 aplicada em Latossolo Vermelho Amarelo aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

Em relação à dose para produção máxima, a dose obtida pelo método gráfico foi 60% menor, indicando que ao se diminuir em 5%, ou 7 m^3 ha^{-1}, a produção esperada, haveria uma redução na aplicação de P equivalente a 35 kg ha^{-1}. Para sítios de baixa produtividade a diminuição na aplicação de fertilizantes seria interessante, mas para sítios de altas produtividades, 5% da produção podem justificar a aplicação da dose máxima.

Tabela 26 – Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* localizado em um LVAd no município de Mogi-Guaçu, em diferentes idades para a dose máxima pela equação de regressão com a produção de madeira em m^3 ha^{-1}

Idade	**Dose**	**Produção Máxima**
Meses	kg ha^{-1}	m^3 ha^{-1}
18	70,0**	24,6
24	75,0**	50,7
36	57,0**	109,4
48	57,8**	141,6

**: significância a 1% pelo teste F

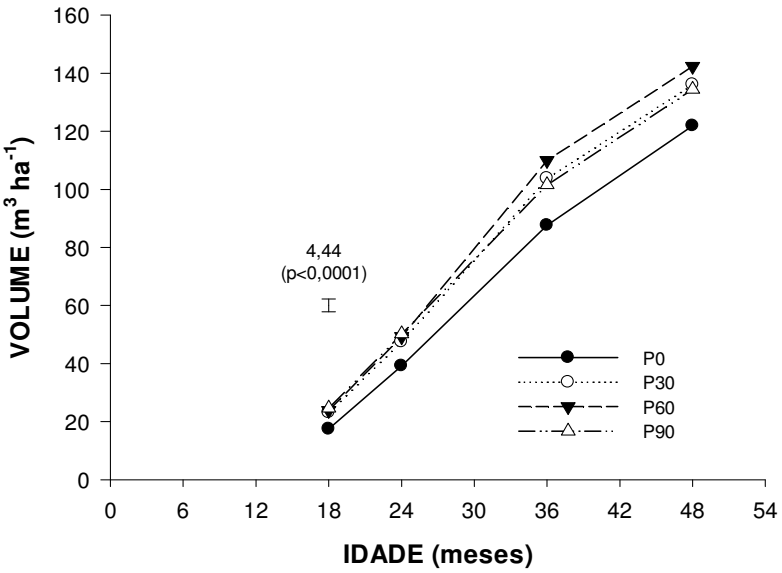

Figura 33 – Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36 e 48 meses de acordo com a dose de P_2O_5 aplicada (kg ha^{-1}) em um LVA no município de Mogi-Guaçu, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F

4.2.3 Luís Antônio

4.2.3.1 Fertilidade do solo

A MOS apresentou diferenças entre os tratamentos para a camada de 0-10 cm aos 24 meses e, para a camada de 10-20 cm, aos 24 e 48 meses, no entanto estas variações não se relacionaram às doses aplicadas (Tabela 27). Os tratamentos com os maiores teores de MOS foram P0 e P90. Admitiu-se, portanto, a variabilidade natural do solo como a fonte das variações nos teores de MOS. Alterações no pH do solo foram verificadas para o tratamento P90 aos 48 meses na camada de 10-20 cm. Aos 24 meses, o pH foi de 5,1 e aos 48 meses, de 4,6. Tais variações não foram verificadas para os demais tratamentos e podem, portanto, ser compreendidas como resultado da variabilidade química dos locais coletados e não como resultantes da aplicação do tratamento P90. Demais trabalhos com respostas significativas à aplicação de fertilizantes fosfatados, nitrogenados e omissão de nutrientes para plantações de eucalipto no Brasil também não apresentaram alterações nos valores de pH (ALMEIDA, 2009; JESUS *et al.*, 2012; ROCHA, 2014).

A aplicação do P não foi suficiente para elevar seus teores solo entre os 24 e 48 meses, devido as quantidades aplicadas e ao método de aplicação, localizado em covetas laterais. Os teores de Ca e Mg apresentaram pequenas variações entre os 24 e 48 meses com teores médios de 22,6 $mmol_c$ dm^{-3} para o Ca e 4,9 $mmol_c$ dm^{-3} para o Mg aos 48 meses na camada de 0-10 cm.

Tabela 27 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de P_2O_5 em plantações de *E.urophylla x globulus*, em RQ, Luís Antônio, SP

Dose de P_2O_5	MOS					pH					P					K					Ca					Mg				
	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]
kg ha^{-1}	g dm^{-3}										mg dm^{-3}					mmol$_c$ dm^{-3}														
0-10 cm																														
0	18,3	2,3	20,0	2,0	**1,5**	4,9	0,3	4,9	0,2	**ns**	8,3	1,2	8,7	0,3	**ns**	0,4	0,1	0,4	0,1	**ns**	22,3	0,3	23,7	2,7	**ns**	4,0	0,6	4,3	0,3	**ns**
30	14,0	1,2	15,7	1,9	**ns**	5,0	0,2	4,9	0,1	**ns**	7,7	0,7	7,0	0,5	**ns**	0,4	0,1	0,5	0,1	**ns**	22,7	0,9	22,0	2,5	**ns**	4,3	0,7	4,3	0,3	**ns**
60	17,0	2,5	15,7	0,7	**ns**	4,9	0,1	4,8	0,1	**ns**	8,3	1,0	8,7	1,1	**ns**	0,4	0,0	0,5	0,1	**ns**	26,5	2,9	24,7	5,2	**ns**	4,7	0,9	6,7	2,7	**ns**
90	21,7	2,0	20,0	1,0	**ns**	5,1	0,0	4,9	0,1	**ns**	8,0	0,0	8,3	0,3	**ns**	0,5	0,1	0,5	0,1	**ns**	21,7	1,5	20,0	2,3	**ns**	4,7	0,7	4,3	0,3	**ns**
DMS[2]	**6,9**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
10-20 cm																														
0	16,7	1,9	16,5	1,2	**ns**	4,8	0,3	4,6	0,1	**ns**	6,7	1,1	6,5	0,3	**ns**	0,4	0,0	0,3	0,1	**ns**	20,5	2,0	17,5	0,4	**ns**	4,0	0,6	3,0	0,8	**ns**
30	12,7	0,7	14,0	2,0	**ns**	4,9	0,2	4,5	0,0	**ns**	6,0	1,4	6,0	0,8	**ns**	0,4	0,1	0,4	0,1	**ns**	15,3	1,2	16,3	1,5	**ns**	4,3	0,9	3,7	0,7	**ns**
60	14,7	0,3	15,3	1,2	**ns**	4,8	0,0	4,6	0,1	**ns**	4,7	0,3	4,7	0,3	**ns**	0,4	0,1	0,4	0,1	**ns**	15,7	0,9	14,7	1,3	**ns**	4,0	0,6	2,3	0,3	**1,5**
90	18,7	1,7	16,7	0,3	**ns**	5,1	0,1	4,6	0,1	**0,2**	6,7	0,5	8,0	0,8	**ns**	0,5	0,2	0,5	0,1	**ns**	20,7	2,4	20,0	2,0	**ns**	3,7	1,2	3,7	0,3	**ns**
DMS[2]	**3,8**		**2,6**			**ns**		**ns**			**ns**		**2,7**			**ns**		**0,2**			**3,2**		**ns**			**ns**		**1,1**		
20-40 cm																														
0	14,0	1,7	15,0	1,6	**ns**	4,6	0,2	4,8	0,0	**ns**	5,7	0,3	5,5	0,3	**ns**	0,3	0,0	0,6	0,1	**0,3**	18,7	0,7	17,5	0,4	**ns**	3,3	0,3	3,5	0,4	**ns**
30	14,3	1,9	13,3	2,4	**ns**	4,8	0,1	4,6	0,3	**ns**	7,0	0,5	6,0	0,5	**ns**	0,3	0,1	0,4	0,1	**ns**	11,3	0,7	11,0	1,0	**ns**	3,7	0,9	3,3	0,9	**ns**
60	16,3	2,2	14,7	1,7	**ns**	4,7	0,0	4,7	0,1	**ns**	6,3	0,3	6,7	0,5	**ns**	0,3	0,1	0,4	0,0	**0,1**	14,0	1,5	15,0	3,1	**ns**	3,7	0,3	4,3	1,2	**ns**
90	14,0	1,7	15,3	2,9	**ns**	4,8	0,1	4,6	0,1	**ns**	4,7	0,7	8,0	0,8	**3,1**	0,4	0,1	0,5	0,1	**ns**	14,3	2,9	15,3	5,2	**ns**	3,7	0,7	2,7	0,3	**ns**
DMS[2]	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**2,0**		**2,7**			**ns**		**ns**			**5,4**		**ns**			**ns**		**ns**		

[1] ; significância a 5% pelo teste t (LSD) para a variação do atributo entre as idades;[2] significância a 5% pelo teste t (LSD) entre os tratamentos em uma mesma idade. MOS, extraído por via úmida; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K extraídos pelo método da resina trocadora de íons; P, determinado por colorimetria; K, determinado por fotometria de chama; Ca e Mg, determinados por espectofotometria de absorção atômica.

4.2.3.2 Estado nutricional

O teor foliar de P não respondeu às doses de P_2O_5 aplicadas ($p>0,05$) (Tabela 28). Assim como os resultados em volume de madeira, os teores de P no solo influenciaram seus teores foliares. Em condições de baixa disponibilidade de P no solo, diferenças nos teores foliares do nutriente para plantações de eucalipto foram verificadas aos 12 meses e, aos 52 meses, desapareceram em plantações de *E. urophylla*, na China (XU *et al*., 2002).

O teor de P diminuiu com a idade ($p<0,01$) variando de 1,4 para 0,8 g kg^{-1} (Figura 34) e pode ser atribuído à retranslocação do nutriente para o tronco para a produção de madeira (HARRISON *et al.*, 2000). De acordo com experimentos realizados no Congo (África), e em Itatinga-SP, a demanda de P pelas folhas diminui com a idade. Ao final do primeiro ano, 55% do P acumulado se encontrava nas folhas e, ao final do sétimo ano, apenas 34%. À medida que a demanda pelos tecidos lenhosos (galhos, casca e caule) aumenta, de 37% ao final do primeiro ano para 62% aos sete anos de idade para plantações clonais de eucalipto, os teores foliares diminuem (LACLAU*, et al.*, 2003).

Os maiores teores de P, verificados aos 6 meses, foram atribuídos a aplicação de P em dose única (quinze dias após o plantio) e, por isso, diminuíram gradativamente com a idade, a partir dos 6 meses. Tais resultados indicam que as plantas absorveram grande parte do P aplicado nos primeiros meses de idade.

A idade diminuiu os teores de todos os nutrientes, com exceção do Mn. Esta diminuição foi causada pelo efeito de diluição atribuído ao crescimento do tronco (LACLAU; BOUILLET; RANGER, 2000). Devido aos maiores incrementos em volume a partir dos 12 meses, os nutrientes acumulados nas folhas foram retranslocados para outros compartimentos (raízes, tronco e galhos).

O crescimento dos tratamentos não foi influenciado pelas doses aplicadas, os teores foliares de P estiveram abaixo da faixa adequada para plantações de eucalipto *E.grandis* e *E. urophylla* no Brasil (GONÇALVES, 2011). Assim, estes resultados indicam que a faixa adequada para o híbrido *E. urophylla x E. globulus* não se equivale à proposta, ou que o período de coleta das folhas para análise não foi o ideal para identificação das diferenças. Resultados apresentados para plantações de *E. globulus* na Europa e Ásia apresentaram teores médios de P em plantações de *E. globulus* próximos (0,3 e 0,6 g kg^{-1}) aos verificados neste estudo para os sítios de Mogi-Guaçu e Luis Antônio (NEGI; SHARMA, 1996; MERINO *et al.*, 2003).

Tabela 28 - Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn foliares em híbrido de *E. urophylla x globulus* aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade em resposta à fertilização fosfatada em RQ em Luis Antônio, SP

Fonte de Variação	Tratamentos	Bloco	Trat, vs, Idade	Idade	Erro	LSD[1]
GL	3	3	9	3	33	
			Quadrado Médio[2]			
N	4,92ns	1,17ns	9,47ns	163,26**	371,65	2,68
P	0,01ns	0,1ns	0,02ns	0,68**	1,79	0,19
K	0,44ns	1,16ns	0,64ns	15,25**	47,24	0,95
Ca	0,59ns	0,69ns	0,63ns	14,30**	38,16	0,86
Mg	0,10ns	0,32ns	0,03ns	2,51**	3,88	0,27
S	0,03ns	0,001ns	0,05ns	4,85**	3,57	0,26
B	114,11ns	844,94*	83,14ns	12094,34**	7034,9	11,65
Fe	432,91ns	344,97ns	480,48ns	3281,22*	31812,92	24,78
Zn	39,42ns	15,57ns	36,43ns	124,06**	801,83	3,93
Mn	2346,53*	2440,62*	515,69ns	1995,14ns	24157,29	21,59

[1] Diferença mínima significativa pelo teste t (LSD) a 5% de significância; [2] nível de significância: ns: não significativo, *5% e **1%; Trat vs Idade, interação tratamento x idade

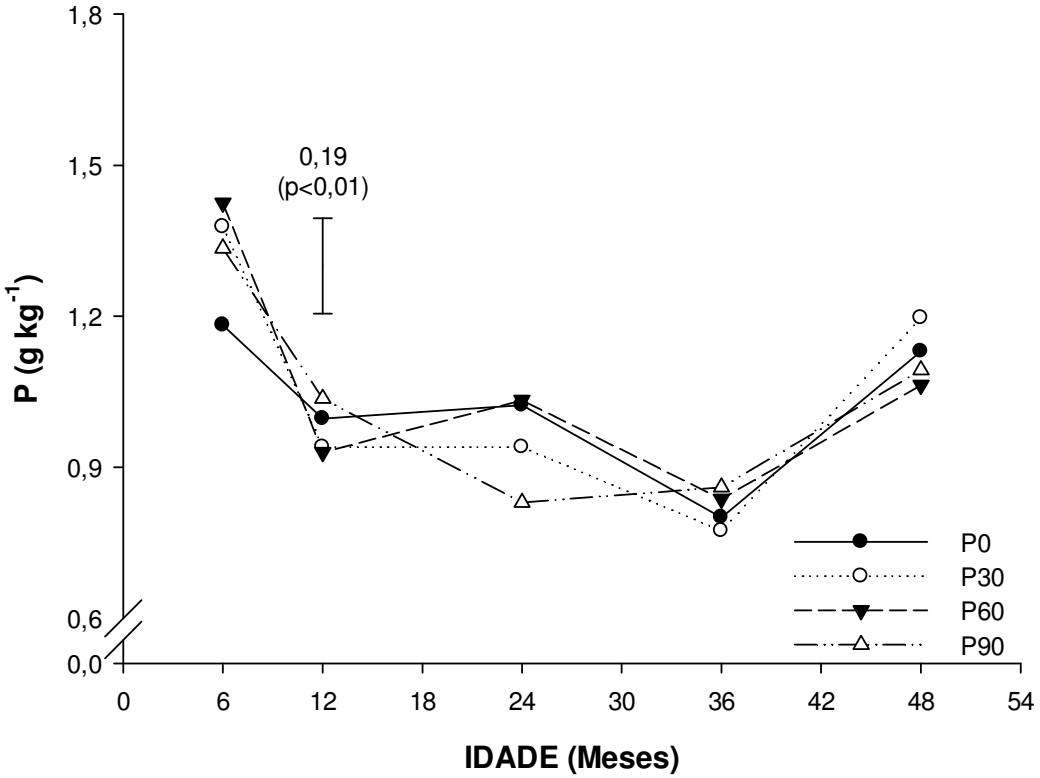

Figura 34 – Teores foliares de P em *E. urophylla x globulus* em resposta à fertilização fosfatada e da idade em RQ localizado em Luis Antônio, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD

4.2.3.3 Índice de área foliar

O IAF máximo foi verificado aos 36 meses para todos os tratamentos e os maiores ganhos em IAF nesta idade foram para os tratamentos P30 e P90, com valores de 4,6 e 4,4 m^2 m^{-2}, respectivamente (Figura 35). As diferenças entre os tratamentos aumentaram com a idade até os 36 meses, decaindo aos 48 meses para valores próximos aos encontrados aos 24 meses. A diferença entre os tratamentos também diminuiu aos 48 meses variando 0,1 m^2 m^{-2} entre P0 e P90. Os maiores valores de IAF, verificados aos 36 meses, coincidiram com os maiores incrementos corrente anuais (ICA) encontrados para os tratamentos. Estes resultados indicam que durante o período de maior crescimento, as diferenças entre os valores de IAF aumentaram e se tornaram significativas.

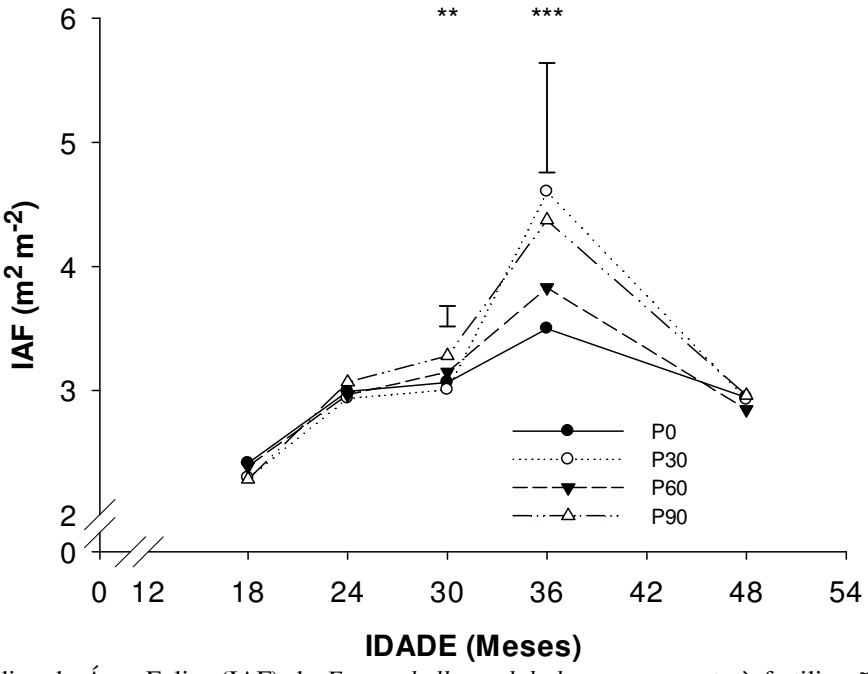

Figura 35 - Índice de Área Foliar (IAF) de *E. urophylla x globulus*, em resposta à fertilização fosfatada e da idade em RQ localizado em Luis Antônio, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância

4.2.3.4 Crescimento das árvores

As análises de regressão para o P em Luís Antônio não foram significativas entre os 18 e 48 meses (Figura 36). Aos 18 meses, a diferença entre o tratamento P0 e o P90 foi de 0,25 m^3 ha^{-1}, correspondendo a 1% e, de 4% aos 48 meses. Os resultados indicam inexistência de resposta às doses de P aplicadas. De acordo com Gonçalves (2011), solos com teores de P superiores a 4,0 mg dm^{-3} apresentam resposta baixa a nula à fertilização fosfatada, como comprovado neste sítio (Figura 37).

Respostas à aplicação de P foram obtidas em LVA com 0,0 mg dm^{-3}, para a aplicação de 140 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo (54 kg ha^{-1}) e fosfato natural de araxá (96 kg ha^{-1}), com ganhos de 98% sobre a omissão de P aos 9 anos após o plantio (Fernandez *et al.*, 2000). Em outro estudo, a fertilização fosfatada em solo com 1,8 g dm^{-3} de P em Kaiping, China apresentou ganhos de 33, 50 e 58% para a altura, aos 6 anos de idade do povoamento com a aplicação das doses de 13, 52 e 312 kg ha^{-1} de P, respectivamente. A dose recomendada para tais condições foi de 52 kg ha^{-1} atingindo mais de 80% da produtividade obtida com a dose máxima aplicada (XU *et al.*, 2002).

No presente estudo, os teores de P no solo estiveram acima de 8,0 mg dm^{-3} no momento da instalação do experimento. Desta forma, os resultados obtidos corroboraram as informações apresentadas em tabelas de recomendação de fertilização, com a ausência de respostas em crescimento. Devido aos altos valores de P no solo, mesmo para o método gráfico, a dose recomendada neste sítio com base na produção de madeira aos 48 meses foi 0 kg ha^{-1}

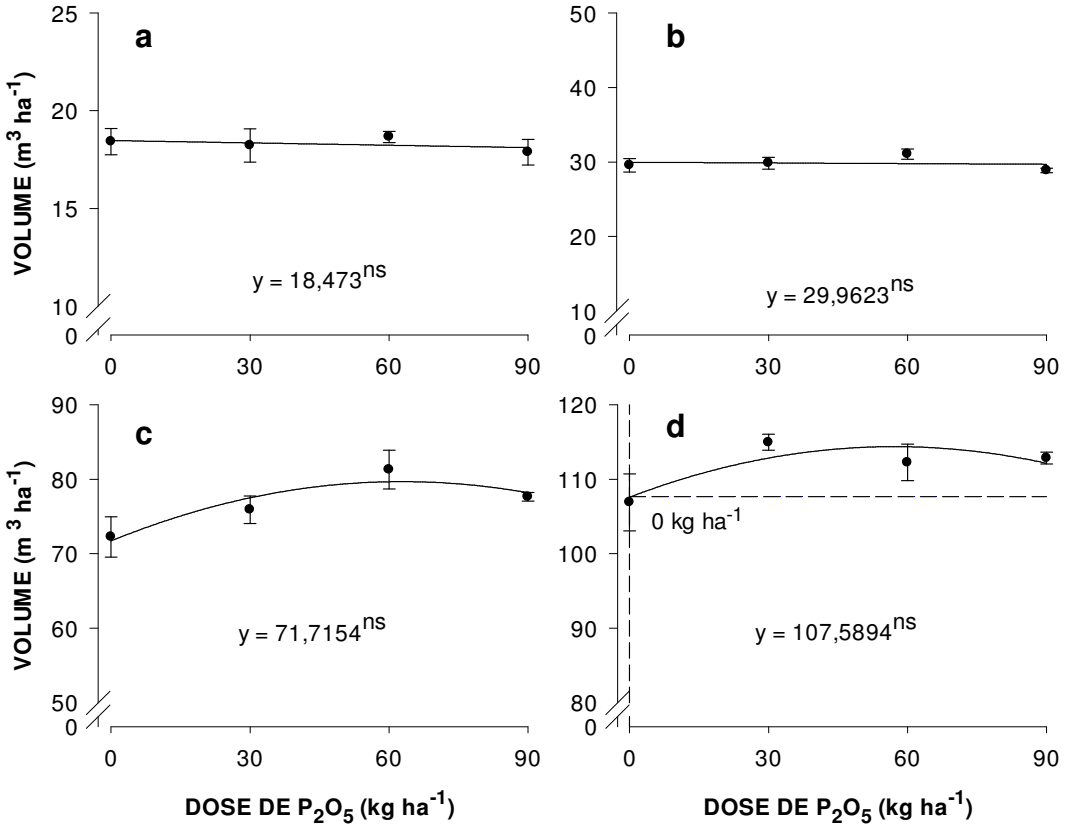

Figura 36 – Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* em função da idade e da dose de P_2O_5 aplicada em Neossolo Quatzarênico no município de Luís Antônio aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

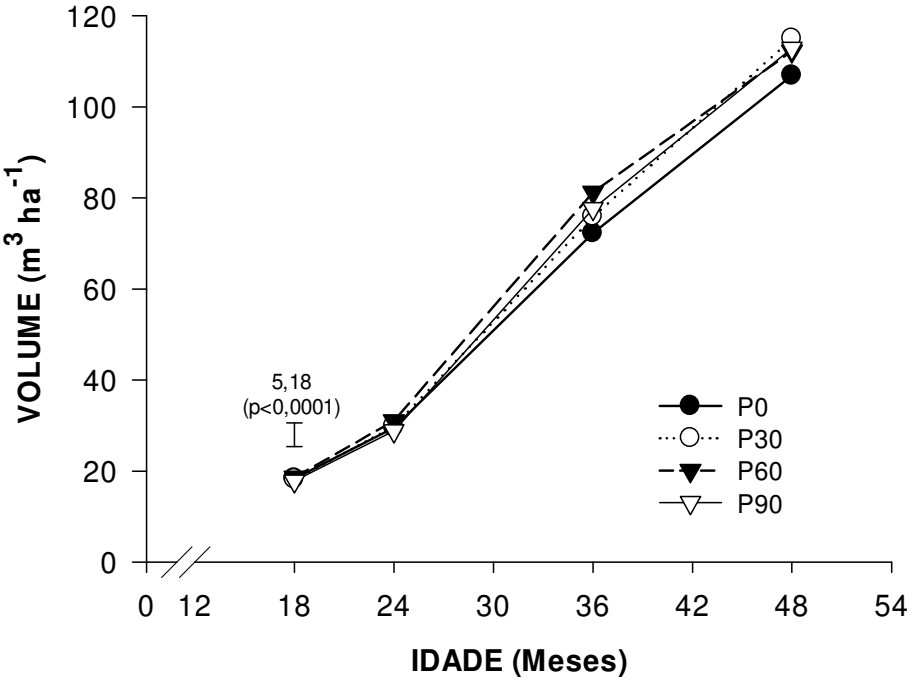

Figura 37 - Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36 e 48 meses de idade de acordo com a dose de P_2O_5 (kg ha^{-1}) aplicada em um RQ no município de Luís Antônio, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F

4.2.4 Paulistânia

4.2.4.1 Fertilidade do solo

Os teores de MOS foram numericamente muito próximos entre os 0 e 60 meses, os resultados das análises realizadas antes da instalação do experimento indicaram teores de MOS de 9,8 g dm^{-3} e de 10,7 g dm^{-3} aos 60 meses (Tabela 29). Aos 60 meses, os teores de MOS foram considerados baixos (GONÇALVES, 2011). Aos 48 meses, o teor de MOS apresentou seus maiores valores, atingindo teores de 19,3 g dm^{-3}.

Os teores de P no solo diminuíram com a idade, cerca de uma unidade para a camada de 0-10 cm entre os 0 e 48 meses. A resposta em crescimento aos tratamentos P30, P60 e P90 indicaram a demanda por P, estes resultados confirmaram-se pela diminuição nos teores de P no solo para a camadas de 0-10 cm e entre os 0 e 48 meses. Na instalação do experimento, o teor de P foi de 3 mg dm^{-3} e, aos 48 meses, os teores de P variaram entre 0,9 e 1,4 mg dm^{-3}. A diminuição dos teores de P no solo pode ser atribuída aos baixos teores iniciais e à resposta apresentada com a aplicação de doses crescentes de P.

Ca e Mg apresentaram pequenas variações nas idades de avaliação e embora os teores de Ca no solo fossem considerados baixos, não foram verificadas diminuições nos teores do nutriente em nenhuma das 3 camadas de solo avaliadas entre os 0, 48 e 60 meses. Os teores de

Mg também não sofreram diminuições, sendo sua disponibilidade no solo classificada entre baixa a média por seus valores variarem entre 2,6 e 6,6 $mmol_c$ dm^{-3} de acordo com o tratamento e idade avaliados.

De modo geral, não houve diferenças entre os tratamentos para cada atributo e profundidade, com exceção do K para a profundidade de 10-20 cm e para o Ca e Mg para a profundidade de 20-40 cm, contudo para estes atributos não foi observada nenhuma relação com os teores de P aplicados e pode-se atribuir à variabilidade da fertilidade do solo nos pontos amostrados.

Tabela 29 - Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm aos 48 e 60 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de P_2O_5 em plantações de *E.urophylla x globulus*, em RQ, Paulistânia, SP

	MOS					pH					P					K					Ca					Mg				
Dose de P_2O_5	48m		60m		**DMS¹**	48m		60m		**DMS¹**	48m		60m		**DMS¹**	48m		60m		**DMS¹**	48m		60m		**DMS¹**	48m		60m		**DMS¹**
kg ha^{-1}	g dm^{-3}					mg dm^{-3}										mmol$_c$ dm^{-3}														
0-10cm																														
0	19,3	1,4	10,7	2,2	**ns**	4,2	0,0	4,3	0,0	**ns**	1,0	0,4	2,3	0,2	**ns**	0,9	0,1	0,4	0,0	**ns**	2,7	0,1	3,0	0,3	**ns**	3,5	0,3	3,7	0,4	**ns**
30	12,6	2,0	9,0	0,7	**ns**	4,4	0,2	4,2	0,0	**ns**	0,9	0,1	2,0	0,0	**0,7**	1,0	0,2	0,4	0,0	**ns**	7,0	2,7	2,3	0,2	**ns**	6,6	2,8	3,3	0,2	**ns**
60	17,9	0,9	10,0	1,9	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,0	**ns**	1,1	0,3	2,0	0,0	**ns**	0,7	0,0	0,5	0,2	**ns**	2,2	0,1	2,3	0,2	**ns**	2,6	0,3	3,7	0,2	**0,5**
90	12,9	1,0	11,3	2,2	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,1	**ns**	1,4	0,4	2,0	0,0	**ns**	0,6	0,0	0,4	0,0	**ns**	4,9	1,1	3,0	0,6	**ns**	2,6	0,4	4,0	0,6	**ns**
DMS²	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
10-20cm																														
0	19,9	2,3	9,0	1,2	**4,9**	4,1	0,1	4,2	0,1	**ns**	1,2	0,5	2,0	0,0	**ns**	0,7	0,1	0,4	0,1	**0,2**	2,8	0,4	2,3	0,3	**ns**	2,3	0,8	2,0	0,0	**ns**
30	17,3	1,3	9,3	2,0	**5,6**	4,2	0,1	4,1	0,0	**ns**	0,7	0,1	2,0	0,0	**1,0**	0,7	0,0	0,3	0,1	**0,3**	3,2	0,7	2,3	0,2	**ns**	2,6	0,6	2,0	0,0	**ns**
60	17,0	1,0	9,0	0,7	**ns**	4,1	0,0	4,1	0,0	**ns**	1,0	0,3	2,0	0,0	**ns**	0,9	0,1	0,4	0,0	**ns**	2,6	0,2	2,7	0,2	**ns**	2,1	**0,3**	3,0	0,6	**ns**
90	12,9	1,1	10,0	2,3	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,1	**ns**	1,4	0,2	2,0	0,0	**ns**	0,5	0,0	0,4	0,0	**ns**	4,7	1,2	2,7	0,4	**ns**	2,3	**0,3**	3,7	0,5	**ns**
DMS²	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**0,3**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
20-40cm																														
0	16,6	0,6	7,7	0,8	**ns**	4,1	0,0	4,1	0,0	**ns**	0,6	0,2	2,0	0,0	**ns**	0,9	0,1	0,4	0,0	**ns**	2,2	0,1	2,0	0,0	**ns**	1,2	0,2	1,7	0,4	**ns**
30	16,1	1,5	7,7	1,0	**6,3**	4,1	0,0	4,1	0,0	**ns**	0,2	0,1	2,0	0,0	**0,9**	0,8	0,2	0,2	0,1	**ns**	2,4	0,2	2,7	0,2	**ns**	1,5	0,3	1,0	0,0	**ns**
60	16,4	0,9	8,0	3,0	**ns**	4,0	0,0	4,1	0,1	**ns**	0,8	0,5	2,0	0,0	**ns**	0,9	0,0	0,3	0,1	**ns**	2,4	0,3	3,0	0,0	**ns**	1,1	0,3	3,0	1,0	**ns**
90	11,8	1,3	9,0	1,2	**ns**	4,0	0,0	4,1	0,0	**ns**	0,6	0,1	2,0	0,0	**1,4**	0,6	0,1	0,2	0,0	**ns**	4,5	1,2	2,3	0,2	**ns**	1,8	0,4	2,0	0,3	**ns**
DMS²	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**0,7**			**ns**		**1,5**		

[1] ; significância a 5% pelo teste t (LSD) para a variação do atributo entre as idades;[2] significância a 5% pelo teste t (LSD) entre os tratamentos em uma mesma idade. MOS, extraído por via úmida; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K extraídos pelo método da resina trocadora de íons; P, determinado por colorimetria; K, determinado por fotometria de chama; Ca e Mg, determinados por espectofotometria de absorção atômica.

4.2.4.2 Estado nutricional

Os teores foliares de P foram superiores a 1,6 g kg^{-1} aos 24 meses (Figura 38), acima da faixa adequada para plantações de eucalipto no Brasil (GONÇALVES, 2011). Estes foram próximos àqueles verificados por Silva (2013) em plantações de *E. urophylla x grandis* em Anhembi, SP submetidas a diferentes doses de N, P e K, para as quais verificou-se valores de P em torno de 2,0 g kg^{-1} aos 24 meses. Resultados similares foram obtidos em plantações de *E. grandis x urophylla* aos 18 meses de idade com teores de P foliar iguais a 1,8 g kg^{-1} (VIERA *et al.*, 2012). Os teores de P nas folhas variaram de 0,8 a 1,8 g kg^{-1} entre os 6 e 24 meses, decrescendo após este período e, atingindo valores próximos a 1,3 g kg^{-1}(Figura 38). As diferenças entre os tratamentos diminuíram com a idade, após os 12 meses. Aos 12 meses, os teores de P variaram entre 0,6 e 1,0 g kg^{-1}. Aos 24 meses, ficaram entre 1,6 e 1,8 g kg^{-1} e, aos 48 meses, entre 1,0 e 1,2 g kg^{-1}.

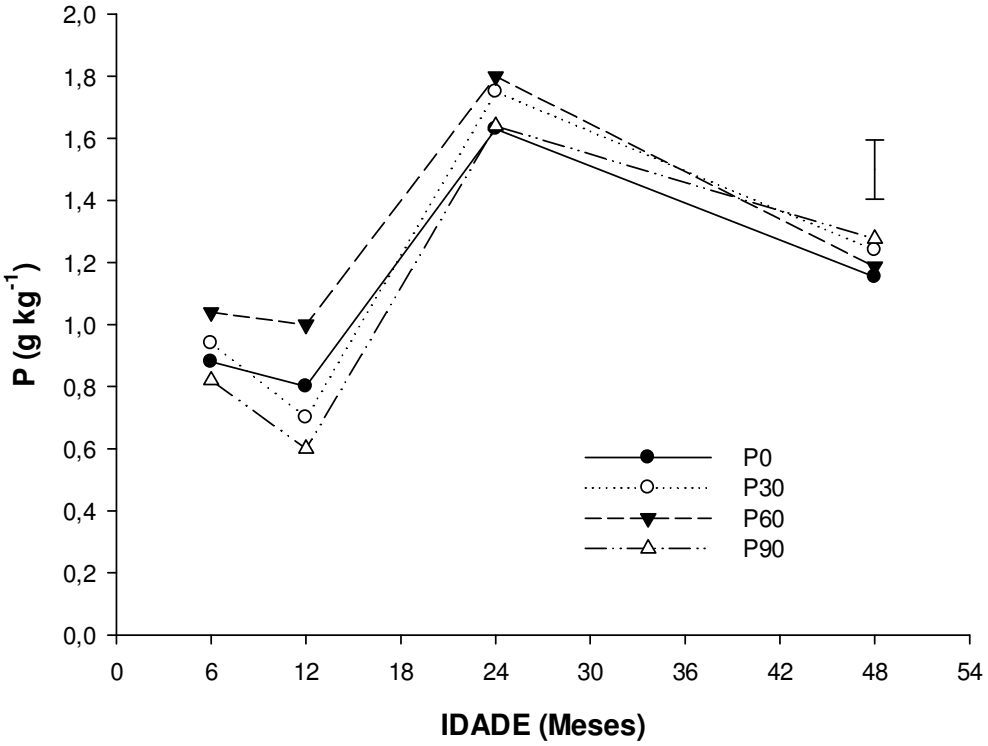

Figura 38 – Teores foliares de P em *E. grandis x urophylla* em resposta à fertilização fosfatada e idade em RQ localizado em Paulistânia, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD

4.2.4.3 Índice de área foliar

O IAF apresentou diferenças entre os tratamentos aos 30 meses (p<0,0001), sendo que após esta idade os valores de IAF não diferiram dentro de uma mesma idade (Figura 39). Estas avaliações foram realizadas durante o mês de junho, de baixa disponibilidade hídrica, o que pode ter influenciado nos resultados, sendo a quantidade de folhas de plantações de eucalipto diretamente relacionada com a época do ano e disponibilidade de água (XAVIER et al., 2002). O desenvolvimento do IAF não apresentou limitações como verificado em demais experimentos com *Eucalyptus spp* (BATTAGLIA *et al.*, 1998; SMETHURST *et al.*, 2003; LACLAU *et al.*, 2009). Diminuições nos valores de IAF com o desenvolvimento das árvores estão associadas a limitações impostas por fatores limitantes como água, luz e nutrientes (GONÇALVES *et al.*, 2013). Na ausência de tais limitações, admite-se que as árvores podem aumentar seu IAF até que outro fator limitante regule seu desenvolvimento.

Os valores de IAF variaram de 3,8 a 4,6 m^2 m^{-2} durante o período avaliado, sendo que, de maneira geral, os valores obtidos aos 36 meses diferiram daqueles encontrados aos 48 meses e estes diferiram dos valores encontrados aos 60 meses. Resultados similares com incrementos no IAF foram encontrados apenas em solos férteis ou com elevados níveis de fertilização fosfatada e nitrogenada em plantações de *E. nitens* na Austrália (SMETHURST *et al.*, 2003). Tratamentos com as menores doses de N e P apresentaram decréscimos nos valores de IAF, sem variações. Para os com as maiores doses de N aplicadas os valores de IAF aumentaram até os 5,5 anos de idade.

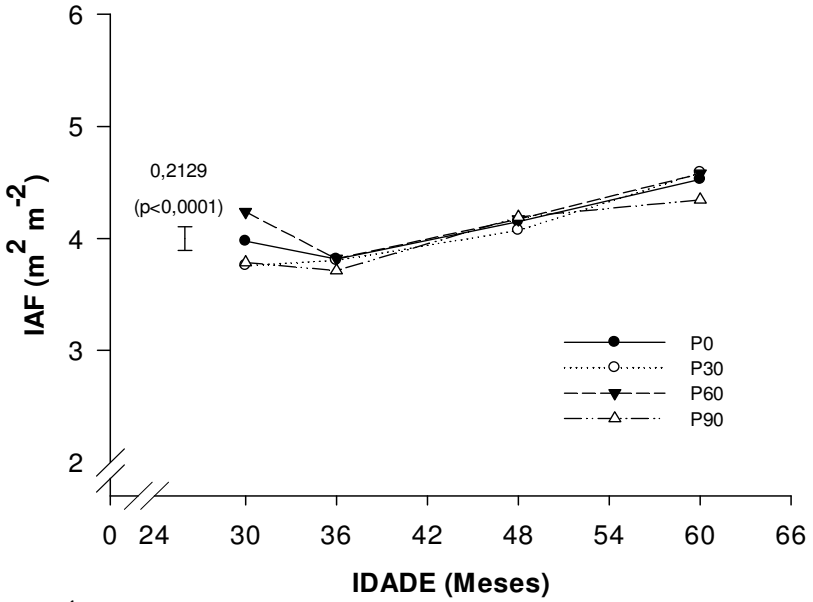

Figura 39 – Índice de Área Foliar (IAF) de *E. grandis x urophylla*, em resposta à fertilização com P_2O_5 e da idade em Paulistânia, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância

4.2.4.4 Crescimento das árvores

Respostas significativas foram verificadas em todos os períodos avaliados (Figura 40). O comportamento da curva de resposta foi o mesmo entre os 18 e 60 meses. As curvas foram ajustadas em equações de 2º grau, com suficiência próximo às doses de 30 kg ha^{-1} de P_2O_5. Recomendações de fertilização indicam que para solos com teores de P entre 3 e 5 mg dm^{-3} e teor de argila inferior a 150 g kg^{-1} as doses recomendadas são de 40 kg ha^{-1} (GONÇALVES *et al.*, 2008). Os resultados obtidos entre os 18 e 60 meses corroboram a recomendação proposta, com diferenças em volume de 15% entre P0 e P30 e, inferiores a 1% entre o P30 e P90. O volume de madeira acumulado apresentou diferenças significativas a partir dos 18 meses ($p<0,0001$), com diferenças entre o tratamento P0 e os demais tratamentos durante toda a avaliação (Figura 41).

A dose para produção máxima obtida pela análise de regressão, variou com a idade. Aos 18 meses, a dose foi de 72,1 kg ha^{-1} e, de 66,5 kg ha^{-1} aos 60 meses. Desta forma, é possível verificar a diminuição das respostas com o desenvolvimento das árvores. Este comportamento confirma os resultados obtidos em experimentos com aplicação de diferentes doses de P (VALERI; AGUIAR; CORRADINI, 1993; XU *et al.*, 2002; XU *et al.*, 2005). Atribui-se estes resultados ao desenvolvimento do sistema radicular com a idade, explorando maiores volumes de solo e com isso, tendo acesso a maiores quantidades de P no solo (NOVAIS *et al*. 1986) e, à competição pelos demais fatores limitantes, água e luz (GONÇALVES et al., 2008).

Pelo método gráfico, as doses recomendadas aos 48 e 60 meses foram de 27 kg ha^{-1} de P_2O_5. Em média, 40 kg ha^{-1} inferior à dose recomendada a partir das análises de regressão. A utilização da dose encontrada pelo método gráfico resultaria, utilizando a equação, em uma diminuição de 13,7 m^3 ha^{-1} de volume de madeira. Para definição da dose adequada, seria necessário calcular o preço da madeira e o custo adicional com insumos e mão de obra para identificar a viabilidade da utilização das maiores doses.

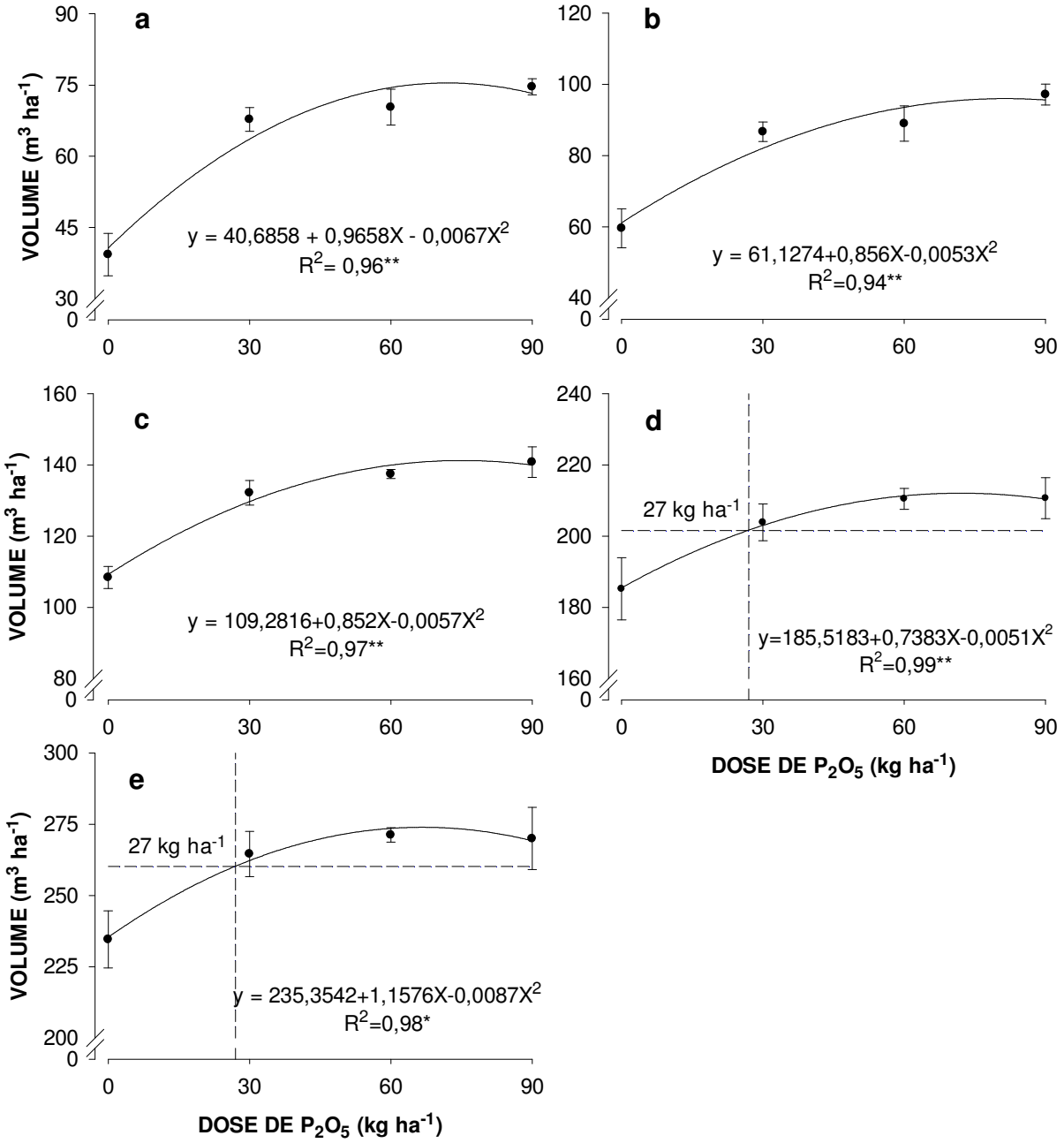

Figura 40 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* em função da idade e da dose de P_2O_5 aplicada em Neossolo Quartzarênico no município de Paulistânia aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d) e 60 meses (e). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

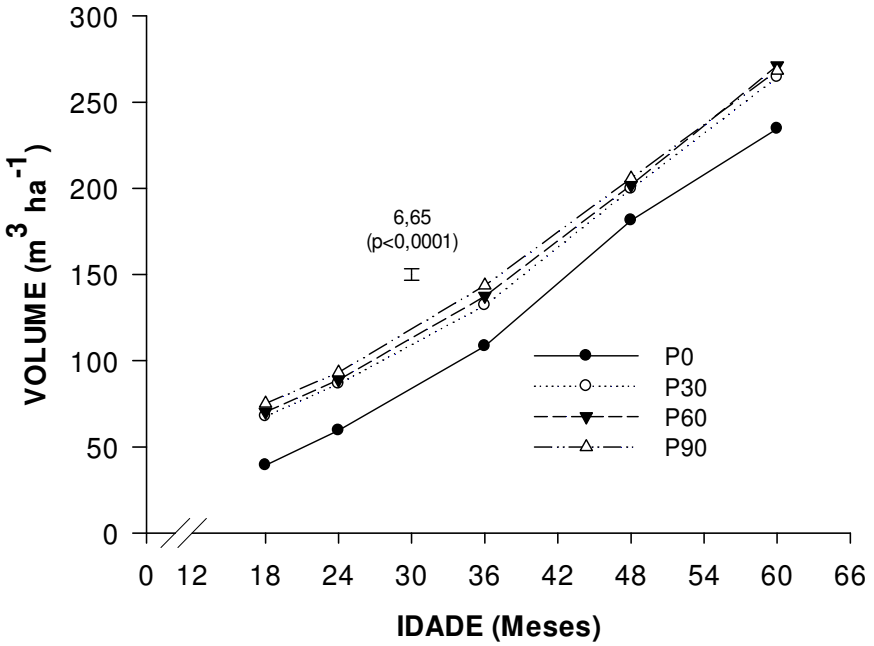

Figura 41 - Volume de madeira com casca aos 18, 24, 36, 48 e 60 meses de acordo com a dose de P_2O_5 (kg ha^{-1}) aplicada em um RQ no município de Paulistânia, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F

4.3 Respostas à aplicação de potássio

4.3.1 Ribas do Rio Pardo

4.3.1.1 Fertilidade do solo

Os teores de MOS, pH e P aumentaram numericamente entre 0 e 48 meses de idade para a camada de 0-10 cm de profundidade do solo. Verificou-se que a MOS aumentou entre 24 e 48 meses para todos os tratamentos e profundidades. Aos 24 meses, o tratamento K0 apresentou teor de MOS correspondente a 14,1 g dm^{-3} e, aos 48 meses, 20,2 g dm^{-3}. Na camada de 20-40 cm, aos 24 meses, o teor de MOS em K0 foi de 9,8 g dm^{-3} e, 16,6 g dm^{-3}, aos 48 meses. Assim como nos demais sítios para as doses de N e P, os teores de MOS aumentaram entre os 24 e 48 meses para todos os tratamentos.

De forma geral, os tratamentos K0, K50, K100 e K150 não influenciaram o teor de K trocável no solo. Estes resultados podem ser atribuídos ao parcelamento das doses, à rápida absorção de K e ao baixo teor de argila do solo (BRADY; WEIL, 2008). Em relação à idade, assim como a MOS, os teores de K aumentaram entre 24 e 48 meses. Estes incrementos estiveram relacionados ao início da ciclagem de nutrientes, oriundos da deposição de galhos e folhas. De acordo com Gonçalves *et al.* (2008), o processo de ciclagem biogeoquímica inicia-se a partir do segundo ano da floresta e é responsável pela mineralização dos nutrientes contidos na serapilheira.

Tabela 30 - Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de K_2O em plantações de[EM3] *E.grandis x urophylla*, em RQ, Ribas do Rio Pardo, MS

Dose de K_2O	MOS					pH					P					K					Ca					Mg				
	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]
kg ha^{-1}	g dm^{-3}										mg dm^{-3}					mmol$_c$ dm^{-3}														
0-10 cm																														
0	14,1	0,4	20,2	3,2	**ns**	4,3	0,4	4,4	0,1	**ns**	3,0	0,3	2,5	0,6	**ns**	0,2	0,0	0,4	0,0	**ns**	3,2	0,9	7,6	1,7	**ns**	3,1	0,8	3,9	1,1	**ns**
50	12,7	0,4	23,0	1,9	**7,5**	4,4	0,4	4,5	0,2	**ns**	3,0	0,5	2,6	0,3	**ns**	0,2	0,0	0,3	0,0	**ns**	5,0	2,0	9,7	3,1	**ns**	5,5	2,5	5,6	2,6	**ns**
100	13,0	1,3	19,9	1,5	**ns**	4,3	0,2	4,5	0,5	**ns**	3,1	0,3	2,8	0,2	**ns**	0,2	0,1	0,6	0,1	**ns**	6,4	2,4	7,8	2,8	**ns**	6,1	2,5	4,0	3,1	**ns**
150	12,7	1,4	22,6	3,2	**ns**	4,4	0,4	4,3	0,1	**ns**	3,4	0,4	2,7	0,5	**ns**	0,2	0,0	0,6	0,2	**ns**	4,6	1,2	6,5	0,2	**ns**	4,4	1,6	2,0	0,9	**ns**
DMS[2]	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**0,2**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
10-20 cm																														
0	11,2	1,3	18,4	2,9	**ns**	4,1	0,2	4,5	0,2	**ns**	2,7	0,7	2,9	0,3	**ns**	0,1	0,0	0,4	0,1	**ns**	2,5	1,3	6,6	0,4	**ns**	2,8	1,4	2,6	0,6	**ns**
50	10,9	0,9	19,1	1,4	**4,9**	4,2	0,3	4,2	0,0	**ns**	2,9	0,7	3,1	0,1	**ns**	0,2	0,0	0,3	0,0	**0,1**	3,6	1,4	5,7	0,8	**ns**	4,1	1,8	1,9	0,9	**ns**
100	12,3	0,4	19,9	2,4	**ns**	4,1	0,2	4,5	0,3	**ns**	2,8	0,9	3,2	0,5	**ns**	0,2	0,0	0,4	0,0	**0,1**	2,7	0,5	9,5	4,3	**ns**	3,1	0,5	5,0	4,5	**ns**
150	10,5	0,5	22,5	4,7	**ns**	4,2	0,2	4,2	0,1	**ns**	2,2	0,5	2,8	0,6	**ns**	0,1	0,0	0,4	0,0	**ns**	1,7	0,4	5,7	0,3	**2,5**	2,2	0,6	1,4	0,8	**ns**
DMS[2]	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
20-40 cm																														
0	9,8	0,5	16,6	1,0	**3,7**	4,1	0,2	4,2	0,0	**ns**	1,7	0,2	2,6	0,1	**ns**	0,1	0,0	0,4	0,0	**0,2**	2,4	1,1	5,4	1,4	**ns**	2,7	1,4	1,5	0,5	**ns**
50	8,4	0,4	16,0	1,4	**7,0**	4,2	0,2	4,2	0,0	**ns**	1,7	0,4	2,6	0,1	**ns**	0,1	0,0	0,3	0,0	**0,1**	2,0	0,5	5,1	0,8	**ns**	3,0	1,1	1,6	0,8	**ns**
100	11,0	0,6	16,4	1,9	**ns**	4,1	0,1	4,4	0,2	**ns**	2,2	0,5	2,5	0,2	**ns**	0,1	0,0	0,3	0,0	**ns**	1,9	0,7	6,1	1,3	**4,0**	2,2	0,3	1,9	1,3	**ns**
150	9,4	1,2	16,0	2,8	**ns**	4,2	0,1	4,2	0,0	**ns**	2,1	0,2	2,2	0,6	**ns**	0,2	0,1	0,3	0,0	**ns**	1,7	0,3	5,8	0,5	**2,8**	2,9	1,6	1,4	0,6	**ns**
DMS[2]	**2,3**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**0,1**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		

[1] ; significância a 5% pelo teste t (LSD) para a variação do atributo entre as idades;[2] significância a 5% pelo teste t (LSD) entre os tratamentos em uma mesma idade. MOS, extraído por via úmida; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K extraídos pelo método da resina trocadora de íons; P, determinado por colorimetria; K, determinado por fotometria de chama; Ca e Mg, determinados por espectofotometria de absorção atômica.

4.3.1.2 Estado nutricional

As aplicações dos tratamentos K0 a K150 não resultaram em diferenças nos teores foliares dos macro e micronutrientes analisados aos 12, 24 e 36 meses (Tabela 31). Para os blocos, houve diferença para o Mn. Verificou-se interação entre os tratamentos e a idade para os teores de Ca, com a influência da idade sobre os teores de Ca nas folhas. Os teores de todos os macro e micronutrientes, com exceção do S, apresentaram diferenças significativas entre as idades.

Os maiores teores foliares de K foram observados para o tratamento K150 entre os 12 e 36 meses (Figura 42). O tratamento K0 apresentou numericamente os menores teores neste período, com 6,9 e 6,6 g kg^{-1}, respectivamente. Aos 12 meses, os teores foliares de K de 6,9 g kg^{-1} para o tratamento K0 e de 8,6 g kg^{-1} para o tratamento K150. Aos 36 meses, os teores foliares de K foram de 6,6 g kg^{-1} para o tratamento K0 e, 8,8 g kg^{-1} para o tratamento K150. Os teores de K estiveram dentro da faixa adequada (5,5 a 8,5 g kg^{-1}) proposta por Gonçalves (2011), durante todo o período avaliado.

Aos 24 meses verificou-se que os teores foliares de K foram muito próximos entre os tratamentos, exceto para K150. Devido à programação anual de coletas, estas foram realizadas entre os meses de novembro e dezembro. Em 2010, ano da coleta aos 24 meses, a precipitação média anual foi de 1270 mm, com 9 meses de déficit hídrico. Inferior às precipitações médias de 2009 (12 meses), de 1724 mm e 2011 (36 meses), de 1640 mm. Devido à baixa precipitação em 2010, a absorção do K foi prejudicada e por isso os teores diminuíram para todos os tratamentos e se igualaram aos valores obtidos pelo K0.

Tabela 31 - Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn em híbrido de *E. grandis x urophylla* aos 12, 24 e 36 meses de idade, em resposta à fertilização potássica em RQ em Ribas do Rio Pardo, MS

Fonte de Variação	Tratamento	Bloco	Trat, vs, Idade	Idade	Erro	LSD
GL	3	2	6	2	22	
			Quadrado Médio			
N	3,84ns	2,30ns	2,15ns	30,77**	3,71	1,9
P	0,02ns	0,15ns	0,02ns	0,70**	0,06	0,2
K	3,37ns	0,43ns	0,48ns	6,16**	1,3	1,1
Ca	0,67ns	1,36ns	2,15*	238,26**	0,71	0,8
Mg	0,005ns	0,08ns	0,15ns	10,44**	0,06	0,2
S	0,01ns	0,007ns	0,01ns	0,08ns	0,02	0,1
B	279,87ns	140,89ns	40,11ns	4387,95**	142,43	11,7
Fe	130,37ns	968,77ns	157,41ns	34197,89**	316,56	17,4
Zn	2,95ns	0,49ns	2,10ns	35,14**	1,75	1,3
Mn	41286,11ns	90872,13*	20502,03ns	2384721,69**	21905,39	144,7

(1) Diferença mínima significativa pelo teste t (LSD) a 5% de significância; (2) nível de significância: ns: não significativo, *5% e **1%; Trat vs Idade, interação tratamento x idade

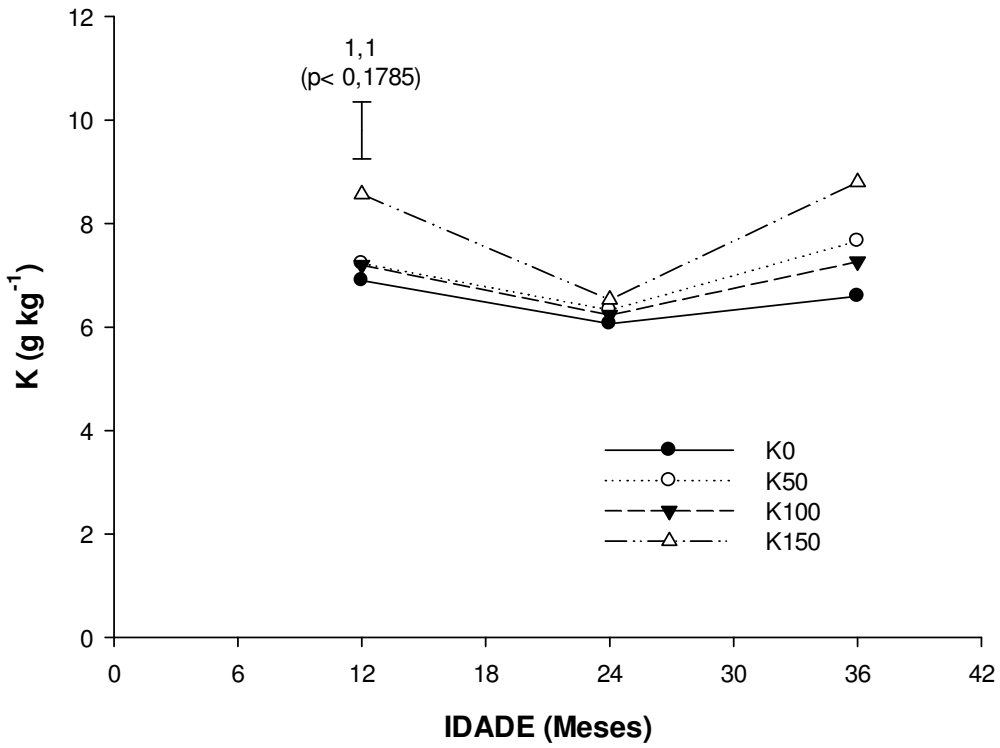

Figura 42 - Teor foliar de K em *E. grandis x urophylla* em resposta à fertilização potássica e idade em RQ localizado em Ribas do Rio Pardo, MS. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD

4.3.1.3 Índice de área foliar

O IAF diminuiu entre os 24 e 30 meses de idade, retornando a crescer aos 36 meses (Figura 43). Estas diferenças foram ocasionadas pelas condições de déficit hídrico nas épocas de coleta dos dados. Aos 24 e 36 meses, a coleta foi realizada no período chuvoso e, aos 30 meses, no período seco, no final do mês de julho. O tratamento K150 apresentou os maiores valores de IAF em todas as medições, com diferenças significativas em relação ao tratamento K0 para as idades de 24, 48 e 60 meses. Aos 24 meses, o IAF para o tratamento K150 foi de 4,5 m^2 m^{-2} e, para o tratamento K0, 4,0 m^2 m^{-2}. Aos 60 meses, o IAF para o tratamento K0 foi de 3,1 m^2 m^{-2} e, para o tratamento K150, 3,4 m^2 m^{-2}. Entre os 36 e 60 meses, todos os tratamentos diminuíram o IAF, devido ao início da competição por água e luz (GONÇALVES *et al*.,2008).

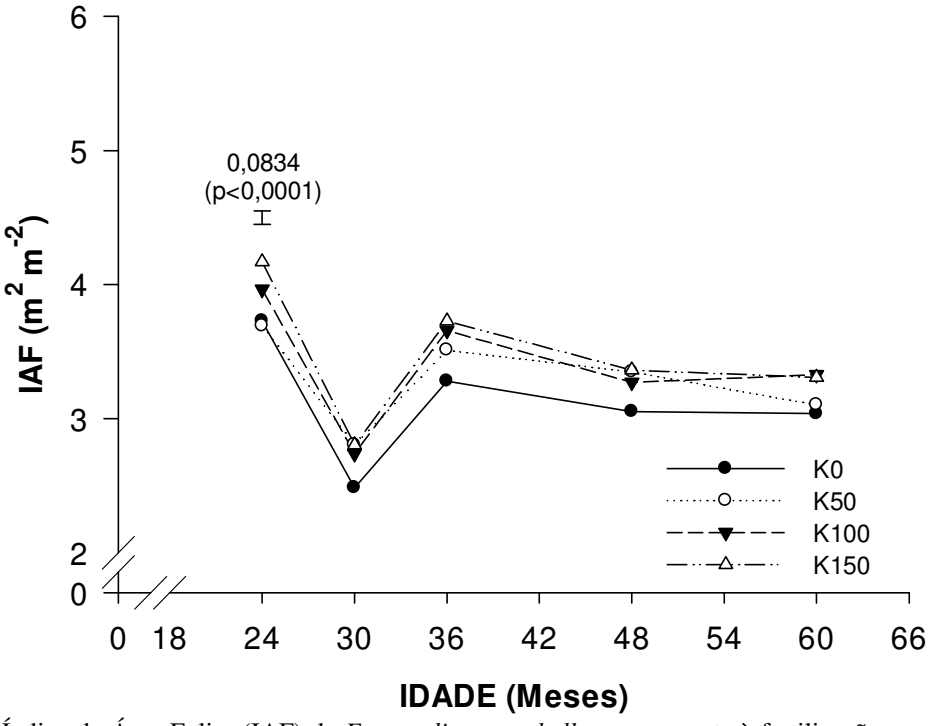

Figura 43 - Índice de Área Foliar (IAF) de *E. grandis x urophylla*, em resposta à fertilização com K e da idade em Ribas do Rio Pardo, MS. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância

4.3.1.4 Crescimento das árvores

A resposta aos tratamentos com doses crescentes de K aumentou entre 24 e 60 meses de idade (Figura 44). Aos 24 meses, a dose calculada para produção máxima foi de 148 kg ha^{-1} de K_2O e, a partir dos 36 meses, superior a 150 kg ha^{-1}, devido ao comportamento linear da curva de resposta. Aos 24 meses, o tratamento K0 apresentou produção de 11,0 m^3 ha^{-1} e, o tratamento K150, 19,0 m^3 ha^{-1}, representando um ganho de 72% em produtividade. Aos 36 meses, o ganho com aplicação do tratamento K150 foi de 143% e, aos 60 meses, 128%. O IMA do tratamento K0 até os 60 meses de idade foi de 12,8 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e, o ICA entre 48 e 60 meses, 10,5 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. O tratamento K150 apresentou IMA de 29,2 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e ICA de 27,8 m^3 ha^{-1} ano^{-1} entre 48 e 60 meses. As diferenças entre os tratamentos K0, K100 e K150 foram significativas a partir dos 24 meses ($p<0,0001$). Aos 36 meses, o tratamento K0 diferiu de todos os demais e, aos 48 meses, todos os tratamentos diferiram entre si (Figura 45). Além da baixa fertilidade natural do solo em Ribas do Rio Pardo, o teor de argila e o déficit hídrico influenciaram nas respostas à aplicação do K.

A curva de resposta apresentou comportamento linear aos 60 meses. Por isso, a diminuição da dose ótima pelo método gráfico não foi tão representativa quanto os demais resultados obtidos com este método. Para esta idade, a determinação da dose recomendada

pelo método gráfico resultou em uma diminuição de 12% na quantidade de fertilizante recomendada e, em 7 m^3 ha^{-1} de volume de madeira (Figura 44d). Estes resultados indicam a demanda crescente pelo nutriente com o desenvolvimento das árvores.

Devido ao controle estomático realizado por este nutriente, locais com elevados valores de evapotranspiração, como Ribas do Rio Pardo, tendem a apresentar maiores respostas à aplicação do nutriente. Dentre os quatro sítios estudados, Ribas do Rio Pardo apresenta as menores precipitações médias anuais e as maiores evapotranspirações, explicando os resultados obtidos com a aplicação do nutriente e a manutenção das respostas com a idade.

Almeida, *et al.* (2010) encontraram respostas à aplicação de doses de 30 kg ha^{-1} de K_2O a partir dos 6 meses de idade em experimento realizado em Itatinga, SP. As variações em altura foram de até 20% em solo com soma de bases inferior a 0,3 $mmol_c$ kg^{-1} para a camada de 5-15 cm de profundidade, atingindo altura média de 17,5 m aos 36 meses, para o tratamento que recebeu aplicação de K.

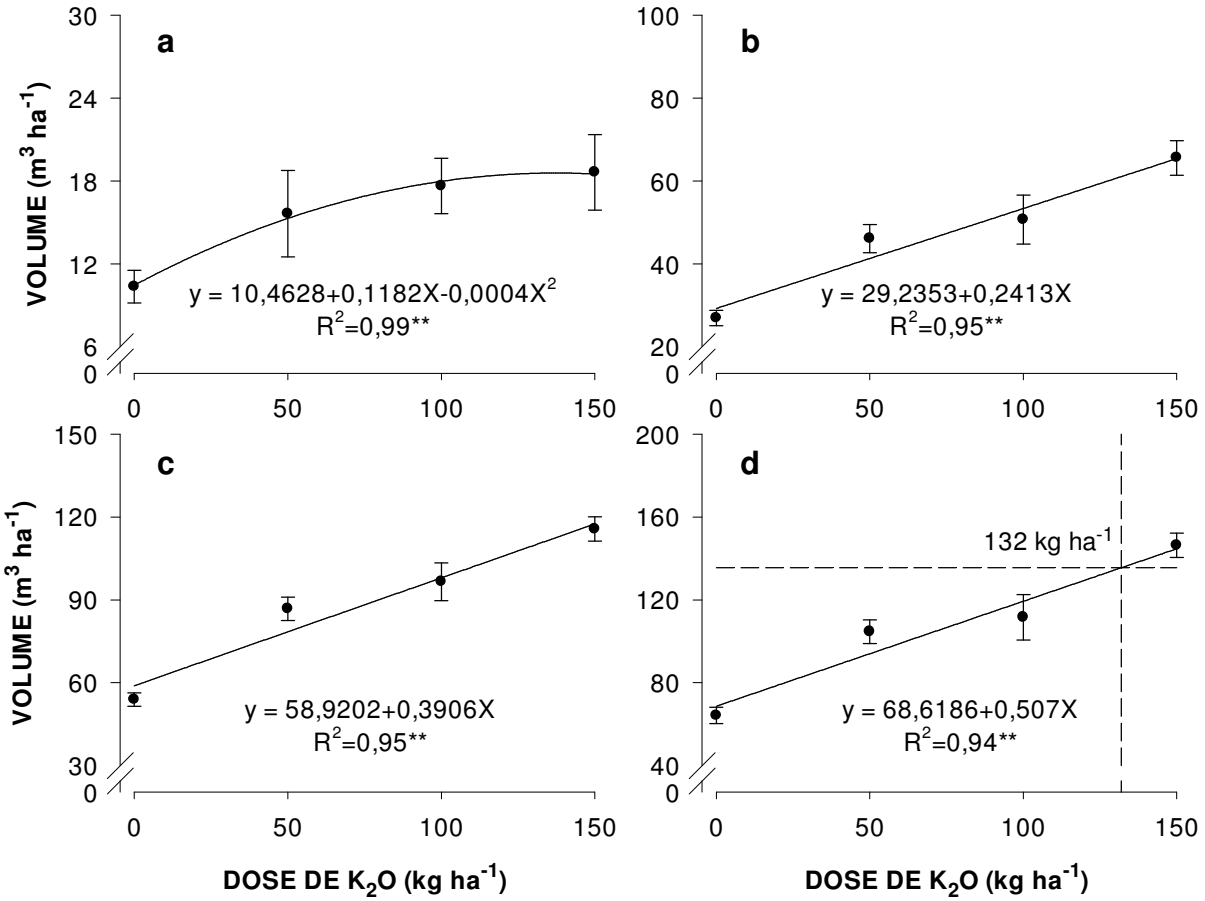

Figura 44 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* em função da idade e da dose de K_2O aplicada em Neossolo Quartzarênico no município de Ribas do Rio Pardo, aos 24 meses (a), 36 meses (b), 48 meses (c) e 60 meses (d). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

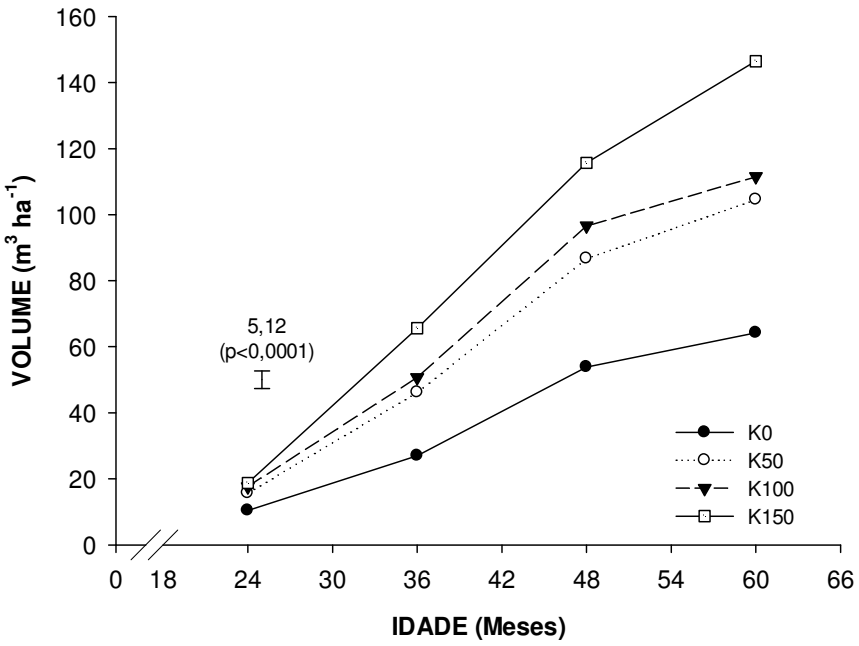

Figura 45 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* aos 24, 36, 48 e 60 meses de idade de acordo com a dose de K_2O (kg ha^{-1}) aplicada em um RQ no município de Ribas do Rio Pardo, MS. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F

4.3.2 Mogi-Guaçu

4.3.2.1 Fertilidade do solo

Em geral, não houve diferenças entre os tratamentos e entre as idades para o teor de K trocável no solo com a aplicação dos tratamentos (Tabela 32). Resultados similares foram obtidos por Almeida (2009), ao avaliar os teores de Ca e Mg, aos 12 e 36 meses após instalação do experimento com doses crescentes de K_2O aplicadas, o autor verificou diminuição nos teores dos nutrientes de acordo com o desenvolvimento da floresta. Assim como nos demais sítios e experimentos, os teores de MOS aumentaram entre os 24 e 48 meses.

Rocha (2014) avaliando o efeito do manejo dos resíduos sobre os atributos químicos do solo verificou elevações dos teores de MOS até os 26 meses de idade, com declínio e estabilização dos teores após 72 meses. Variações de até 9 mg dm^{-3} de P foram encontradas de acordo com a idade para o tratamento no qual se adotou a manutenção dos resíduos.

Tabela 32 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de K_2O em plantações de *E. grandis x urophylla*, em LVAd, Mogi-Guaçu, SP

Dose de K_2O	MOS					pH					P					K					Ca					Mg				
	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]
kg ha^{-1}	g dm^{-3}										mg dm^{-3}					mmol$_c$ dm^{-3}														
0-10 cm																														
0	10,7	0,9	14,3	1,9	**ns**	5,4	0,1	5,7	0,3	**ns**	3,7	1,2	5,3	0,9	**1,4**	0,3	0,0	0,4	0,1	**ns**	34,7	5,8	37,3	6,4	**ns**	5,3	2,0	5,7	1,5	**ns**
50	11,0	0,6	14,0	0,6	**2,5**	5,4	0,2	5,0	0,5	**ns**	2,3	0,3	4,0	0,6	**ns**	0,3	0,0	0,5	0,1	**ns**	27,0	4,7	26,0	10,4	**ns**	5,7	1,9	6,0	1,0	**ns**
100	11,0	0,6	18,3	0,3	**1,4**	4,9	0,4	5,3	0,2	**ns**	6,0	2,1	7,0	1,7	**ns**	0,4	0,1	0,6	0,0	**0,1**	32,0	5,0	34,3	6,9	**ns**	8,3	2,8	10,0	2,0	**ns**
150	10,3	1,2	14,0	1,0	**ns**	5,6	0,4	4,6	0,1	**ns**	6,0	1,5	4,7	0,3	**ns**	0,3	0,1	0,5	0,1	**ns**	25,0	5,0	17,0	3,5	**ns**	5,3	0,3	6,7	1,3	**ns**
DMS[2]	**ns**		**4,0**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
10-20 cm																														
0	9,7	1,2	10,0	1,0	**ns**	5,6	0,2	5,2	0,5	**ns**	4,0	0,6	4,7	0,7	**ns**	0,2	0,0	0,2	0,0	**ns**	25,3	1,9	29,3	8,7	**ns**	5,3	0,9	4,7	0,3	**ns**
50	9,7	0,7	10,0	1,0	**ns**	5,2	0,2	4,7	0,5	**ns**	2,3	0,3	4,0	1,0	**ns**	0,4	0,1	0,3	0,1	**0,1**	21,0	3,5	16,7	5,9	**ns**	4,3	0,9	4,0	0,6	**ns**
100	9,7	0,9	11,0	0,6	**ns**	5,3	0,5	5,0	0,3	**ns**	2,7	0,3	3,7	0,3	**ns**	0,3	0,1	0,3	0,0	**ns**	24,0	2,5	22,3	3,3	**ns**	5,7	1,7	4,3	0,3	**ns**
150	12,3	1,9	11,0	0,6	**ns**	5,6	0,4	4,4	0,1	**ns**	4,3	0,7	4,3	0,3	**ns**	0,4	0,1	0,4	0,1	**ns**	20,7	4,4	14,7	5,7	**ns**	5,0	1,2	4,7	0,3	**ns**
DMS[2]	**2,3**		**ns**			**ns**		**ns**			**1,6**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
20-40 cm																														
0	7,3	0,9	9,3	1,8	**ns**	5,1	0,5	4,5	0,2	**ns**	2,7	0,7	6,0	2,5	**ns**	0,1	0,0	0,2	0,0	**ns**	15,0	2,0	15,0	4,0	**ns**	4,3	0,9	3,0	0,0	**ns**
50	9,0	1,0	8,3	1,2	**ns**	4,8	0,3	4,3	0,2	**ns**	2,0	0,6	2,7	1,2	**ns**	0,2	0,0	0,2	0,1	**ns**	11,7	0,9	7,3	1,8	**ns**	3,3	0,7	3,0	0,6	**ns**
100	7,3	0,7	8,0	0,6	**ns**	4,9	0,6	4,7	0,2	**ns**	1,7	0,3	3,7	0,7	**ns**	0,3	0,0	0,2	0,0	**ns**	18,0	2,3	13,3	2,7	**ns**	4,0	0,6	3,7	0,7	**ns**
150	9,0	1,5	8,3	0,3	**ns**	5,1	0,2	4,1	0,1	**0,9**	2,7	0,3	3,0	0,0	**ns**	0,3	0,1	0,2	0,0	**ns**	10,3	0,3	7,3	1,3	**ns**	3,7	0,3	2,7	0,3	**1,1**
DMS[2]	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**0,2**		**ns**			**5,7**		**ns**			**ns**		**ns**		

[1] ; significância a 5% pelo teste t (LSD) para a variação do atributo entre as idades;[2] significância a 5% pelo teste t (LSD) entre os tratamentos em uma mesma idade. MOS, extraído por via úmida; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K extraídos pelo método da resina trocadora de íons; P, determinado por colorimetria; K, determinado por fotometria de chama; Ca e Mg, determinados por espectofotometria de absorção atômica.

4.3.2.2 Estado nutricional

O teor de K nas folhas foi afetado pelas doses aplicadas ($p<0,01$), apresentando relação direta com as doses aplicadas (Tabela 33). No presente estudo, as variações volumétricas mais expressivas se deram aos 48 meses e corresponderam a 20% entre a maior e a menor dose de K. Estas variações se mostraram insuficientes para alterar os teores dos demais nutrientes. Almeida (2009) verificou alterações nos teores foliares de N, Ca e Mg além dos teores de K e Na testados. Estas variações foram atribuídas à aplicação de K com ganho de 101% em volume de madeira com casca, aos 30 meses, e influenciando na absorção e teor foliar dos demais nutrientes, resultando em teores mais elevados dos demais nutrientes.

A idade influenciou o teor foliar de todos os nutrientes ($p<0,01$), excetuando-se o Ca. Estas variações podem ser atribuídas a translocação destes nutrientes para outras partes das plantas com o aumento intensivo de biomassa, principalmente a partir dos 12 meses.

Os teores de K variaram de 4,4 g kg^{-1}, aos 6 meses, para o tratamento K0, a 12,3 g kg^{-1} aos 12 meses, para o K150 (Figura 46). As maiores diferenças ocorreram aos 12 e 24 meses de idade. O teor foliar de K apresentou correlação de 0,94 com a dose do nutriente aplicada aos 12 e 24 meses e, 0,93 aos 36 meses de idade. Durante todos os períodos avaliados, o teor de K para o tratamento K0 foi inferior aos demais.

Verificou-se maiores teores de K até os 12 meses, o qual diminuiu após esta idade. Estes resultados podem ser atribuídos ao parcelamento das doses de K aplicadas, realizadas em duas aplicações, aos três e aos seis meses após o plantio. Almeida (2009) avaliando a resposta a doses crescentes de fertilização potássica encontrou nível crítico de 6,6 g kg^{-1} para os 6 meses pós plantio, 5,4 g kg^{-1} para os 12 meses, 6 e 5,4 g kg^{-1} para os 24 e 36 meses. Esses valores apresentaram-se muito próximos aos teores médios de K nas folhas encontrados neste estudo, aos 24 e 36 meses de idade das plantas.

Comparando-se os valores obtidos àqueles propostos por Gonçalves (2011), é possível verificar que os teores médios encontrados em todas as análises estiveram dentro da faixa adequada proposta, entre 5,5 e 8,5 g kg^{-1}. A diminuição dos teores foliares de K, a partir dos 24 meses, pode ser atribuída à diluição do nutriente devido ao incremento volumétrico das plantas, mais representativo a partir desta idade (LACLAU*, et al.*, 2003; LACLAU *et al.*, 2010).

Tabela 33 - Análise de variância dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn em híbrido de *E. urophylla x globulus* aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade em resposta à fertilização potássica em LVA, no município de Mogi-Guaçu, SP

Fonte de Variação	Tratamentos	Bloco	Trat, vs, Idade	Idade	Erro	LSD
GL	3	2	6	3	33	
			Quadrado Médio			
N	2,17ns	2,55ns	2,82ns	297,08**	3,02	1,4
P	0,02ns	0,0004ns	0,01ns	1,39**	0,008	0,1
K	15,44**	2,77ns	3,07**	68,12**	0,74	0,7
Ca	1,33ns	0,38ns	1,07ns	3,98ns	1,54	1
Mg	0,11ns	0,06ns	0,01ns	1,36**	0,06	0,2
S	0,01ns	0,30*	0,06ns	5,85**	0,1	0,2
B	116,53ns	348,41**	47,05ns	1590,77**	67,76	6,6
Fe	45,05ns	326,04ns	148,13ns	8689,41**	120,23	8,7
Zn	4,07ns	93,45**	16,75ns	360,14**	11,51	2,7
Mn	5556,05ns	6894,27ns	958,87ns	32895,14**	3868,13	49,6

(1) Diferença mínima significativa pelo teste t (LSD) a 5% de significância; (2) nível de significância: ns: não significativo, *5% e **1%; Trat vs Idade, interação tratamento x idade

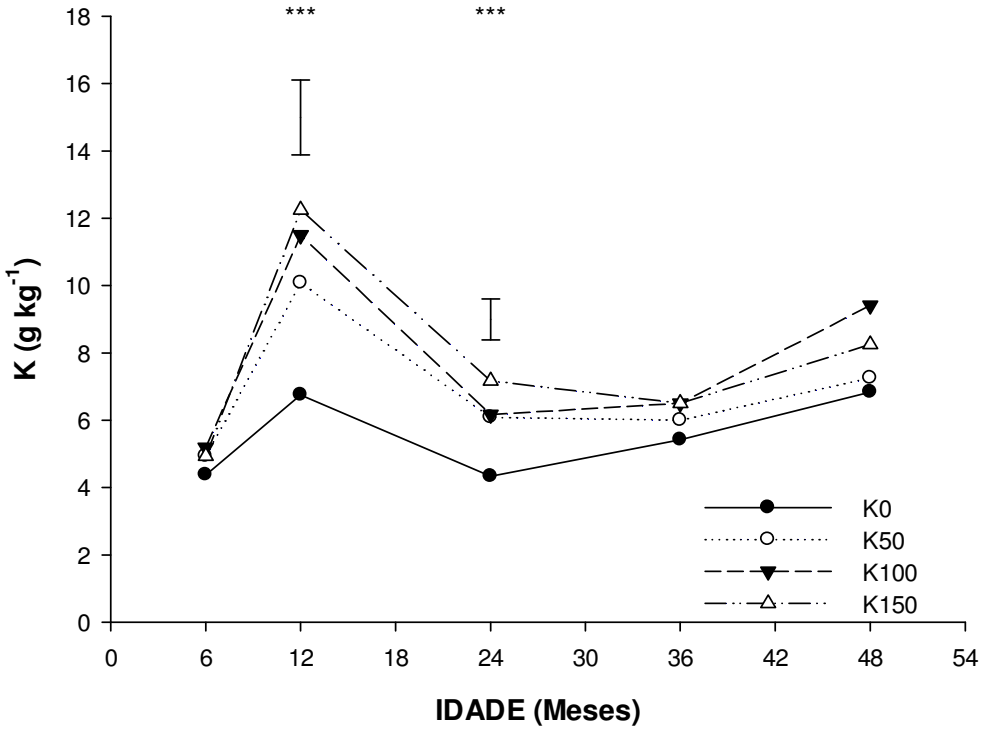

Figura 46 - Teores foliares de K em *E. urophylla x globulus* em resposta à fertilização potássica e da idade em LVA localizado em Mogi-Guaçu, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD

4.3.2.3 Índice de área foliar

A diferença entre as doses aplicadas surgiu a partir dos 24 meses, com os maiores valores para os tratamentos K100 e K150 (Figura 47). O tratamento K0 apresentou os menores valores durante todo o período avaliado, com exceção dos 48 meses, quando o tratamento K50 apresentou IAF de 3,0 m^2 m^{-2} e o tratamento K0 de 3,1 m^2 m^{-2}. Aos 18 meses, a diferença entre os tratamentos K0 e K150 foi de 1%, enquanto que aos 48 meses a diferença foi de 8%. Contudo, as diferenças foram verificadas apenas aos 24 meses ($p<0,0001$). O ponto de IAF máximo ocorreu entre os 24 e 30 meses após a instalação do experimento. Estes resultados se assemelham àqueles verificados em plantações clonais de eucalipto no norte do Espirito Santo, cujos valores de máximo IAF ocorreram aos 30 meses pós plantio (XAVIER *et al.*, 2002). Os maiores valores de IAF encontrados para os tratamentos K100 e K150 podem ser atribuídos ao aumento na longevidade das folhas, quando bem adubadas com K (LACLAU *et al.*, 2009).

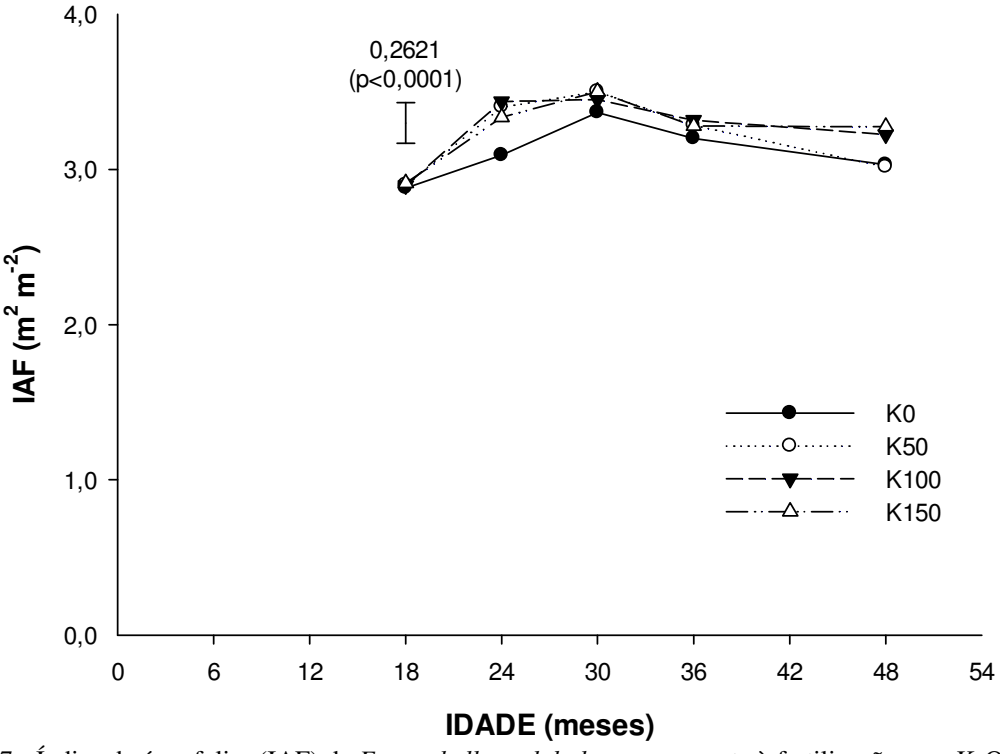

Figura 47 - Índice de área foliar (IAF) de *E. urophylla x globulus*, em resposta à fertilização com K_2O e da idade em LVA localizado no município de Mogi-Guaçu, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância. O valor entre parênteses representa a significância ao teste F

4.3.2.4 Crescimento das árvores

Respostas significativas foram verificadas a partir dos 36 meses ($p<0,0001$) (Figura 48). A dose calculada para produção máxima, aos 36 meses, foi de 221,7 kg ha^{-1} de K e, aos 48 meses, esta correspondeu a 184 kg ha^{-1}. Aos 18 meses, a diferença relativa entre os tratamentos K0 e K150 foi de 7 %, aos 24 meses, de 9% e aos 36 meses, de 10% (Figura 49). Aos 48 meses, o tratamento K150 apresentou ganho de 21% (23 m^3 ha^{-1}) em volume de madeira com casca em relação ao tratamento K0. Incrementos na produção volumétrica devido à fertilização com K são comuns em plantações florestais de eucalipto no Brasil (GONÇALVES *et al.*, 2008; ALMEIDA, 2009). Diferentemente do N e P, que em geral diminuem a resposta à fertilização com a idade, aplicações de K podem resultar em aumentos nas respostas de acordo com a idade (GONÇALVES *et al.*, 2008). Estes resultados podem ser atribuídos às funções desempenhadas pelo nutriente na planta, dentre elas, a regulação osmótica que garante maior eficiência no uso da água (SIDDIQUI; SHAH; TARIQ, 2008).

No início das pesquisas com fertilização de eucalipto no Brasil, o teor crítico de K no solo era de 1$mmol_c$ dm^{-3} (NOVAIS et al., 1986) e as respostas a fertilização em diversos experimentos variavam entre 100 e 260 kg ha^{-1} de K_2O (BARROS *et al.*, 1981; NOVAIS *et al.*, 1986; VALERI *et al.,*1996). SILVA et al., 2013 verificaram respostas significativas à aplicação de doses superiores a 200 kg ha^{-1} de K. Almeida (2009) encontrou respostas de 107% em volume de madeira produzido com a aplicação de 210 kg ha^{-1} de K aos 30 meses de idade em solo com teores de K próximos a 0,12 $mmol_c$ kg^{-1} na camada de 0-5 cm. Gava (1997) e Faria (2002) verificaram resposta à aplicação de K em segunda rotação de *E. grandis* com ganhos de 61% e 54%, respectivamente, com a aplicação das maiores doses. No entanto, ambos os autores verificaram perdas de produtividade em relação à primeira rotação devido ao empobrecimento do solo para os teores de K^+.

Aliado à baixa reposição nutricional do K por meio de fertilizações e as elevadas quantidades de K exportadas, atualmente respostas à aplicação deste nutriente são normais, tendo se tornado este o nutriente mais limitante à produção de florestadas plantadas de eucalipto no Brasil (LACLAU; ALMEIDA; GONÇALVES*, et al.*, 2009; ALMEIDA, *et al.*, 2010).

A utilização do método gráfico em Mogi-Guaçu resultou na diminuição de 97 kg ha^{-1} da dose de K_2O, aos 48 meses. A diminuição de 5% na produtividade máxima com a dose ótima obtida pelo método gráfico representou 6,8 m^3 ha^{-1} e, uma diminuição de 52% na dose de K_2O recomendada.

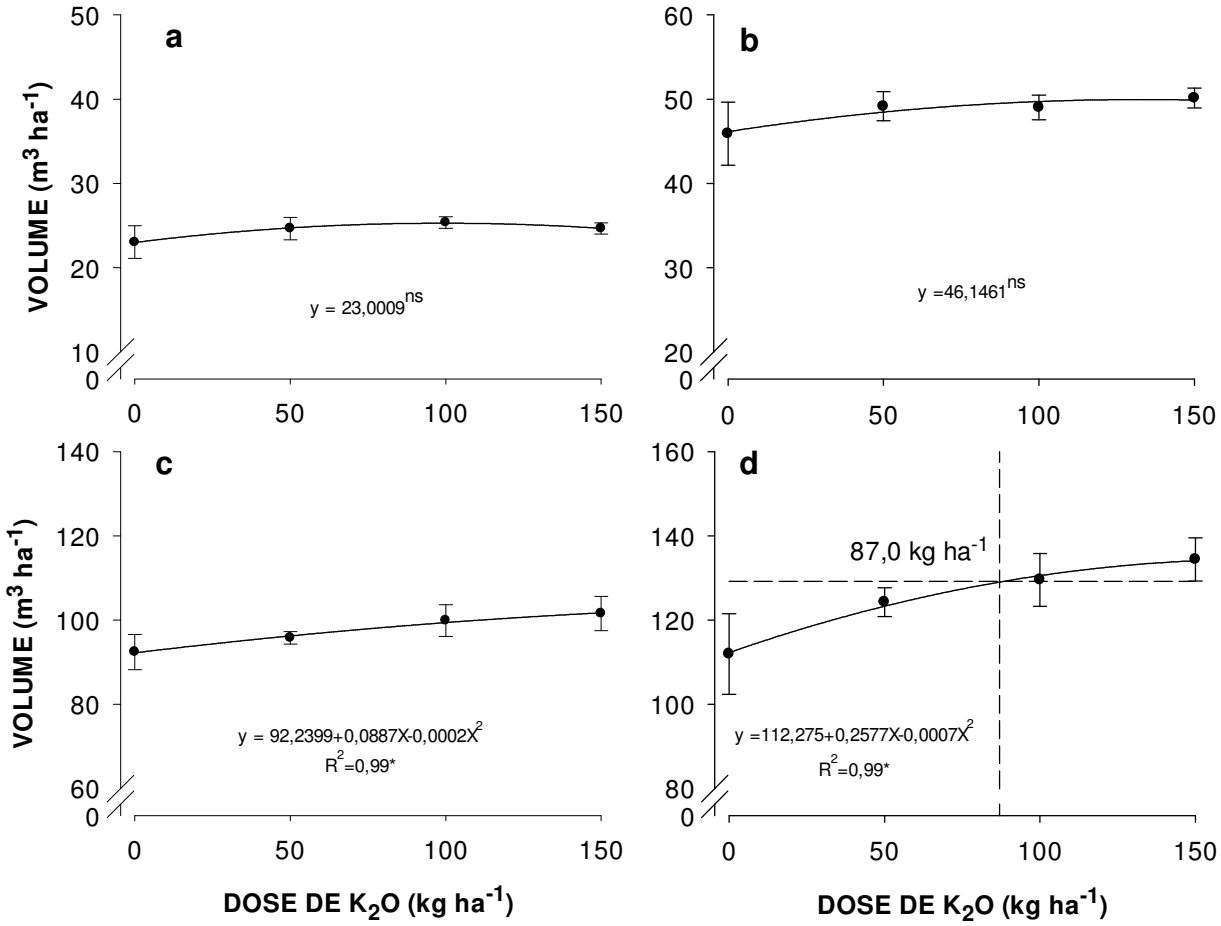

Figura 48 - Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* em função da idade e da dose de K_2O aplicada em Latossolo Vermelho Amarelo no município de Mogi-Guaçu, aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

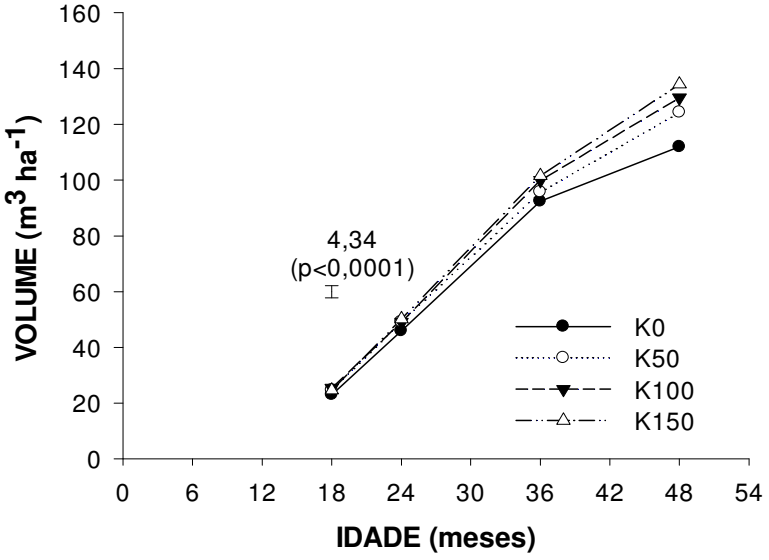

Figura 49 - Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36 e 48 meses de acordo com a dose de K_2O aplicada (kg ha^{-1}) em um LVA no município de Mogi-Guaçu, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F

4.3.3 Luís Antônio

4.3.3.1 Fertilidade do solo

Os teores de MOS apresentaram variações numéricas entre os 24 e 48 meses para as camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm (Tabela 34). O teor médio de MOS aos 24 meses para a camada de solo de 0-10 cm foi de 19,3 g dm^{-3} enquanto que aos 48 meses foi de 17,8 g cm^{-3} indicando pequena diminuição. O pH apresentou variações médias de 0,2 unidades entre os 24 e 48 meses com os menores valores obtidos para a camada de 20-40cm aos 48 meses. Estes resultados indicam que a aplicação de K não influenciou os teores de MOS e pH do solo entre os 24 e 48 meses.

Os teores de P na camada de 0-10 cm foram elevados em todas as análises. Aos 24 e 48 meses, os teores de P para o tratamento K150 foram de 8,0 mg dm^{-3} e 8,3 mg dm^{-3}, respectivamente. Os valores obtidos na camada de 20-40 cm indicam teores elevados de P com valores superiores 4,0 mg dm^{-3}. Não houve diminuição nos teores de P com a idade, o que indica a oferta do nutriente no solo.

O K trocável no solo apresentou pequenas alterações entre as análises, e, aos 48 meses se manteve próximo aos valores encontrados aos 24 meses, com pequenas alterações de acordo com a dose de K_2O aplicada. Os maiores teores de K aos 48 meses se deram para o tratamento K150, nas três camadas avaliadas com teores de 0,5 $mmol_c$ dm^{-3}.

Os teores de Ca e Mg estavam elevados até os 48 meses com teores de Ca superiores a 19 e 10 $mmol_c$ dm^{-3} para as camadas de 0-10 cm e 20-40 cm. Os teores de Mg aos 48 meses foram de 3,7 e 2,7 $mmol_c$ dm^{-3} para as mesmas camadas, como média geral de todas as doses testadas. Os valores encontrados são considerados elevados e indicam ausência de resposta à aplicação de fertilizantes a base de Ca e Mg. Os altos teores observados podem ser atribuídos à aplicação de cinza de fábrica na dose de 4 t ha^{-1} e que influenciaram a oferta de Ca, Mg e P no solo (MORO; GONÇALVES, 1995).

Tabela 34 – Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm aos 24 e 48 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de K_2O em plantações de *E. urophylla x globulus*, em RQ, Luís Antônio, SP

Dose de K_2O	MOS					pH					P					K					Ca					Mg				
	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]	24m		48m		DMS[1]
kg ha^{-1}	g dm^{-3}										mg dm^{-3}					mmol$_c$ dm^{-3}														
0-10 cm																														
0	18,0	1,2	17,0	1,0	**ns**	5,1	0,1	4,8	0,1	**ns**	8,0	1,2	8,0	0,5	**ns**	0,5	0,1	0,4	0,1	**ns**	20,3	2,0	23,7	2,3	**2,7**	5,0	0,6	5,0	0,6	**ns**
50	19,7	0,3	18,0	1,0	**ns**	5,0	0,1	4,7	0,2	**ns**	6,0	0,8	7,7	0,5	**0,9**	0,4	0,1	0,4	0,0	**0,1**	17,0	0,0	19,0	3,5	**ns**	4,7	0,3	5,0	1,2	**ns**
100	18,0	1,5	16,0	1,7	**ns**	4,8	0,1	4,7	0,2	**ns**	7,0	0,9	6,7	0,5	**ns**	0,4	0,0	0,4	0,1	**ns**	21,3	5,6	20,0	5,0	**ns**	4,7	0,9	3,7	1,2	**ns**
150	21,7	2,0	20,0	1,0	**ns**	5,1	0,0	4,9	0,1	**ns**	8,0	0,0	8,3	0,3	**ns**	0,5	0,1	0,5	0,1	**ns**	21,7	1,5	20,0	2,3	**ns**	4,7	0,7	4,3	0,3	**ns**
DMS[2]	**ns**		**ns**			**0,1**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
10-20 cm																														
0	17,3	1,2	11,3	0,9	**2,1**	5,1	0,0	4,9	0,1	**ns**	6,7	3,0	6,0	2,1	**ns**	0,3	0,0	0,3	0,2	**ns**	20,7	3,8	20,3	4,5	**ns**	4,0	0,6	3,0	0,6	**ns**
50	16,0	0,6	15,7	1,9	**ns**	4,9	0,1	4,6	0,0	**0,2**	4,3	0,3	5,0	0,5	**ns**	0,3	0,1	0,4	0,1	**ns**	17,7	2,7	13,0	2,6	**ns**	3,7	0,3	3,7	0,7	**ns**
100	13,0	0,0	13,0	1,0	**ns**	4,7	0,2	4,7	0,2	**ns**	6,0	0,9	5,7	0,3	**ns**	0,3	0,0	0,4	0,1	**0,2**	16,7	7,2	18,3	2,8	**ns**	3,7	0,9	4,3	0,3	**ns**
150	18,7	1,7	16,7	0,3	**ns**	5,1	0,1	4,6	0,1	**0,2**	6,7	0,5	8,0	0,8	**ns**	0,5	0,2	0,5	0,1	**ns**	20,7	2,4	20,0	2,0	**ns**	3,7	1,2	3,7	0,3	**ns**
DMS[2]	**4,3**		**3,9**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**		
20-40 cm																														
0	16,0	2,3	14,0	3,1	**ns**	4,9	0,1	4,7	0,0	**ns**	4,7	1,4	5,7	0,7	**ns**	0,3	0,1	0,4	0,1	**ns**	19,3	3,3	16,0	2,1	**2,7**	5,0	0,6	4,3	0,9	**ns**
50	11,0	0,0	12,0	0,6	**ns**	4,6	0,1	4,6	0,2	**ns**	3,0	0,5	4,0	0,8	**0,9**	0,3	0,1	0,4	0,1	**0,1**	10,7	1,8	11,0	3,0	**ns**	2,7	0,3	3,3	0,7	**ns**
100	17,3	2,7	17,7	4,5	**ns**	4,6	0,1	4,5	0,2	**ns**	6,7	1,8	7,0	1,6	**ns**	0,3	0,1	0,3	0,0	**ns**	10,0	2,5	10,7	2,7	**ns**	3,0	0,6	3,2	0,2	**ns**
150	14,0	1,7	15,3	2,9	**ns**	4,8	0,1	4,6	0,1	**ns**	4,7	0,7	8,0	0,8	**3,1**	0,4	0,1	0,5	0,1	**ns**	14,3	2,9	15,3	5,2	**ns**	3,7	0,7	2,7	0,3	**ns**
DMS[2]	**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**8,8***		**ns**			**1,2**		**ns**		

[1] ; significância a 5% pelo teste t (LSD) para a variação do atributo entre as idades;[2] significância a 5% pelo teste t (LSD) entre os tratamentos em uma mesma idade. MOS, extraído por via úmida; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K extraídos pelo método da resina trocadora de íons; P, determinado por colorimetria; K, determinado por fotometria de chama; Ca e Mg, determinados por espectofotometria de absorção atômica.

4.3.3.2 Estado nutricional

O teor de K nas folhas apresentou diferenças para as doses testadas (Tabela 35). A aplicação do nutriente em diferentes doses também apresentou diferença entre blocos para os teores foliares de P, K, Ca, Mg, B e Mn. A idade afetou significativamente todos os tratamentos avaliados com exceção do Fe e Zn. Estes resultados como já discutidos, são atribuídos ao efeito de diluição causado pelo grande crescimento volumétrico que se inicia a partir dos 12 meses e demanda a retranslocação de parte do estoque de nutrientes das folhas para os demais compartimentos das plantas. Assim como constatado em outros experimentos (LACLAU*, et al.*, 2003; LACLAU, *et al.*, 2010).

Devido ao parcelamento das doses em aplicações que ocorreram até os 8 meses, o teor de K nas folhas aumentou até os 12 meses pós-plantio e, a partir de então decresceu (Figura 50). Os teores de K nas folhas foram de 6,7 e 7,0 g kg^{-1} para os tratamentos K0 e K150 aos 6 meses. Aos 12 meses, os teores de K para os tratamentos K0 e K150 foram de 7,8 e 9,0 g kg^{-1} e, aos 36 meses, de 5,7 e 6,6 g kg^{-1}, respectivamente. Os valores estiveram dentro da faixa considerada adequada durante todo o período avaliado, com exceção de K0 (GONÇALVES, 2011). Contudo muito próximos do limite de deficiência aos 36 meses. O tratamento K0 foi o único a apresentar teores abaixo do limite de deficiência a partir dos 24 meses, corroborando a demanda por K evidenciada a partir das diferenças de produtividade com a aplicação do nutriente.

Tabela 35 - Análise de variância dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn foliares em híbrido de *E. urophylla x globulus* aos 6, 12, 24 e 36 meses de idade em resposta à fertilização potássica em RQ em Luis Antônio, SP

Fonte de Variação	Tratamento	Bloco	Trat x Idade	Idade	Erro	LSD[(1)]
GL	3	3	9	3	33	
			Quadrado Médio[(2)]			
N	2,44ns	0,95ns	8,09ns	108,10**	311,08	2,45
P	0,03ns	0,09*	0,78ns	0,76**	1,04	0,14
K	2,59**	1,86*	0,43ns	10,51**	18,86	0,6
Ca	0,31ns	1,46*	0,76*	11,35**	11,35	0,47
Mg	0,001ns	0,34*	0,12ns	1,62**	2,97	0,24
S	0,02ns	0,04ns	0,08ns	5,40**	4,56	0,3
B	85,32ns	2676,86**	76,59ns	10163,80**	14443,02	16,7
Fe	26,80ns	1423,97ns	189,25ns	1751,84ns	21356,89	20,3
Zn	553,00ns	1000,96ns	688,64ns	1015,87ns	30398,29	24,22
Mn	1692,36ns	3532,98*	922,20ns	3093,05*	32226,04	24,94

[(1)] Diferença mínima significativa pelo teste t (LSD) a 5% de significância; [(2)] nível de significância: ns: não significativo, *5% e **1%; Trat vs Idade, interação tratamento x idade

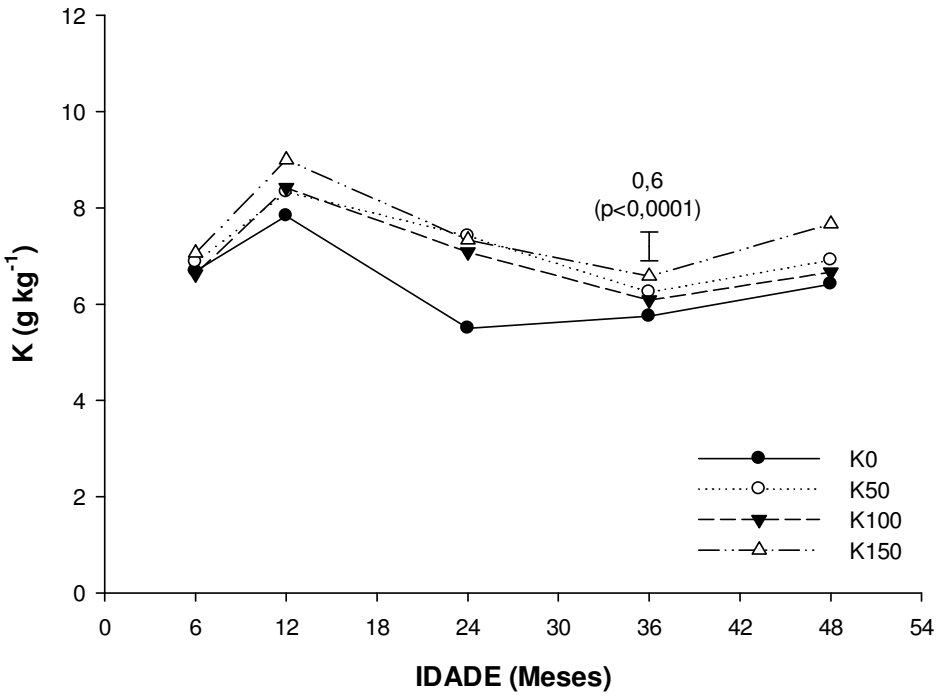

Figura 50 - Teor foliar de K em *E. urophylla x globulus* em resposta à fertilização potássica e idade em RQ localizado em Luis Antônio, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD

4.3.3.3 Índice de área foliar

O desenvolvimento do IAF foi mais influenciado pela idade e sazonalidade que pelos tratamentos testados (Figura 51). Os valores encontrados aos 18 meses pós-plantio foram de 2,2 e 2,3 m^2 m^{-2} para os tratamentos K0 e K150, enquanto que aos 36 meses, quando o IAF atingiu seu pico, os valores para os referidos tratamentos foram de 3,9 e 4,4 m^2 m^{-2}. A amplitude de variação durante o período avaliado foi de 1,7 m^2 m^{-2} para o tratamento K0 e 2,1 m^2 m^{-2} para o tratamento K150.

A aplicação de 140 kg ha^{-1} de K_2O em LVA de textura média com baixa disponibilidade de K (< 0,2 $mmol_c$ dm^{-3}) apresentou resultados de IAF de 5,4 m^2 m^{-2} enquanto que a omissão do nutriente (Testemunha) resultou em 50% do valor obtido com aplicação do nutriente e correspondendo a 2,7 m^2 m^{-2}, o mesmo ocorreu para o volume de madeira produzido, com valores de 141 e 68 m^3 ha^{-1} para os tratamentos com aplicação do nutriente e o testemunha respectivamente (ALMEIDA, 2009).

No presente estudo, a aplicação do tratamento K150 resultou em ganhos de 17% sobre a omissão de K, enquanto que os ganhos de IAF apresentaram ganhos de 12%, quando comparados os mesmos tratamentos aos 36 meses após o plantio, possivelmente pelos teores

iniciais de K no solo para a camada de 0-20 cm, correspondendo à 0,4 $mmol_c$ dm^{-3} e próximo a faixa de respostas médias (> 0,5 $mmol_c$ dm^{-3}), proposta por Gonçalves (2011).

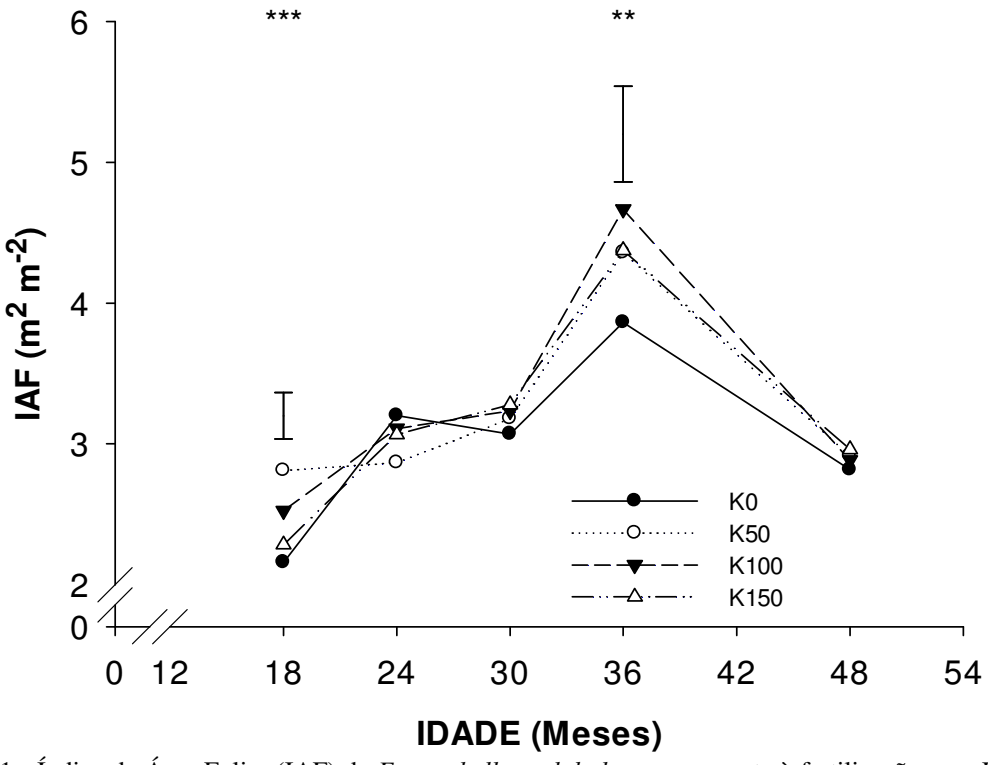

Figura 51 - Índice de Área Foliar (IAF) de *E. urophylla x globulus*, em resposta à fertilização com K e da idade em Luis Antônio, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância

4.3.3.4 Crescimento das árvores

A calibração das curvas de resposta foi possível a partir dos 36 meses. Aos 18 meses e 24 meses, não foi possível estabelecer curvas de resposta, por meio das análises de regressão (Figura 52). A dose estimada para produção máxima aos 36 e 48 meses foram de 140,0 e 125,3 kg ha^{-1} K_2O**,** respectivamente. Aos 18 meses, a diferença entre os tratamentos K0 e K150 foi de 16 % e aos 48 meses, de 17 %. Pelo método gráfico, obteve-se aos 48 meses, a dose de 59,3 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 52d). Comparativamente à dose obtida pela equação de regressão, o método gráfico apresentou uma diminuição de 52% na dose proposta, diminuindo apenas 5% da produção potencial. Esta diminuição das respostas com o aumento das doses é conhecida como lei de Mitscherlich ou lei dos incrementos decrescentes e indica que, devido a limitação fisiológica de crescimento da planta, a resposta às doses aplicadas tende a diminuir próxima à dose para produção máxima.

Aos 18 meses, o volume de madeira foi de 15,3 m^3 ha^{-1} para o tratamento K0 e, para o tratamento K150, de 17,9 m^3 ha^{-1}. Aos 36 meses, os ganhos em produtividade foram de 15,5 m^3 ha^{-1}, entre os tratamentos K0 e K150 e aos 48 meses, de 17,0 m^3 ha^{-1}. A produção devido à fertilização potássica diferiu a partir dos 36 meses de idade ($p<0,0001$) entre os tratamentos K0 e K150 (Figura 53). Não houve diferença entre os tratamentos K100 e K150 entre os 18 e 48 meses para os resultados em volume de madeira. Os resultados obtidos indicam que apesar das diferenças crescentes em valores absolutos, as diferenças percentuais de produtividade, entre os tratamentos K0 e K150 se mantiveram até os 48 meses. Estas respostas podem ser classificadas como respostas tipo II e são respostas que tendem a permanecer até o final do ciclo, sendo características da fertilização potássica em plantações clonais de eucalipto no Brasil (GONÇALVES *et al.*, 2008).

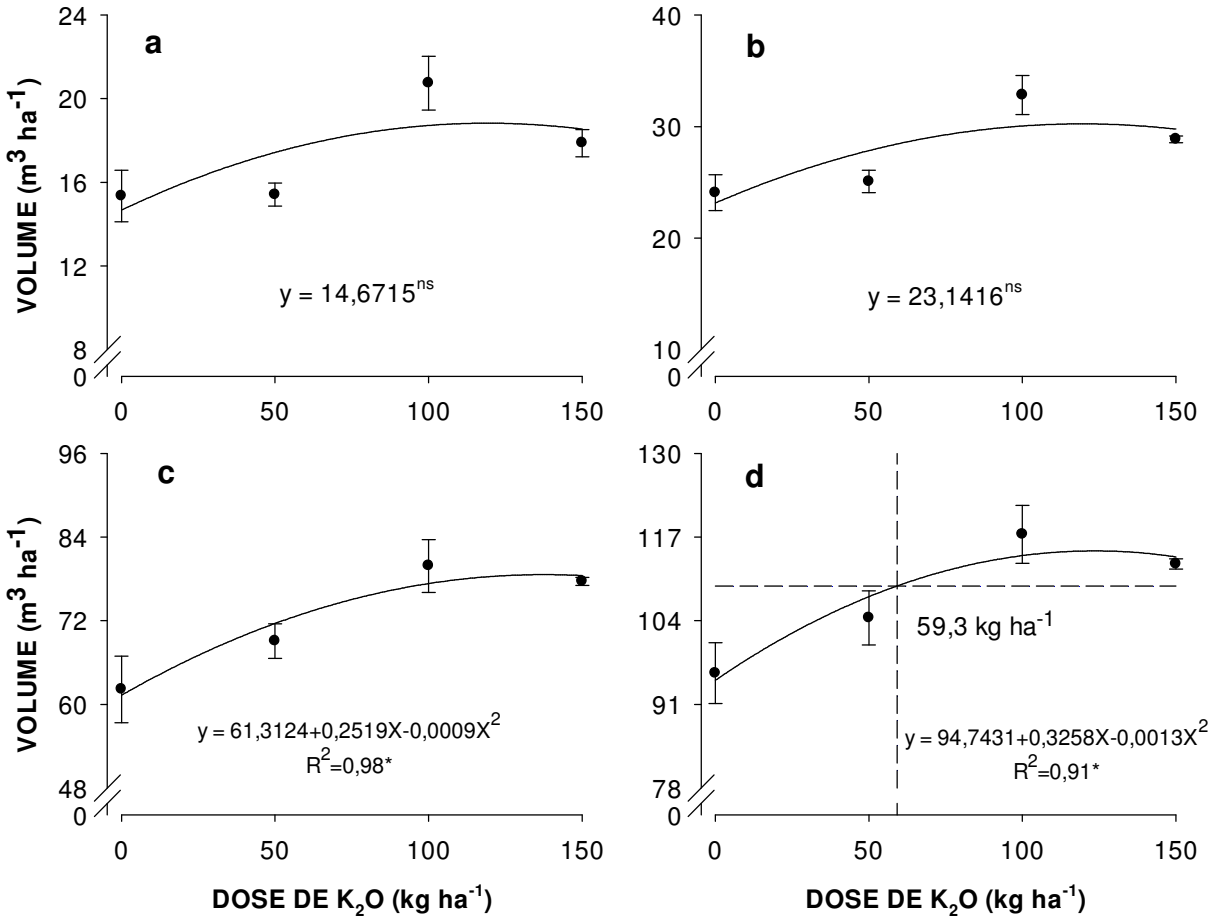

Figura 52 - Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* em função da dose de K_2O aplicada em Neossolo Quatzarênico no município de Luís Antônio aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d) *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

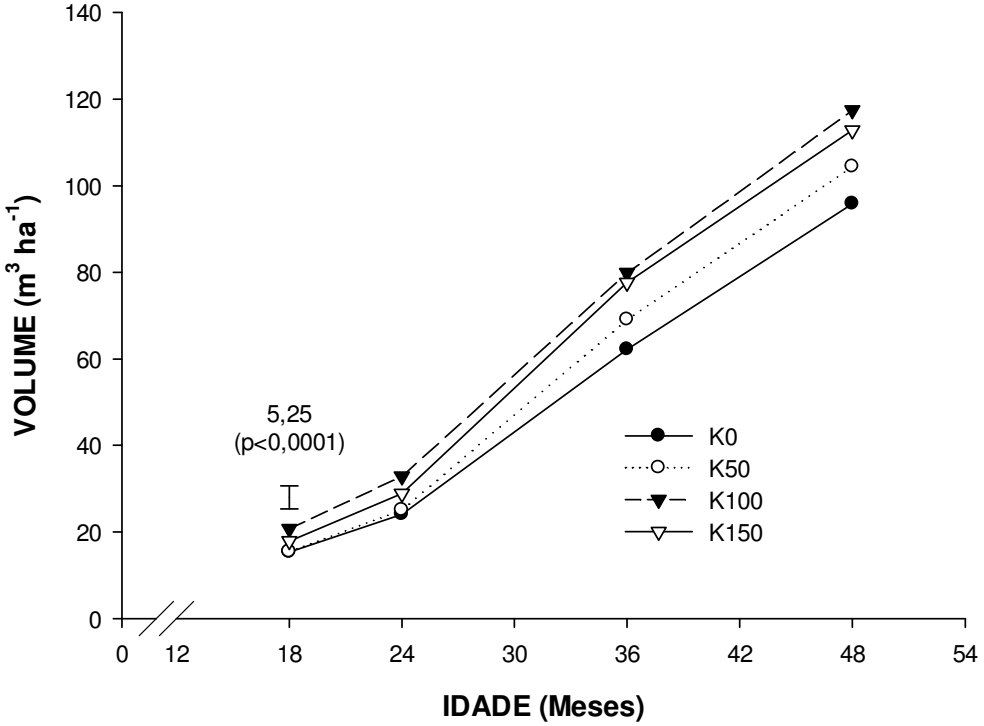

Figura 53 - Volume de madeira com casca para *E. urophylla x globulus* aos 18, 24, 36 e 48 meses de idade de acordo com a dose de K_2O aplicada (kg ha^{-1}) em um RQ no município de Luís Antônio, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F

4.3.4 Paulistânia

4.3.4.1 Fertilidade do solo

Os teores de MOS apresentaram o mesmo comportamento que os verificados para os tratamentos com aplicação de diferentes doses de N e P (Tabela 36). Comparativamente aos 0 meses, os teores aos 48 meses aumentaram para todos os tratamentos. Aos 0 meses, os teores médios de MOS para a camada de 0-10 cm foram de 14 g dm^{-3} enquanto que aos 48 meses os teores de MOS foram de 17,1 g dm^{-3} e, aos 60 meses, os teores foram de 10,8 g dm^{-3}.

Os valores de pH não sofreram alterações entre os 48 e 60 meses. Devido à aplicação de calcário na dose de 2 t ha^{-1} após a instalação do experimento, os valores de pH aos 0 meses saíram de 3,6 e ficaram próximos à 4,1 aos 48 e 60 meses para a camada de 0-10 cm. Os mesmos valores para as idades de 0, 48 e 60 meses foram verificados para as camadas subsuperficiais de 10-20 cm e 20-40 cm.

Os teores de P diminuíram numericamente com a idade, aos 0 meses os teores de P no solo eram de 3,0 mg dm^{-3} para as camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, enquanto que aos 48 meses os teores médios de P no solo foram de 1,3 mg dm^{-3}, 1,2 mg dm^{-3} e 0,6 mg dm^{-3},

verificando as maiores alterações para a camada de 20-40cm. Diminuições nos teores de P no solo também foram verificadas para as curvas de resposta de N e P para o mesmo sítio e indicam a absorção do nutriente, refletindo sua baixa disponibilidade no solo e a alta capacidade de extração do material genético.

A aplicação de doses crescentes de K_2O influenciou diretamente os teores do nutriente no solo. Aos 60 meses os teores de K no solo aumentaram de acordo com a dose de K_2O aplicada. Os aumentos foram maiores nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, mas também foram verificados incrementos nos teores de K para a camada de 20-40 cm para as maiores doses de K_2O aplicadas.

Pequenas variações nos teores de Ca foram verificadas entre os 48 e 60 meses para as três camadas de solos analisadas. De modo geral, os teores de Ca aos 48 e 60 meses foram próximos aos teores de Ca encontrados aos 0 meses. As variações entre os tratamentos ocorrida aos 48 meses para as três camadas analisadas está mais relacionada a variabilidade natural do solo sobre a disponibilidade de Ca em uma das parcelas do tratamento K150, do que devido a influência direta da dose de K_2O aplicada, uma vez que doses de K_2O maiores não apresentaram relações similares.

Os teores de Mg aumentaram aos 48 e 60 meses quando comparados aos teores encontrados aos 0 meses, para a camada de 0-10 cm. Incrementos modestos nos teores de Mg foram verificados para as camadas de 10-20 e 20-40 cm em algumas doses de K_2O.

Tabela 36 - Valores médios de matéria orgânica do solo (MOS), pH, P e bases trocáveis (Ca, Mg e K) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 48 e 60 meses após instalação do experimento com aplicação de doses crescentes de K_2O em plantações de *E.grandis x urophylla*, em RQ, Paulistânia, SP

Dose de K_2O	MOS					pH					P					K					Ca					Mg				
	48m		60m		DMS[1]	48m		60m		DMS[1]	48m		60m		DMS[1]	48m		60m		DMS[1]	48m		60m		DMS[1]	48m		60m		DMS[1]
kg ha^{-1}	g dm^{-3}										mg dm^{-3}					mmol$_c$ dm^{-3}														
0-10cm																														
0	17,3	1,0	9,3	1,5	**ns**	4,0	0,0	4,1	0,0	**ns**	1,3	0,2	2,0	0,0	**ns**	1,0	0,0	0,3	0,1	**0,7**	2,5	0,2	2,3	0,2	**ns**	2,3	0,1	3,0	0,3	**ns**
50	16,2	0,4	10,7	1,0	**ns**	4,0	0,0	4,2	0,1	**ns**	0,9	0,2	2,0	0,0	**ns**	1,1	0,2	0,3	0,0	**ns**	2,4	0,2	3,7	1,0	**ns**	2,5	0,2	4,7	1,3	**ns**
100	18,1	1,0	12,0	1,7	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,0	**ns**	1,3	0,2	2,3	0,2	**ns**	0,8	0,1	0,3	0,0	**ns**	3,0	0,4	3,0	0,3	**ns**	2,6	0,5	4,0	0,6	**ns**
150	12,9	1,0	11,3	2,2	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,1	**ns**	1,4	0,4	2,0	0,0	**ns**	0,6	0,0	0,4	0,0	**ns**	4,9	1,1	3,0	0,6	**ns**	2,6	0,4	4,0	0,6	**ns**
230	18,8	1,0	11,3	0,8	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,0	**ns**	1,4	0,5	2,0	0,0	**ns**	0,8	0,0	0,4	0,0	**ns**	3,0	0,3	2,3	0,2	**ns**	2,0	0,3	3,3	0,5	**ns**
300	19,4	2,0	10,0	1,2	**ns**	4,1	0,0	4,0	0,0	**ns**	1,7	0,2	2,0	0,0	**ns**	0,9	0,1	0,6	0,0	**ns**	2,2	0,1	2,0	0,0	**ns**	1,5	0,2	1,7	0,2	**ns**
DMS[2]	**5,8**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**0,4**		**0,2**			**2,2**		**ns**			**ns**		**ns**		
10-20cm																														
0	16,5	0,7	7,7	1,0	**4,1**	4,0	0,0	4,2	0,0	**ns**	1,1	0,2	2,0	0,0	**ns**	0,8	0,1	0,3	0,1	**ns**	1,7	0,2	2,0	0,0	**ns**	1,2	0,3	2,3	0,2	**ns**
50	15,8	0,9	8,3	0,8	**ns**	4,0	0,0	4,2	0,0	**ns**	0,8	0,2	3,0	0,6	**ns**	0,9	0,0	0,3	0,0	**0,1**	2,1	0,0	2,3	0,2	**ns**	2,0	0,1	3,3	0,5	**ns**
100	17,6	0,8	8,7	1,6	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,0	**ns**	1,3	0,3	2,0	0,0	**ns**	0,7	0,0	0,2	0,0	**0,1**	2,1	0,3	2,7	0,2	**ns**	1,8	0,4	2,7	0,2	**ns**
150	12,9	1,1	10,0	2,3	**ns**	4,1	0,0	4,2	0,1	**ns**	1,4	0,2	2,0	0,0	**ns**	0,5	0,0	0,4	0,0	**ns**	4,7	1,2	2,7	0,4	**ns**	2,3	0,3	3,7	0,5	**ns**
230	17,2	0,7	9,0	1,2	**ns**	4,0	0,0	4,1	0,0	**ns**	1,4	0,5	2,0	0,0	**ns**	1,1	0,1	0,4	0,0	**0,3**	2,8	0,4	2,0	0,0	**ns**	1,3	0,2	2,0	0,3	**ns**
300	16,8	0,9	9,0	1,2	**ns**	4,0	0,0	4,1	0,0	**ns**	1,5	0,3	2,0	0,0	**ns**	0,7	0,0	0,5	0,0	**0,2**	2,3	0,1	2,0	0,0	**ns**	1,0	0,1	1,7	0,2	**ns**
DMS[2]	**3,8**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**0,4**		**0,2**			**2,6**		**ns**			**1,1**		**1,9**		
20-40cm																														
0	15,4	0,1	6,3	0,8	**8,9**	4,0	0,0	4,1	0,0	**ns**	0,5	0,2	2,0	0,0	**ns**	0,9	0,1	0,2	0,1	**ns**	1,9	0,1	2,0	0,0	**ns**	0,9	0,2	1,0	0,0	**ns**
50	14,2	0,5	7,7	1,0	**ns**	4,0	0,0	4,1	0,1	**ns**	0,5	0,2	2,0	0,0	**ns**	0,7	0,1	0,2	0,0	**0,3**	2,1	0,0	2,3	0,2	**ns**	1,2	0,3	2,0	0,6	**ns**
100	15,9	0,4	9,3	1,5	**ns**	4,0	0,0	4,1	0,0	**ns**	0,7	0,2	2,0	0,0	**ns**	0,6	0,1	0,3	0,1	**ns**	2,4	0,3	2,0	0,0	**ns**	0,5	0,2	1,3	0,2	**ns**
150	11,8	1,3	9,0	1,2	**ns**	4,0	0,0	4,1	0,0	**ns**	0,6	0,1	2,0	0,0	**ns**	0,6	0,1	0,2	0,0	**ns**	4,5	1,2	2,3	0,2	**ns**	1,8	0,4	2,0	0,3	**ns**
230	15,6	0,7	9,0	0,0	**ns**	4,0	0,0	4,0	0,0	**ns**	0,5	0,3	2,0	0,0	**ns**	1,2	0,1	0,6	0,1	**0,7**	2,2	0,1	1,7	0,2	**ns**	0,8	0,1	1,7	0,2	**0,5**
300	18,4	1,9	6,7	1,5	**ns**	4,0	0,0	4,1	0,0	**ns**	0,9	0,1	2,0	0,0	**ns**	0,6	0,0	0,4	0,0	**ns**	2,2	0,1	2,0	0,3	**ns**	0,7	0,1	1,3	0,2	**ns**
DMS[2]	**5,6**		**ns**			**ns**		**ns**			**ns**		**ns**			**0,4**		**0,3**			**2,6**		**ns**			**0,8**		**ns**		

[1] ; significância a 5% pelo teste t (LSD) para a variação do atributo entre as idades;[2] significância a 5% pelo teste t (LSD) entre os tratamentos em uma mesma idade. MOS, extraído por via úmida; pH, em $CaCl_2$ em 0,01mol l^{-1}; P, Ca, Mg e K extraídos pelo método da resina trocadora de íons; P, determinado por colorimetria; K, determinado por fotometria de chama; Ca e Mg, determinados por espectofotometria de absorção atômica.

4.3.4.2 Estado nutricional

A quantidade de K absorvida foi diretamente proporcional à dose aplicada ao solo. Os tratamentos K100, K150, K230 e K300 atingiram teores máximos de K aos 12 meses enquanto que K0 e K50 atingiram teores máximos de K aos 24 meses, quando os tratamentos com as maiores aplicadas se aproximaram destes em teor foliar de K (Figura 54). Aos 12 meses, o teor foliar de K foi de 11 g kg^{-1} para o tratamento K300 enquanto que para o tratamento K0 o teor foi de 5,5 g kg^{-1}, representando um acréscimo de 100% no teor de K nas folhas. A partir dos 24 meses, os teores de K diminuíram juntamente com as diferenças entre os tratamentos. Os teores de K aos 12 meses resultantes dos tratamentos aplicados não refletiram em diferenças significativas de produtividade aos 60 meses. O valor de 90% da produção máxima obtido a partir do tratamento K230 foi de 249,4 m^3 ha^{-1}.

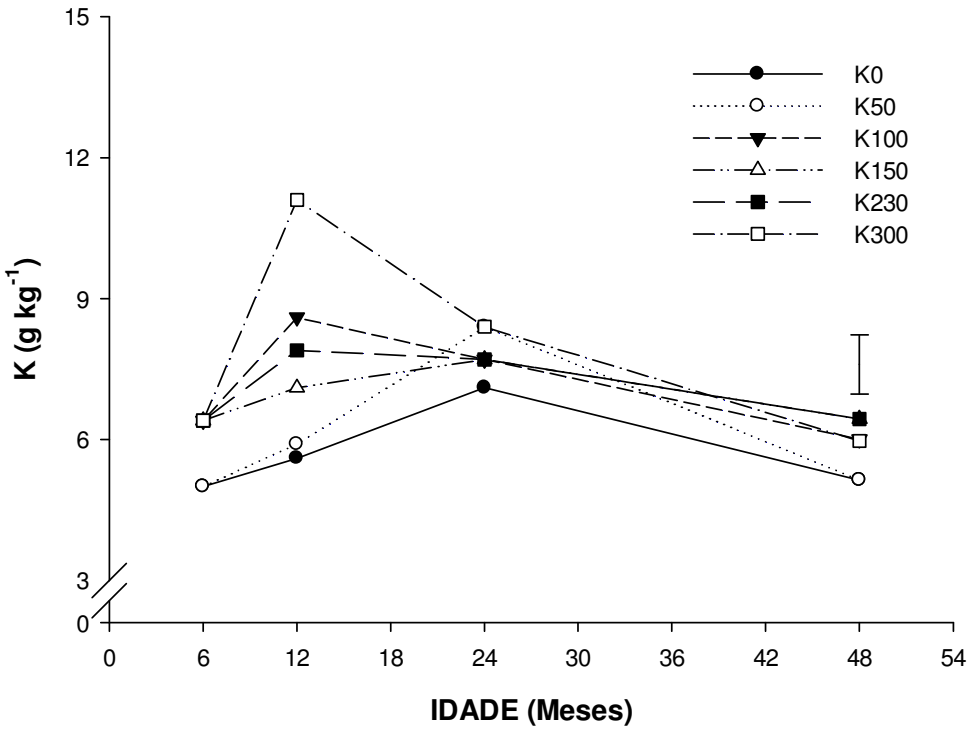

Figura 54 - Teor foliar de K em *E. grandis x urophylla* em resposta à fertilização potássica e idade em RQ localizado em Paulistânia, SP. As barras representam a diferença mínima significativa (5%) ao teste LSD

4.3.4.3 Índice de área foliar

O IAF decresceu entre os 30 e 36 meses, e depois apresentou comportamento crescente até os 60 meses, com exceção do tratamento K100 que decresceu aos 60 meses (Figura 55). O decréscimo entre os 30 e 36 meses pode ser atribuído ao período de avaliação do IAF. A coleta aos 30 meses foi realizada ao final da época chuvosa o que contribui para os maiores valores de IAF encontrados. A partir dos 30 meses, as coletas foram anuais e os valores de IAF variaram de 3,6 m^2 m^{-2} a 4,7 m^2 m^{-2}. A diferença percentual entre o tratamento K0 e K150 durante o período avaliado não foi superior à 2%, enquanto que verificou-se diferença entre os mesmos tratamentos aos 36, 48 e 60 meses.

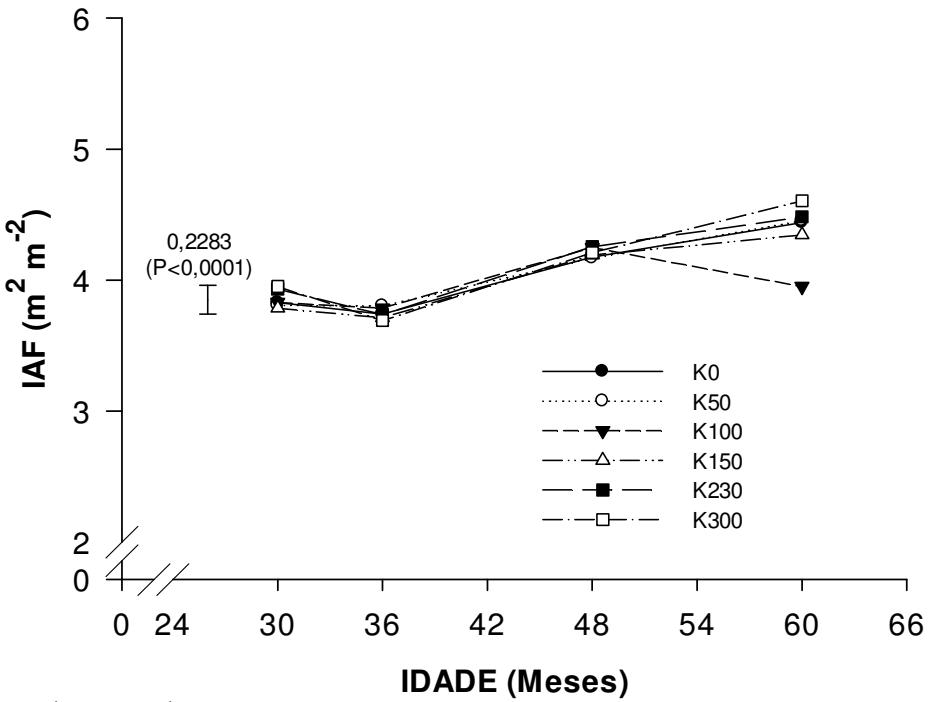

Figura 55 - Índice de Área Foliar (IAF) de *E. grandis x urophylla*, em resposta à fertilização com K_2O e idade em Paulistânia, SP. As barras representam a Diferença Mínima Significativa (DMS) pelo teste LSD a 5% de significância

4.3.4.4 Crescimento das árvores

A aplicação dos tratamentos com doses crescentes de K não permitiu a calibração de curvas de resposta por meio da análise de regressão, indicando suficiência do solo em suprir as demandas das plantas por K, mesmo com teores de K no solo considerados baixos (Figura 56). As curvas de respostas tendem a seguir 3 modelos específicos quando utilizadas doses crescentes de fertilização. As curvas podem apresentar comportamento linear, quando por meio das doses testadas não é possível chegar à produção máxima para a cultura. A curva pode ter comportamento quadrático quando por meio das doses testadas se obtém a produção

máxima e com as doses subsequentes obtém-se um decréscimo no incremento produzido devido à utilização de doses muito elevadas que causam toxidez à cultura ou mesmo devido a variações na produção oriundas de variações locais. O terceiro modelo, ao qual as curvas de resposta podem se ajustar, é o modelo hiperbólico, no qual obtém-se a produção máxima e após esta dose a produção se estabiliza em um platô sem alteração na resposta mesmo com o aumento das doses aplicadas. Quando por meio da análise de regressão não é possível ajustar o comportamento da curva de resposta e nota-se que modestas variações na produção são encontradas, pode-se depreender que ou os teores aplicados foram muito baixos ou, que não houve respostas à aplicação devido ao fornecimento pelo solo do nutriente testado. No presente trabalho, a aplicação de doses crescentes de K não apresentou as respostas esperadas.

Embora seis doses de K, entre 0 e 300 kg ha^{-1} de K_2O, tenham sido testadas e os valores de K no solo fossem considerados baixos, consequentemente com elevado potencial de resposta à fertilização, não foram verificadas grandes diferenças na produtividade obtida entre os tratamentos para o intervalo de 18 e 60 meses. Mesmo pelo método gráfico, a dose recomendada de K_2O para o local, foi 0.

Aos 18 meses, a diferença em volume entre o tratamento K0 e K150 foi de 4,6 m^3 ha^{-1}ou 6 %. Aos 36 meses a diferença se manteve em 6 %. O tratamento K0 diferiu dos demais tratamentos a partir dos 18 meses ($p<0,0001$). As diferenças em m^3 ha^{-1} entre o tratamento K0 e os demais tratamentos aumentaram com a idade, contudo a diferença percentual se manteve, sendo que aos 60 meses a diferença entre os tratamentos K0 e K150 foi de 7 % (Figura 57). Devido aos baixos teores de K na maioria dos solos do Brasil, respostas à aplicação de K são geralmente comuns, entretanto neste experimento verificou-se respostas modestas à aplicação de K_2O, mesmo com doses elevadas do fertilizante potássico aplicadas e eficientes em demais trabalhos realizados no Brasil sob solos com teores de K próximos a 0,5 $mmol_c$ dm^{-3} e superiores aos teores de 0,4 $mmol_c$ dm^{-3} presentes na área deste estudo (FARIA *et al.*, 2002; LACLAU, ALMEIDA, GONÇALVES*, et al.*, 2009; DA SILVA *et al.*, 2013).

O modesto incremento volumétrico verificado mediante a fertilização potássica pode ser atribuído ao suprimento do nutriente por formas não trocáveis de K (SURAPANENI *et al.*, 2002; OGAARD; KROGSTAD, 2005; BARRE *et al.*, 2008; REATTO *et al.,*1998). As recomendações de fertilização para K em plantações de eucalipto consideram apenas o teor de K-trocável extraído por Mehlich-1 (GONÇALVES *et al*, 2008). Por isso, solos que apresentam presença de minerais primários como micas e feldspatos e ricos em K-não trocável podem apresentar respostas modestas a altas doses de K_2O aplicadas, mesmo com resultados analíticos indicando baixa disponibilidade de K nas camadas superficiais (LANA;

NEVES, 1994). Em solos florestais submetidos a sucessivos ciclos de produção, a contribuição do K-não trocável pode chegar a 70% do K absorvido pelas plantas.

Devido à sua função estomática, o K apresenta maiores respostas quando aplicado em solos deficientes em K e, em condições climáticas de elevados déficits hídrico. Na ausência ou menor ocorrência de períodos de déficit hídrico, o papel do K se torna menos importante e menores quantidades de K passam a ser necessárias para a manutenção de altas produtividades em plantações clonais de eucalipto. Dentre os quatro sítios estudados, Paulistânia apresentou os menores déficits hídricos e também, as menores respostas à aplicação, enquanto que os teores do nutriente no solo estiveram na mesma faixa de disponibilidade à cultura, sendo considerada muito baixa e com alto potencial de resposta à fertilização potássica.

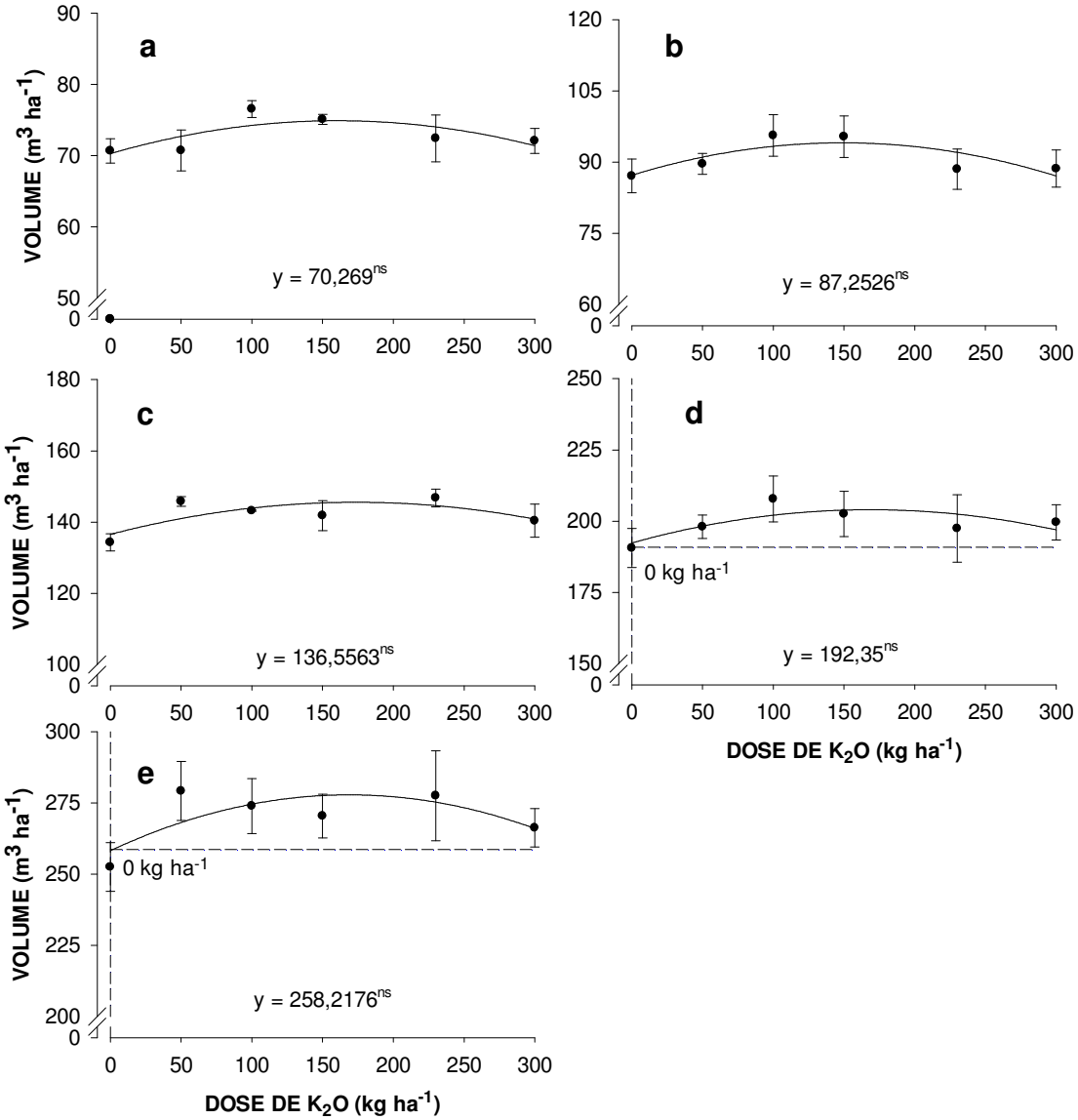

Figura 56 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* em função da idade e da dose de K_2O aplicada em Neossolo Quartzarênico no município de Paulistânia aos 18 meses (a), 24 meses (b), 36 meses (c), 48 meses (d) e 60 meses (e). *, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

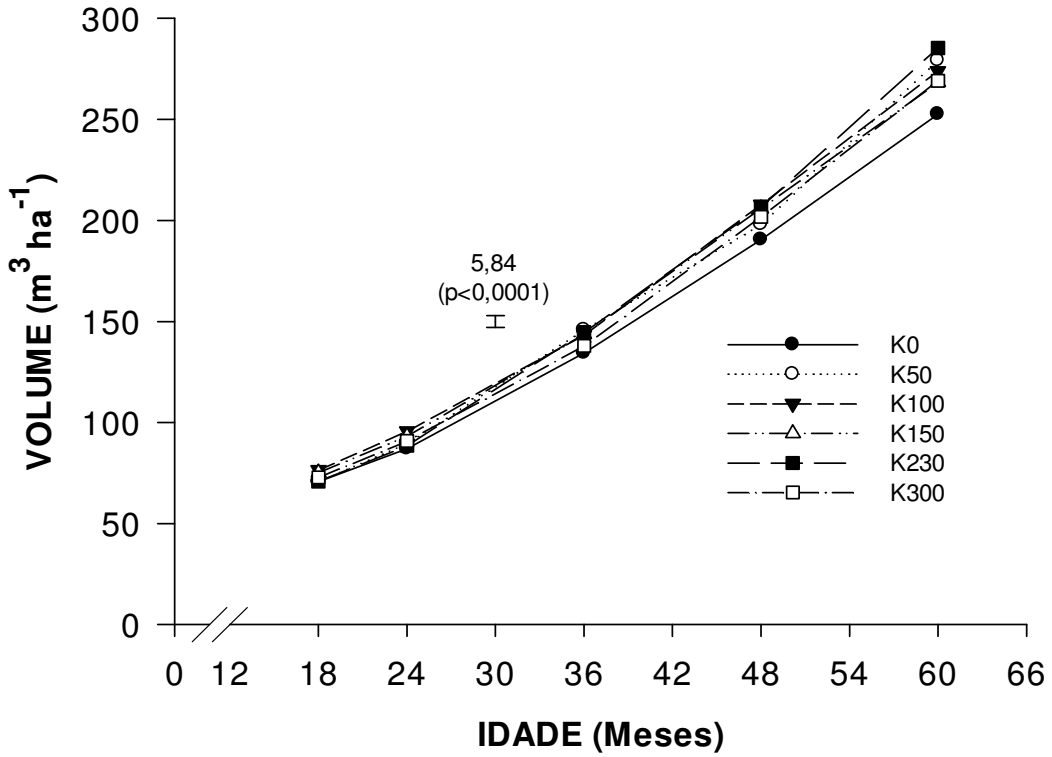

Figura 57 - Volume de madeira com casca para *E. grandis x urophylla* aos 18, 24, 36, 48 e 60 meses de acordo com a dose de K_2O aplicada (kg ha^{-1}) em um RQ no município de Paulistânia, SP. A barra representa a diferença mínima significativa a 5% pelo teste LSD e os valores entre parênteses a significância pelo teste F

4.4 Magnitude das limitações nutricionais

4.4.1 Ribas do Rio Pardo

A omissão individual dos macronutrientes e a omissão completa (Testemunha) apresentaram respostas próximas no crescimento em altura e DAP entre os 6 e 60 meses, com exceção de N0 e P0 (Figura 58). A ordem de limitação nutricional, do tratamento que mais limitou o crescimento para aquele que menos limitou, aos 60 meses, para a altura, foi K0 > Testemunha > P0 > N0 > Ca0 > N100 e, para o crescimento em DAP, a ordem de limitação nutricional foi K0 > Testemunha > N0 > P0 > Ca0 > N100. Para ambas as variáveis (DAP e Altura), o K foi o nutriente de maior limitação ao crescimento. O segundo nutriente foi o P, para a altura e, o N, para o DAP. Os teores no solo para a camada de 0-20 cm de profundidade antes da instalação do experimento foram de 1,4 mg dm^{-3} de P e 0,3 $mmol_c$ dm^{-3} de K, ambos considerados muito baixos e com alto potencial de resposta à fertilização (GONÇALVES, 2011). O tratamento P0 apresentou até os 24 meses crescimento em altura inferior ao K0, quando passou a ser superior. Resultados similares foram obtidos por Freitag (2013). A autora avaliou a resposta à omissão de nutrientes para a segunda rotação de *E. urophylla x E.*

grandis em dois locais. Em Brotas, os crescimentos em altura com a omissão de K (K0) se tornaram menores com a idade. Em Mogi-Guaçu, o crescimento em altura para P0, apresentou os menores resultados aos 6 meses e, se equivaleu aos tratamentos mais produtivos aos 18 meses.

O tratamento Ca0 apresentou crescimento em altura similar ao tratamento N100 até os 48 meses. Aos 60 meses, o Ca0 foi inferior a N100. Laclau *et al*. (2003) identificaram o Ca como sendo o segundo elemento mais absorvido do solo, a partir do segundo ano de idade, e o nutriente de menor retranslocação interna em povoamentos de eucalipto no Congo. Estes resultados indicam que, em condições de limitação nutricional, como em Ribas do Rio Pardo, deficiências de Ca tendem a ocorrer em florestas adultas.

As omissões de N, P, K e Ca não apresentaram alterações no ritmo de crescimento para o PV50 entre os 24 e 60 meses, enquanto a omissão completa, sim (Figura 59). O índice PV50 para o tratamento Testemunha foi de 30 para 27% e, do P0, de 25 a 31%, entre os 24 e 60 meses. A diminuição do PV50 para o tratamento Testemunha evidencia a baixa fertilidade do solo e sua incapacidade em suprir nutricionalmente ao povoamento durante os estádios de maior demanda nutricional, após os 24 meses (LACLAU *et al.*, 2003). O aumento na uniformidade evidenciada pelo PV50 para o tratamento P0 é comum em plantações de eucalipto, devido a diminuição nas respostas à fertilização com P de acordo com a idade, com isso a produção tende a se igualar e as diferenças locais atribuídas ao solo, diminuírem, aumentando o PV50. Entre os 24 e 36 meses de idade, muda-se o fator limitante às plantações e a disponibilidade de água e luz passam a reger o crescimento da floresta e as diferenças atribuídas à fertilização diminuem (LACLAU *et al.*, 2010).

Aos 24 meses, os tratamentos N100, N0, Ca0 e Testemunha diferiram em relação ao K0 e, aos 60 meses, diferenças foram verificadas quando comparados os tratamentos N100, N0 e P0 com o tratamento K0. Estes resultados indicam que o tratamento K0 além de apresentar os menores crescimentos em altura e DAP também apresentou a menor uniformidade pelo índice PV50 entre os tratamentos.

De acordo com Hakamada (2012), valores de PV50 superiores a 34% representam florestas de boa homogeneidade em plantações clonais de eucalipto. Neste experimento, nenhum dos tratamentos atingiu estes valores durante o período avaliado. Este indicativo coincide com as baixas taxas de crescimento nos tratamentos em Ribas do Rio Pardo.

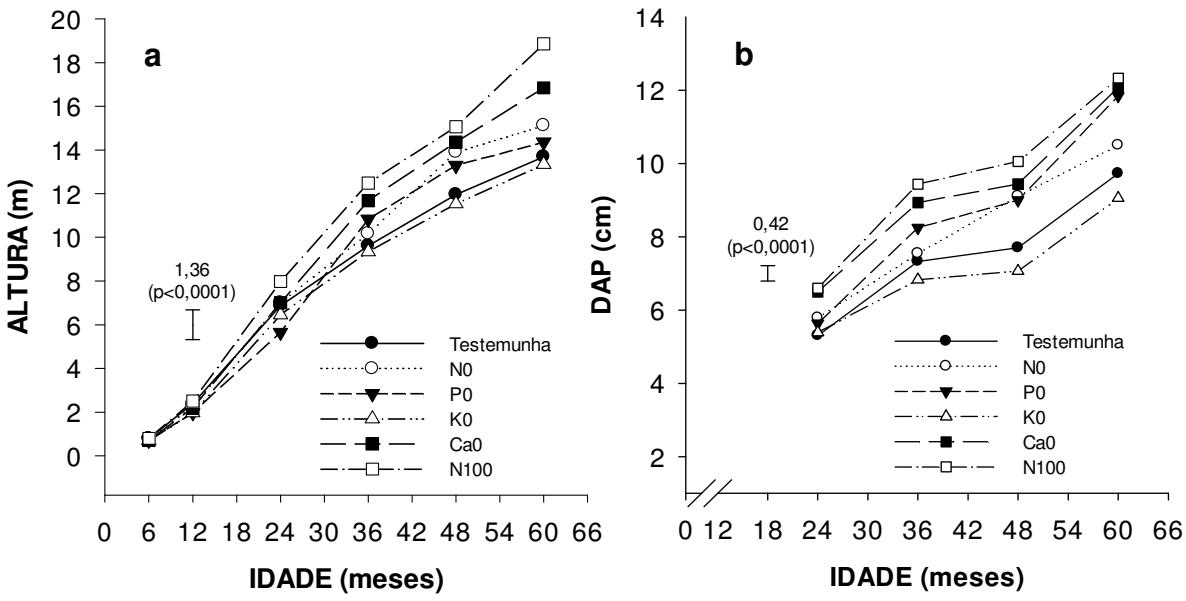

Figura 58 - Comparação entre os tratamentos com omissão de nutrientes e a fertilização completa para o crescimento de *E. grandis x urophylla* em Altura (a) e, DAP (b) em RQ localizado no município de Ribas do Rio Pardo, MS

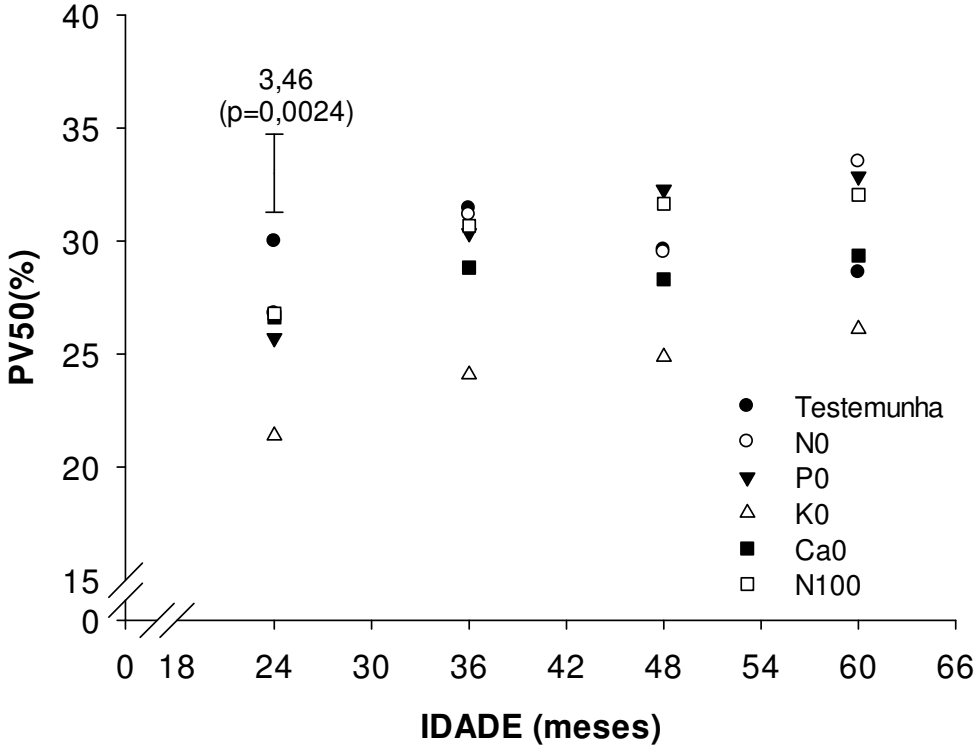

Figura 59 - Uniformidade volumétrica pelo índice PV50 em função da idade para *E. grandis x urophylla* em RQ localizado em Ribas do Rio Pardo, MS

4.4.2 Mogi-Guaçu

A omissão de P, representada pelo tratamento P0, apresentou as menores alturas entre os 6 e os 36 meses. Aos 6 meses, a escala de limitação nutricional ao crescimento em altura foi P0 > N0 > Test = N100 = K0 (Figura 60). Aos 12 meses, P0 > Test = N0 = N100 = K0. Entre os 18 e 36 meses, foi P0 > Test > N0 > K0 > N100 e, aos 48 meses a classificação dos nutrientes de maior limitação deu-se da seguinte maneira, K0 > Test > N0 > P0 > N100. Verificou-se que a limitação imposta pelo tratamento P0 foi mais expressiva nos primeiros 36 meses, diminuindo aos 48 meses e, a limitação imposta por K0 teve comportamento contrário ao de P0, tornando mais limitante com o crescimento dos povoamentos de eucalipto. De acordo com Gonçalves *et al* (2008), as respostas à fertilização são mais pronunciadas até os 24 meses, diminuindo após esta idade, devido a fatores de maior limitação, destacadamente a oferta de água e luz. Almeida (2009) verificou que plantações de eucalipto deficientes em K são menos eficientes no uso da água e por isso, as diferenças de produtividade com e sem fertilização potássica, tendem a aumentar com idade, quando a demanda por água aumenta.

A ordem das limitações nutricionais para o DAP diferiu em relação à altura. Aos 12 meses, o nutriente de maior limitação foi o P, na seguinte ordem decrescente de limitação: P0 > Test = N0 > K0 > N100. Entre 18 e 24 meses, a relação de nutrientes de maior a menor limitação para o DAP foi a seguinte: P0 > Test > N0 = K0 > N100. Aos 36 meses, a ordem de limitação nutricional foi a seguinte: Test > P0 > K0 > N0 > N100. Aos 48 meses, o crescimento em DAP se deu desta maneira, Test > K0 > P0 > N0 > N100. Estas distribuições indicam diminuição da influência do P e aumento do K. A limitação nutricional cravada pelo K, pode ser atribuída aos níveis de K trocável no solo, abaixo de 0,5 $mmol_c\ dm^{-3}$ e à sua relação com a eficiência de uso da água.

O PV50 aumentou até os 18 meses e, a partir dos 24 meses, decresceu para todos os tratamentos (Figura 61). Os menores valores se deram para o K0, P0 e testemunha. Verificou-se que aumentaram as diferenças entre os tratamentos com a idade da floresta. O PV50, aos 18 meses, para os tratamentos N100 e K0, foi de 35,9 e 30,2%, respectivamente e, aos 48 meses, de 30,8 e 22,3 %. A diminuição do PV50 com o desenvolvimento da floresta foi esperada. As árvores de menor crescimento se tornam mais dominadas com a intensificação da competição e as diferenças entre as menores e maiores árvores se acentua. Pôde-se concluir que, para nenhum dos tratamentos avaliados pelo método do PV50, os valores foram satisfatórios (HAKAMADA, 2012).

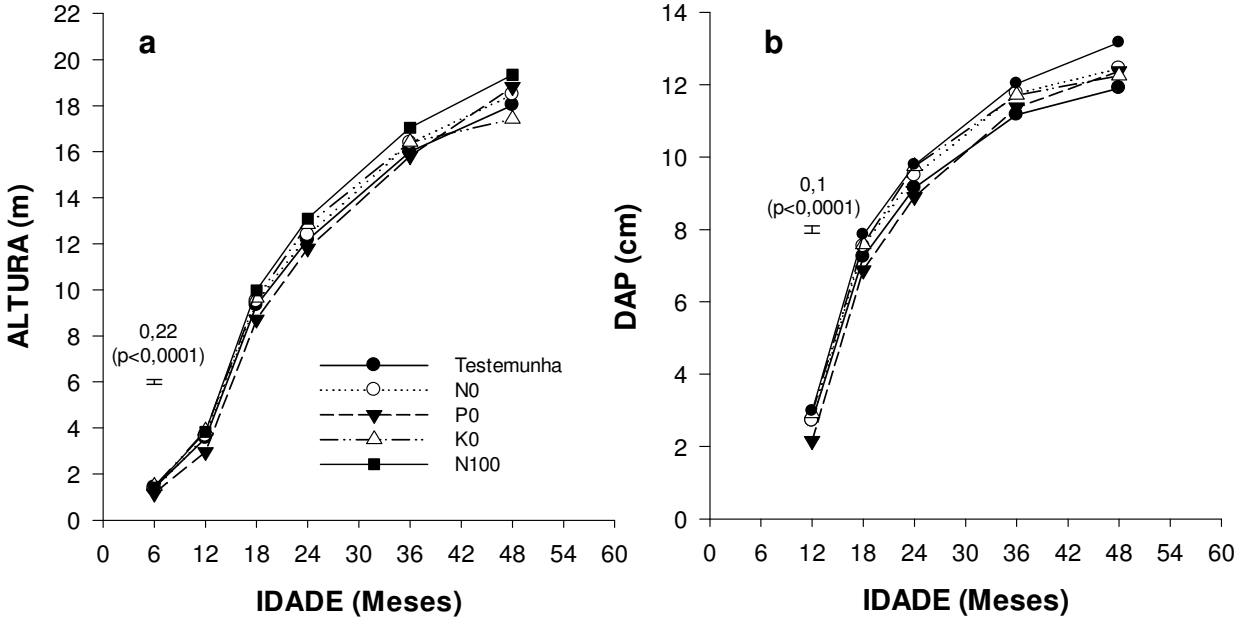

Figura 60 – Comparação entre os tratamentos com omissão de nutrientes e a fertilização completa para o crescimento de *E. urophylla x globulus* em Altura (a) e, DAP (b) em LVAd localizado em Mogi-Guaçu, SP

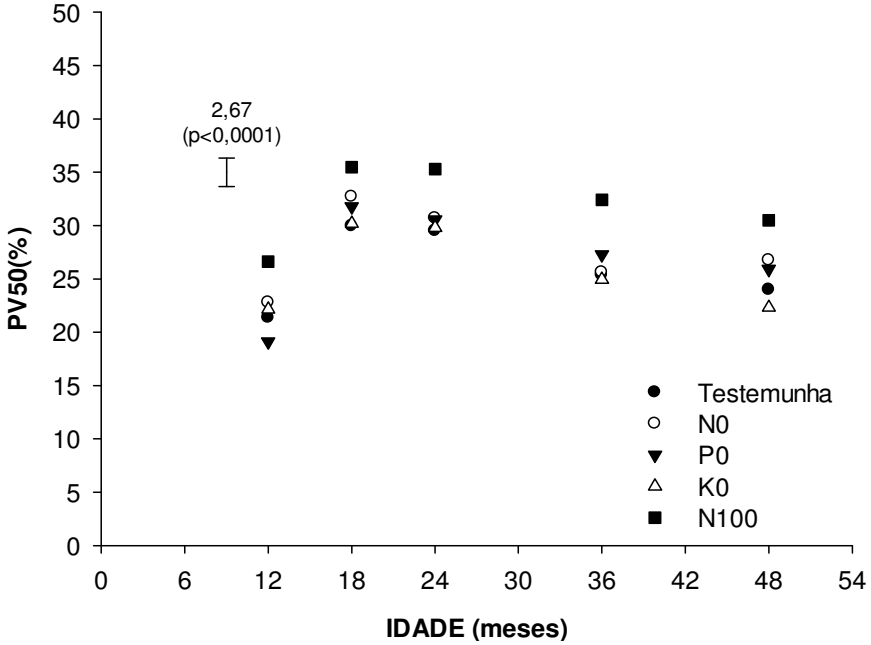

Figura 61 – Uniformidade volumétrica pelo índice PV50 em função da idade para *E. urophylla x globulus* em LVAd localizado em Mogi-Guaçu, SP

4.4.3 Luis Antônio

O tratamento N100 apresentou as maiores respostas para o crescimento em altura e DAP durante o período avaliado (Figura 62). A ordem de limitação nutricional para a altura aos 18 meses foi Testemunha > N0 > P0 > K0 > N100. Aos 48 meses, Testemunha> K0 > P0 > N0 > N100, com médias de, 14,5 e 16,1 m, para os tratamentos testemunha e N100, respectivamente. Até os 24 meses, o tratamento N0 foi, juntamente com o testemunha, aquele com menor crescimento em altura. A partir dos 36 meses, o K0 foi o mais limitante. Estes resultados se assemelham aos encontrados nos sítios de Ribas do Rio Pardo e Mogi-Guaçu e indicam que a função reguladora de K na eficiência de uso da água tornou o tratamento K0 o mais limitante (ALMEIDA *et al.*, 2010).

Para o DAP, a escala de limitação nutricional aos 18 meses foi: Testemunha>N0>K0>P0>N100. Aos 48 meses, Testemunha = K0 > P0 = N0 > N100, com 10,3 e 11,5 cm para Testemunha e N100, respectivamente. Com estes resultados, verificou-se que a limitação imposta pelo tratamento N0 diminuiu com a idade e que o tratamento K0 aumentou sua limitação com o desenvolvimento das plantas, assim como para a variável altura.

Os tratamentos N0 e N100 apresentaram os maiores valores de PV50 entre os 18 e 48 meses e o tratamento K0 e testemunha, os menores (Figura 63). As diminuições com a idade nos valores de PV50 para K0 e Testemunha evidenciam limitações nutricionais impostas pelo solo na ausência de fertilização, o que heterogeneizou o crescimento das árvores. Apesar do material genético utilizado ser o mesmo que em Mogi-Guaçu, a limitação por K foi maior desde os 18 meses, como indicado pelo PV50. A precipitação pluviométrica e o teor de argila no solo foram, no entanto, inferiores. O teor de argila representa importante papel na retenção de água. Solos com maiores quantidades de argila são capazes de reter mais água (BRADY; WEIL, 2012). A precipitação pluviométrica média anual em Mogi-Guaçu foi de 1443 mm e, em Luís Antônio, de 1099 mm. Com menor disponibilidade hídrica, plantações de eucalipto devem apresentar mecanismos para aumentar a eficiência de uso da água. Devido a regulação estomática realizada pelo K, plantações que recebem fertilização potássica, tendem a apresentar maiores crescimentos e serem mais eficientes no uso da água (ALMEIDA et al., 2010; TAIZ; ZEIGER, 2012).

O teor de K trocável na camada de 0-20 cm antes da instalação foi o mesmo para os dois sítios, 0,4mmol$_c$ dm^{-3} e, por isso, o teor do nutriente no solo não pode ser considerado como responsável pelas diferentes respostas em Luís Antônio e Mogi-Guaçu.

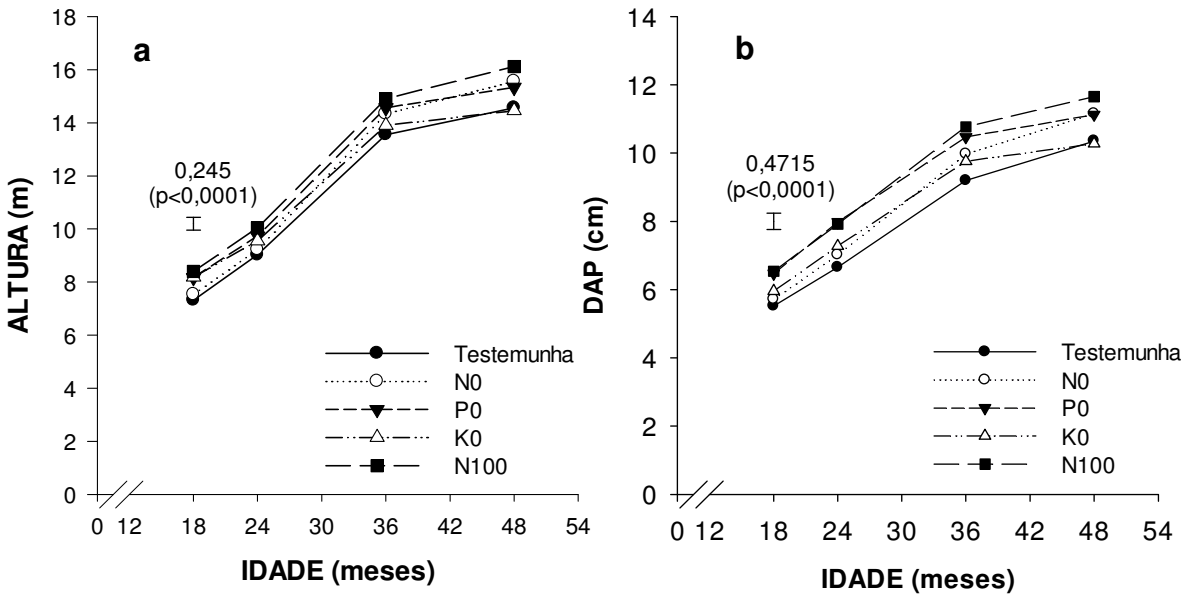

Figura 62 - Comparação entre os tratamentos com omissão de nutrientes e a fertilização completa para o crescimento de *E. urophylla x globulus* em Altura (a) e, DAP (b) em RQ localizado em Luís Antônio, SP

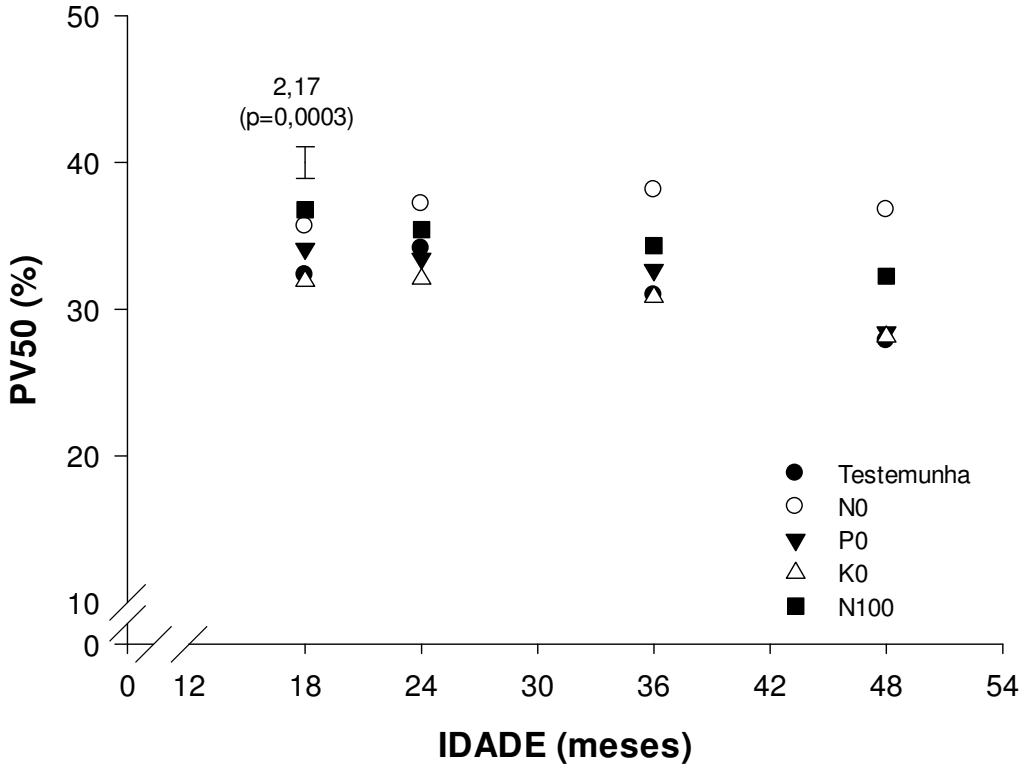

Figura 63 - Uniformidade volumétrica pelo índice PV50 em função da idade para *E. urophylla x globulus* em RQ localizado em Luís Antônio, SP

4.4.4 Paulistânia

A altura média do tratamento P0 foi inferior à altura dos tratamentos N0, K0, N100 e testemunha até os 36 meses de idade, quando se igualou às médias obtidas na Testemunha. Estes dois tratamentos diferiram dos demais até os 60 meses (Figura 64). O DAP médio da Testemunha e do P0 foram inferiores aos valores encontrados para N0, K0 e Testemunha entre os 18 e 60 meses. A diferença entre os tratamentos diminuiu com a idade.

Os nutrientes que proporcionaram os maiores crescimentos em volume foram também aqueles que apresentaram os maiores valores de PV50 (Figura 65). Entre os 18 e 60 meses, a Testemunha e o P0 apresentaram os menores valores de PV50. O P0 apresentou PV50 igual a 36,5% aos 18 meses e 29,4% aos 60 meses, enquanto que para as mesmas idades, a Testemunha apresentou valores de 41,4 e 35,8%, respectivamente. Para N100, os valores de PV50 foram de 43,8% aos 18 meses e 41,0% aos 60 meses. Estes resultados refletem a baixa disponibilidade de P no solo e a capacidade limitada de suprir uniformemente o tratamento P0, heterogeneizando o tratamento e, assim, diminuindo os valores de PV50 com a idade.

Durante o período avaliado, apenas o tratamento P0 apresentou índices de PV50 abaixo do proposto por Hakamada (2012) como indicador de florestas homogêneas, 34%. Os índices de PV50 abaixo do limite ocorreram a partir dos 48 meses.

Ao se comparar os quatro sítios estudados, verificou-se que as maiores reduções no índice PV50 foram atribuídas aos locais de maiores produtividades (Paulistânia e Mogi-Guaçu). Devido à mais alta produtividade, as árvores nestes dois sítios aumentaram as diferenças de crescimento com maior velocidade e, as árvores menores se tornaram cada vez mais suprimidas, crescendo a ritmos menores e, diminuindo os valores de PV50 com a idade. Pois, o índice PV50 mede a representatividade percentual das 50% menores árvores do tratamento e a diminuição neste índice indica que a cada medição, estas crescem menos e se distanciam mais da metade superior da parcela. Em Paulistânia, O PV 50 do tratamento P0 diminuiu de 36 para 29% entre os 18 e 60 meses. Em Ribas do Rio Pardo, o índice aumentou.

Embora tenham apresentado as maiores diminuições, os valores de PV50 para o sítio de Paulistânia foram os maiores entre os quatro sítios estudados e refletem as altas produtividades obtidas, indicando teores nutricionais adequados no solo e menores variações locais, gerando valores elevados de PV50.

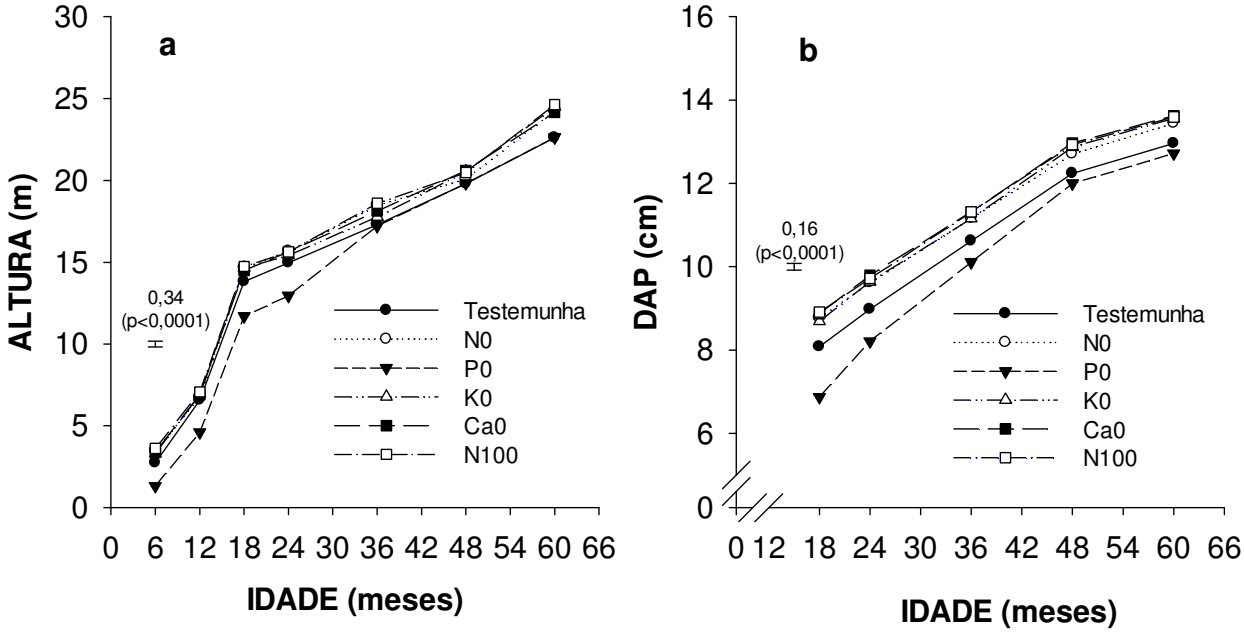

Figura 64 - Comparação entre os tratamentos com omissão de nutrientes e a fertilização completa para o crescimento de *E. grandis x urophylla* em Altura (a) e, DAP (b) em RQ localizado em Paulistânia, SP

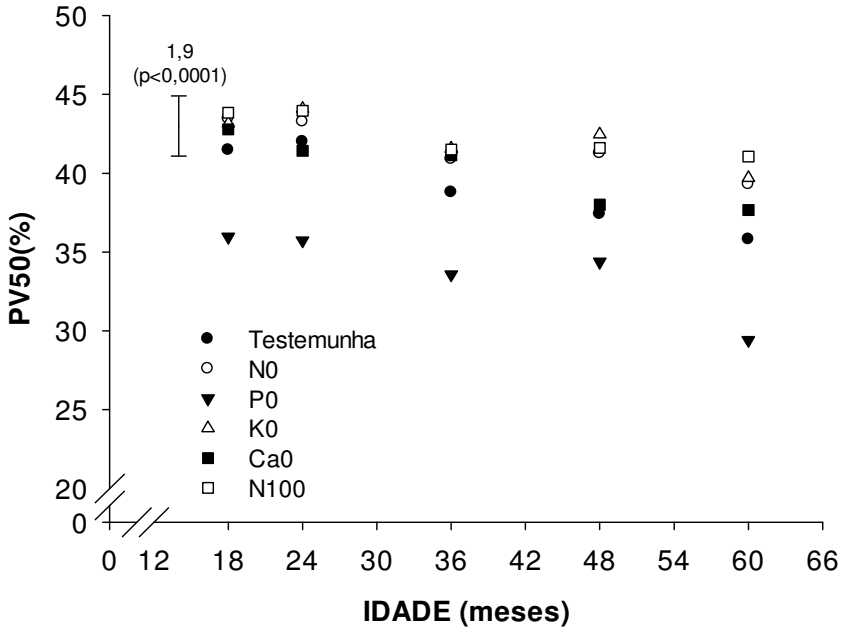

Figura 65 - Uniformidade volumétrica pelo índice PV50 em função da idade para *E. grandis x urophylla* em RQ localizado em Paulistânia, SP

4.5 Comparações entre os sítios

4.5.1 Nitrogênio

A aplicação do tratamento N150 apresentou resultados diferentes entre os quatro sítios estudados. Os maiores ganhos em produção se deram em Ribas do Rio Pardo e Luís Antônio. As variáveis de maior relação com os resultados obtidos foram o teor de argila e déficit hídrico anual (Tabela 37). A MOS, para a camada 0-20 cm, sugerida por Gonçalves (2011) como variável indicativa da necessidade de fertilização nitrogenada, apresentou seus maiores teores justamente para os sítios de maiores respostas. Os valores de MOS para os quatro sítios foram próximos e pode-se inferir que não influenciaram nas respostas ao N entre os sítios. Os tratamentos que receberam doses crescentes de N se beneficiaram dos maiores teores do nutriente, próximo ao sistema radicular e, por isso, apresentaram maiores crescimentos.

O ganho em volume de madeira aos 48 meses, ao comparar-se N150 e N0, foi de 46,5% para Ribas do Rio Pardo, 19,9% para Luís Antônio e, de 14,2% para Mogi-Guaçu. De acordo com Gonçalves (2011), teores de MOS inferiores a 15 g dm^{-3} são considerados baixos e tendem a apresentar alto potencial de resposta à fertilização nitrogenada.

A dose recomendada para obtenção das maiores produções variou de acordo com o método de avaliação utilizado. A análise de regressão apresentou as maiores doses dentre os três métodos avaliados e, a tabela de recomendação proposta por Gonçalves et al. (2008) e o método gráfico, os menores. Comparativamente à análise de regressão, o método gráfico obteve 95% das produtividades máximas com doses de N entre 35 e 130 kg ha^{-1} inferiores.

A recomendação proposta por Gonçalves *et al.* (2008) considera os teores de MOS na camada de 0-20 cm do solo. Nos quatro sítios estudados, a utilização de apenas este atributo ocasionou em doses ótimas diferentes daquelas obtidas pela análise dos dados. De acordo com os resultados, pode-se afirmar que, para maior assertividade nas recomendações, as condições climáticas regionais fossem observadas. Os sítios de maiores déficits hídricos neste estudo foram aqueles que apresentaram as maiores respostas às doses aplicadas. Em média, as diferenças entre as doses recomendadas pelo critério da MOS e as doses encontradas pelo método gráfico diferiram em 30 kg ha^{-1}.

Embora ganhos com a fertilização nitrogenada tenham sido obtidos, não houve relação entre os teores foliares de N e as produtividades. Os valores para todos os sítios foram superiores a 20 g kg^{-1}. Em Ribas do Rio Pardo, sítio de maiores respostas à fertilização nitrogenada, os teores de N para N0 e N150 aos 36 meses foram iguais. O IAF também não se

mostrou um bom indicador das respostas volumétricas obtidas, visto que os valores foram próximos mesmo quando houve diferenças de produtividade entre as doses testadas.

Tabela 37 – Dados climáticos, atributos do solo, dose recomendada de N e ganhos em volume de madeira produzida, em m^3 ha^{-1}, em plantações de *E. grandis x urophylla* em Ribas do Rio Pardo e Paulistânia e, plantações de *E. urophylla x globulus,* em Mogi-Guaçu e Luís Antônio

Variável		Sítio			
		Ribas do Rio Pardo	Mogi-Guaçu	Luis Antônio	Paulistânia
		mm			
Dados Climáticos	**PPT**	1265	1443	1099	1345
	ETR	1163	941	916	1024
	DEF	173	111	100	87
		ºC			
	T	24,4	23,7	22,5	22,4
		g kg^{-1}			
Atributos do solo	**Argila**	70,0	197,0	111,0	123,0
	Areia	920,0	693,0	801,0	880,0
		g dm^{-3}			
	MOS	14,7	12,3	17,8	9,1
		g kg^{-1}			
Teor Foliar	**N0**[(a)]	20,0*	20,0**	23,0**	24,0**
	N150[(a)]	20,0*	22,0**	22,0**	21,0**
		m^2 m^{-2}			
IAF	**N0**[(b)]	3,2**	3,2**	3,0**	4,0**
	N150[(b)]	3,4**	3,4**	3,0**	4,0**
		m^3 ha^{-1} ano^{-1}			
IMA	**N150**	25,0	32,5	30,0	48,8
		kg ha^{-1}			
Dose	**Equação**[(c)]	86,3	150,0	150,0	150,0
	M.G. [(d)]	51,3	96,0	106,4	20,0
	Referência[(e)]	60	60,0	40,0	60,0
		m^3 ha^{-1}			
Ganhos em Produção	**Absoluto**[(f)]	37,8	17,2	19,7	10,2
		%			
	Relativo[(f)]	46,5	14,2	19,9	3,8

PP, Precipitação; ETR, Evapotranspiração Real; DEF, Déficit Hídrico; T, Temperatura; MOS, Matéria Orgânica do solo na camada 0-20cm; [(a)], Teores foliares do tratamento na idade de 48 meses; [(b)], IAF para o tratamento na idade de 48 meses; [(c)] Dose máxima pela equação de regressão; [(d)] Dose ótima pelo Método Gráfico; [(e)] Recomendação proposta por Gonçalves et al. (2008). [(f)], Ganhos comparativos entre N150 e N0 aos 48 meses. *, Valor aos 36 meses; **, Valor aos 48 meses

A produtividade relativa (PR) para o sítio de Paulistânia foi de 96% aos 18 meses e de 96,5% aos 60 meses, com pequenas variações. Os sítios de Luís Antônio e Mogi-Guaçu apresentaram PR crescente entre os 18 e 48 meses. Em Luís Antônio, a PR, aos 18 meses, foi de 66,6% e de 83,5% aos 48 meses. Em Mogi-Guaçu, a PR foi de 83,3% aos 18 meses e de 87,5% aos 48 meses. Ribas do Rio Pardo apresentou as maiores variações para a PR. Aos 24 meses obteve 87,5% e aos 60 meses, 78,5%.

Pulito *et al.*(2014) verificaram PR entre 85 e 95% para plantações comerciais de *E. grandis x E. urophylla* e *E. grandis* em solos de textura arenosa no estado de São Paulo ao comparar doses superiores a 120 kg ha^{-1} de N e a omissão do nutriente. Em Itatinga, a PR foi próxima a 80% em solo de textura média com plantação de *E. grandis.* As plantações variaram entre três e seis anos de idade.

Com exceção de Ribas do Rio Pardo e a partir dos 36 meses, os outros três sítios apresentaram aumentos nos valores de PR, de acordo com a idade. Estas elevações indicam diminuição das respostas à aplicação de N com a idade. Dentre os principais fatores limitantes por estes resultados estão o início da competição por luz e nutrientes e o início do processo de ciclagem biogeoquímica entre os 24 e 36 meses (LACLAU *et al.*, 2010).

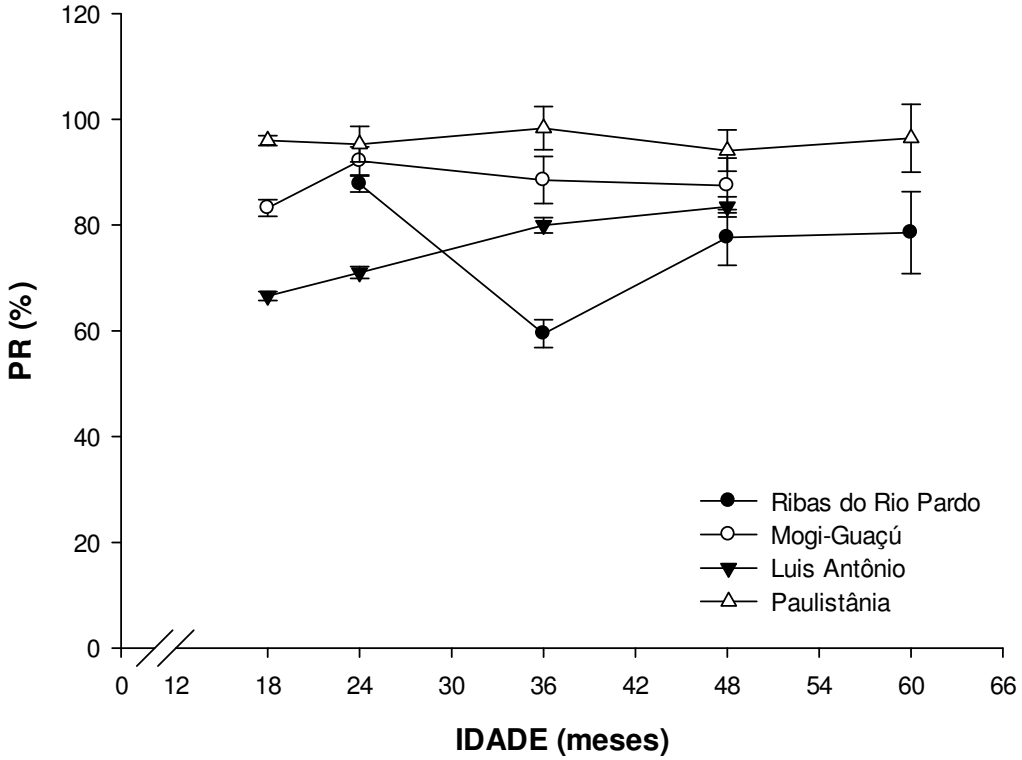

Figura 66 – Produtividade relativa do tratamento N150 em função da idade e do local de estudo entre os 18 e 60 meses

4.5.2 Fósforo

A aplicação de P apresentou ganhos em produção relativa próximos para Ribas do Rio Pardo, Mogi-Guaçu e Paulistânia (Tabela 38). Os ganhos com a aplicação do tratamento P90 em relação ao P0 aos 48 meses foram de 14,4%, 16,5% e 19,4% para Paulistânia, Mogi-Guaçu e Ribas do Rio Pardo, respectivamente. A maior resposta, em Ribas do Rio Pardo, correspondeu ao local com menores teores de P no solo para a camada de 0-20 cm. Luís Antônio, local com os maiores teores de P no solo, não apresentou ganhos representativos com a fertilização fosfatada, corroborando recomendações de fertilização propostas para solos com teores de P-resina acima de 8 mg dm^{-3} (GONÇALVES *et al.*, 2008). Os dados climáticos regionais apresentaram pequenas relações com as respostas à fertilização com P, sendo a disponibilidade do nutriente no solo, o atributo de maior influência.

As doses calculadas pelo método gráfico para Mogi-Guaçu e Ribas do Rio Pardo foram próximas àquelas propostas segundo tabela de recomendação de Gonçalves *et. al.* (2008). As doses calculadas a partir do método gráfico variaram entre 0 e 41 kg ha^{-1} de P_2O_5, enquanto as doses encontradas a partir da tabela de recomendação estiveram entre 10 e 40 kg ha^{-1} de P_2O_5. Pode-se afirmar, portanto, que, para os sítios de Mogi-Guaçu e Paulistânia, a tabela de recomendação proposta por Gonçalves *et al.* (2008) foi capaz de sugerir as doses corretas.

O IAF aos 48 meses não se mostrou como um bom indicador das respostas às fertilizações fosfatadas. Em Ribas do Rio Pardo e Luís Antônio, o IAF foi o mesmo para os tratamentos P0 e P90. Para Mogi-Guaçu, o tratamento P0 foi 0,1 m^2 m^{-2} inferior em relação a P90 e, em Paulistânia, 0,2 m^2 m^{-2} inferior. Estes resultados também podem ser atribuídos ao momento de coleta, entre novembro e dezembro, sendo necessária uma avaliação mensal destes índices para verificar as variações sazonais e confirmar a ineficácia do método.

Assim como o IAF, os teores foliares de P não foram capazes de indicar baixas produtividades ou diferenças entre os tratamentos. Dentre os quatro sítios estudados, Ribas do Rio Pardo, de menor IMA aos 48 meses, apresentou os maiores teores foliares de P. Os teores estiveram acima da faixa adequada proposta por Gonçalves (2011), com valores superiores a 2,0 g kg^{-1}. Possivelmente por apresentar baixo crescimento, o *E. grandis x urophylla* não apresentou efeito de diluição e, o P absorvido manteve-se acumulado nas folhas. Entre as plantações de *E. urophylla x globulus*, Mogi-Guaçu, cujo ganho relativo em produção de madeira foi 16,5%, apresentou teores de P para P0 iguais a 0,8 g kg^{-1} e, Luís Antônio, cuja

ganho relativo foi nulo, 1,1 g kg^{-1}. De maneira geral, o híbrido *E. urophylla x globulus* apresentou teores foliares de P inferiores aos dois materiais de *E. grandis x urophylla.*

Tabela 38 - Dados climáticos, atributos do solo, dose recomendada de P_2O_5 e ganhos em volume de madeira produzida, em m^3 ha^{-1}, em plantações de *E. grandis x urophylla* em Ribas do Rio Pardo e Paulistânia e, plantações de *E. urophylla x globulus,* em Mogi-Guaçu e Luís Antônio

Variável		Sítio			
		Ribas do Rio Pardo	Mogi-Guaçu	Luis Antônio	Paulistânia
		mm			
Dados Climáticos	**PPT**	1265	1443	1099	1345
	ETR	1163	941	916	1024
	DEF	173	111	100	87
		°C			
	T	24,4	23,7	22,5	22,4
		g kg^{-1}			
Atributos do solo	**Argila**	70,0	197,0	111,0	123,0
	Areia	920,0	693,0	801,0	880,0
		mg dm^{-3}			
	P-disponível	1,8	5,0	8,1	3,0
		g kg^{-1}			
Teor Foliar	**P0[(a)]**	2,2*	0,8**	1,1**	1,2**
	P90[(a)]	2,3*	0,9**	1,0**	1,3**
		m^2 m^{-2}			
IAF	**P0[(b)]**	3,3**	3,1**	2,9**	4,4**
	P90[(b)]	3,3**	3,2**	2,9**	4,2**
		m^3 ha^{-1} ano^{-1}			
IMA	**P90**	28,0	32,5	27,5	54,0
		kg ha^{-1}			
Dose	**Equação[(c)]**	95	57	—	72
	M.G. [(d)]	41	23	0	27
	Referência[(e)]	40	40	10-20	40
		m^3 ha^{-1}			
Ganhos em Produção	**Absoluto**	18	20	–	27
		%			
	Relativo	19,4	16,5	–	14,4

PP, Precipitação; ETR, Evapotranspiração Real; DEF, Déficit Hídrico; T, Temperatura; P-resina, Teor de P no solo para camada 0-20cm pelo método da resina trocadora de íons; [(a)], Teores foliares do tratamento na idade de 48 meses; [(b)], IAF para o tratamento na idade de 48 meses; [(c)] Dose máxima pela equação de regressão; [(d)] Dose ótima pelo Método Gráfico; [(e)] Recomendação proposta por Gonçalves et al. (2008). [(f)], Ganhos comparativos entre P90 e P0 aos 48 meses. *, Valor aos 36 meses; **, Valor aos 48 meses

A produtividade relativa apresentou comportamentos similares para os sítios, com exceção de Luís Antônio, que apresentou decréscimos na PR de acordo com a idade (Figura 67). Neste sítio, aos 18 meses, a PR foi de 103,0% e de 94,7% aos 48 meses. Os valores de PR para este sítio foram superiores aos demais em todas as idades avaliadas. Para os sítios de Paulistânia, Mogi-Guaçu e Ribas do Rio Pardo a PR aumentou entre a primeira e última avaliação. Em Paulistânia, a PR foi de 52,6% aos 18 meses e de 86,9% aos 60 meses. Em Ribas do Rio Pardo, a PR apresentou valores de 60,5 aos 24 meses e de 71,0% aos 60 meses. De maneira geral, os sítios de Paulistânia, Mogi-Guaçu e Ribas do Rio Pardo apresentaram ganhos para a PR de acordo com o crescimento das árvores. Estes resultados indicam a diminuição da resposta ao P com o crescimento das árvores.

Aos 48 meses, a PR dos sítios de Mogi-Guaçu e Paulistânia se aproximou dos valores obtidos em Luís Antônio, que não apresentou respostas à aplicação de P. Tal aproximação fortalece a hipótese de que as respostas à aplicação de P diminuem com a idade, devido à competição por outros fatores de maior limitação. Os valores de PR aos 48 meses foram de 94,7%, 90,4% e 87,9% para Luís Antônio, Mogi-Guaçu e Paulistânia, respectivamente.

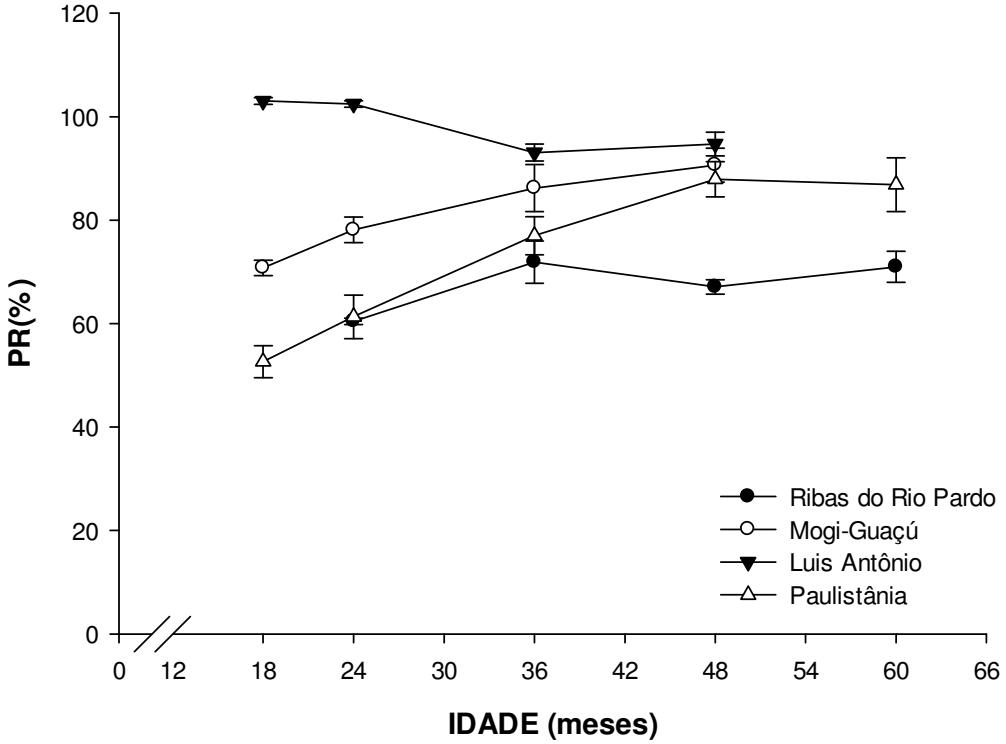

Figura 67 - Produtividade relativa do tratamento P90 em função da idade e do local de estudo entre os 18 e 60 meses

4.5.3 Potássio

A aplicação de K nos quatro sítios apresentou comportamentos distintos (Tabela 39). Enquanto os teores no solo apresentaram poucas diferenças, variando entre 0,3 e 0,5 $mmol_c$ dm^{-3}, os ganhos em produtividade com a aplicação do tratamento K150 aos 48 meses, variaram entre 2,4 e 99,5%. Em Ribas do Rio Pardo, os ganhos referentes à aplicação do tratamento K150 em relação ao K0 foram de 99,5%. Em Mogi-Guaçu e Luís Antônio, corresponderam a 21,1 e 21,5% e, em Paulistânia, à 2,4%. Com exceção de Paulistânia, as respostas obtidas nos demais sítios corroboraram a proposição de Gonçalves (2011) de que para a cultura do eucalipto, teores de K inferiores a 0,5 $mmol_c$ dm^{-3} podem ser considerados baixos e com alto potencial de resposta à fertilização. Os teores de argila nestes sítios apresentaram pequenas variações sendo a textura classificada como arenosa para Ribas do Rio Pardo, Luis Antônio e Paulistânia e média para Mogi-Guaçu. As maiores variações entre os sítios se deram para o déficit hídrico (DEF) das áreas. Enquanto Ribas do Rio Pardo apresentou DEF de 173 mm, Paulistânia apresentou 87 mm. Estes valores podem explicar à resposta à fertilização potássica entre os dois locais de estudo. De acordo com Marschner (2012), o K desempenha a função de regulação estomática nas folhas e com isso, controla os processos de perda de água por transpiração. Em condições nas quais o déficit hídrico se tornou mais acentuado, a resposta à aplicação deste nutriente foi maior. Assim, como os ganhos em produção com o tratamento K150, as respostas à aplicação de K foram maiores para Ribas do Rio Pardo, mesmo com teores próximos de K no solo.

As doses máximas, calculadas a partir das análises de regressão, variaram de 0 kg ha^{-1} de K_2O para Paulistânia, a 184 kg ha^{-1} de K_2O, para Mogi-Guaçu. Pelo método gráfico as doses variaram entre 0 e 135 kg ha^{-1} de K_2O, com a maior dose para Ribas do Rio Pardo. Utilizando-se dos teores de argila e K no solo, as recomendações de K_2O, segundo tabela de fertilização proposta por Gonçalves et al. (2008) variaram entre 100 e 120 kg ha^{-1} de K_2O. Em geral, comparando-se as doses obtidas a partir da tabela de recomendação e aquelas obtidas pelo método gráfico, as variações foram de 35 kg ha^{-1} K_2O, excetuando-se os resultados de Paulistânia. Em três dos quatro sítios, as doses recomendadas de acordo com a tabela de recomendação foram maiores do que aquelas determinadas pelo método gráfico. Para o sítio de maior resposta, Ribas do Rio Pardo, as doses da tabela foram subestimadas. Entre o método gráfico e as regressões, as variações médias foram de 59 kg ha^{-1} de K_2O.

Aos 48 meses, o IAF não foi um bom indicativo da resposta à fertilização potássica entre os tratamentos em um mesmo sítio. As diferenças entre os tratamentos K0 e K150 foram

iguais ou inferiores à 0,4 m^2 m^{-2}. Entre os sítios, Paulistânia que apresentou o maior IMA e menores respostas ao K150, obteve os maiores valores de IMA. Luís Antônio, cujo IMA foi o menor dentre as áreas estudas, apresentou também o menor IAF. Pode-se concluir que o IAF é um bom indicativo de produtividade entre diferentes áreas, mas apresenta pequenas variações dentro de uma mesma área.

Dentre os quatro sítios estudados, Paulistânia foi o único que apresentou IAF crescente até os 60 meses. Normalmente, o pico de IAF ocorre entre os 24 e 36 meses após o plantio, como verificado para os outros três sítios. Este pico indica que se iniciaram com maior intensidade as competições por água e luz e, a partir de então, os valores de IAF se estabilizam ou sofrem diminuições. Por não haver ocorrido diminuição nestes valores em Paulistânia, assume-se que o sítio não apresentou limitações de crescimento, justificando a ausência de resposta à fertilização potássica. Visto que o K auxilia na eficiência de uso da água e aumenta a produtividade de plantações de eucalipto em regiões com déficit hídrico (ALMEIDA *et al*., 2010).

O uso do teor foliar de K como indicador da qualidade do sítio apresentou bons resultados ao compararem-se os tratamentos K0 e K150 para os quatro sítios, apresentando diferenças entre os teores foliares dos tratamentos. As maiores diferenças entre os tratamentos para os teores foliares de K se deram para Ribas do Rio Pardo, sítio com os maiores ganhos em produção com aplicação de K150. A comparação dos teores obtidos nos quatro sítios com as faixas adequadas propostas por Gonçalves (2011) não permitiram indicar a deficiência do nutriente. Apenas em Paulistânia, cujo K não impôs limitação ao crescimento, foi que o teor de K no solo para K0 esteve abaixo da faixa adequada de 5,5 a 8,5 g kg^{-1}. Para utilização dos teores foliares de K como indicadores da produtividade dos sítios, sugere-se que sejam realizadas calibrações regionais das faixas adequadas para uma correta interpretação dos resultados obtidos. Diferentemente do N, os teores de K se mantiveram diferentes entre a maior e a menor dose durante todo o período avaliado, indicando a possibilidade de utilização do teor foliar de K como variável indicativa da produtividade do sítio mesmo em florestas adultas.

Tabela 39 - Dados climáticos, atributos do solo, dose recomendada de K_2O e ganhos em volume de madeira produzida, em m^3 ha^{-1}, em plantações de *E. grandis x urophylla* em Ribas do Rio Pardo e Paulistânia e, plantações de *E. urophylla x globulus,* em Mogi-Guaçu e Luís Antônio

Variáveis		Sítio			
		Ribas do Rio Pardo	Mogi-Guaçu	Luis Antônio	Paulistânia
		mm			
Dados Climáticos	PP	1265	1443	1099	1345
	ETR	1163	941	916	1024
	DEF	173	111	100	87
		°C			
	T	24,4	23,7	22,5	22,4
		g kg^{-1}			
Atributos do solo	Argila	70,0	197,0	111,0	123,0
	Areia	920,0	693,0	801,0	880,0
		$mmol_c$ dm^{-3}			
	K-Disponível	0,3	0,3	0,4	0,4
		g kg^{-1}			
Teor Foliar	K0[(a)]	6,5*	6,5**	6,5**	5,0**
	K150[(a)]	8,5*	8,0**	7,6**	6,0**
		m^2 m^{-2}			
IAF	K0[(b)]	3,0**	2,9**	2,9**	4,2**
	K150[(b)]	3,4**	3,2**	2,9**	4,2**
		m^3 ha^{-1} ano^{-1}			
IMA	K150	28,0	32,5	27,5	54,0
		kg ha^{-1}			
Dose	Equação[(c)]	150	184	125	–
	M.G. [(d)]	135	87	59	0
	Referência[(e)]	100	120	100	100
		m^3 ha^{-1}			
Ganhos em Produção	Absoluto	59	24	20	5
		%			
	Relativo	100	21	22	2

PP, Precipitação; ETR, Evapotranspiração Real; DEF, Déficit Hídrico; T, Temperatura; P-resina, Teor de P no solo para camada 0-20 cm pelo método da resina trocadora de íons; [(a)], Teores foliares do tratamento na idade de 48 meses; [(b)], IAF para o tratamento na idade de 48 meses; [(c)] Dose máxima pela equação de regressão; [(d)] Dose ótima pelo Método Gráfico; [(e)] Recomendação proposta por Gonçalves et al. (2008). [(f)], Ganhos comparativos entre K150 e K0 aos 48 meses. *, Valor aos 36 meses; **, Valor aos 48 meses

A PR diminuiu para Ribas do Rio Pardo e Mogi-Guaçu. Em Paulistânia, apresentou pequenas variações (Figura 68). Em Ribas do Rio Pardo, a PR(%) aos 24 meses foi de 55,3% e atingindo valores de 43,8% aos 60 meses. Em Mogi-Guaçu, correspondeu a 93,4% aos 18 meses e à 83,3% aos 48 meses. Em Luís Antônio, aos 18 meses a PR(%) foi de 76,1 % crescendo para 83,4% aos 24 meses e diminuindo para 78,5% aos 48 meses. Em Paulistânia, a PR variou entre 93,4 e 94,1 % entre os 18 e 60 meses. Com exceção de Paulistânia, que não apresentou ganhos representativos com a fertilização potássica, a PR dos demais locais apresentou comportamentos similares, os valores decaíram entre os 18 e 24 meses, sem apresentarem ganhos representativos após este período. Este comportamento foi previamente descrito por Gonçalves (2004) e caracterizam ganhos de produtividade que se mantém com o desenvolvimento das plantas, conhecidos como respostas tipo II.

Diferentemente das respostas ao P que diminuíram com o crescimento das plantas, as respostas ao K se mantiveram ou mesmo aumentaram com a idade, indicando a baixa disponibilidade do nutriente no solo e a importância do nutriente com o desenvolvimento da floresta.

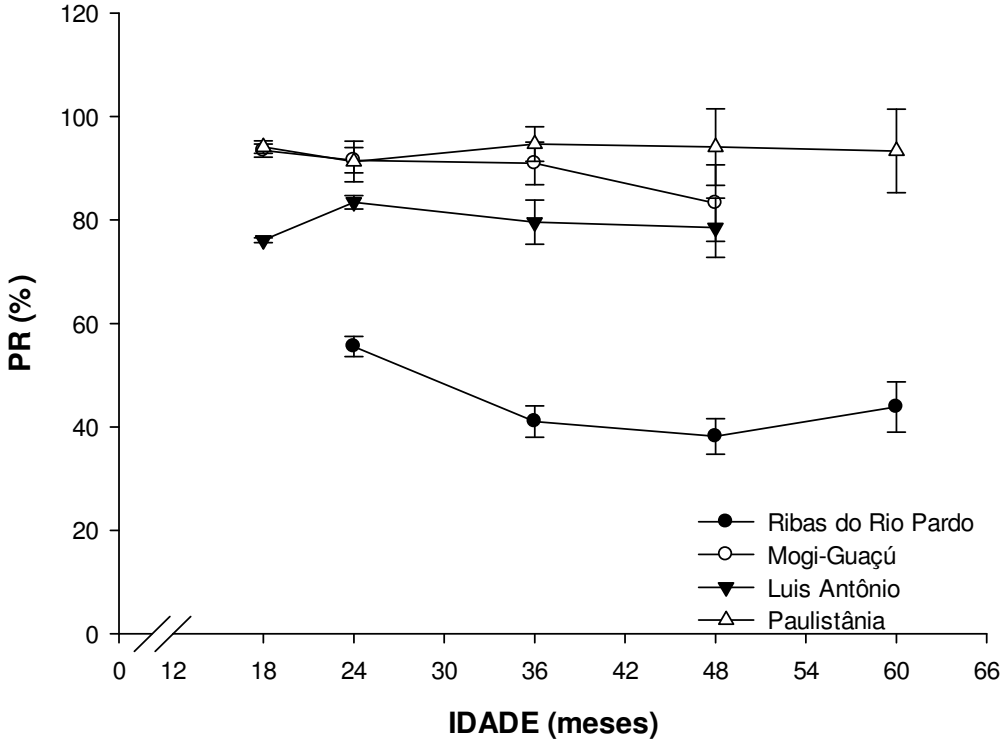

Figura 68 - Produtividade relativa do tratamento K150 em função da idade e do local de estudo entre os 18 e 60 meses

5 CONCLUSÕES

I- As respostas do eucalipto às fertilizações potássica e nitrogenada, nos sítios estudados, foram influenciadas pelo déficit hídrico e, as respostas à fertilização fosfatada dependeram apenas dos teores do nutriente no solo;

II- A aplicação de P apresentou respostas decrescentes ao longo do período avaliado para os sítios de Ribas do Rio Pardo, Mogi-Guaçu e Paulistânia. As respostas à aplicação de N apresentaram pequenas variações com a idade, com variações médias de 10% na PR. A resposta às fertilizações com K aumentou com a idade para todos os sítios;

III- A utilização de ureia como fonte alternativa de N apresentou produções semelhantes àquelas obtidas com nitrato de amônio. Ribas do Rio Pardo, sítio com as maiores temperaturas médias anuais e menores precipitações, foi o único no qual a produção obtida por ureia foi inferior à de nitrato de amônio.

IV- Apenas para o K, os teores foliares puderam ser utilizados como variáveis indicativas da produtividade dos sítios. Dentre as variáveis avaliadas, o índice PV50 foi o que apresentou as melhores relações com as produtividades obtidas.

V- A aplicação de Ca e Mg não apresentou diferenças de produtividade e uniformidade (PV50) quanto à omissão destes nutrientes.

REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário estatístico da Associação Brasileira de Produtores de Floresta Plantada, ano base 2011,** Brasília:ABRAF, 2012. 139p.

ABRAF. **Anuário estatístico da Associação Brasileira de Produtores de Floresta Plantada, ano base 2012,** Brasília:ABRAF, 2013. 142p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo, 2006. 173p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo, 2012. 168p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo, 2013. 175p.

AGUAS, A.; FERREIRA, A.; MAIA, P.; FERNANDES, P.M.; ROXO, L.; KEIZER, J.; SILVA, J.S.; REGO, F. C.; MOREIRA, F. Natural establishment of Eucalyptus globulus Labill. in burnt stands in Portugal. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam. v. 323, p. 47-56, 2014.

ALMEIDA, A.C.; SIGGINS, A.; BATISTA, T.R.; BEADLE, C.; FONSECA, S.; LOOS, R. Mapping the effect of spatial and temporal variation in climate and soils on Eucalyptus plantation production with 3-PG, a process-based growth model. **Forest Ecology and Management,** Amsterdã**,** v. 259, n. 9, p. 1730-1740, 2010.

ALMEIDA, J.C.R. **Nutrição, crescimento, eficiência de uso de água e nutrientes em povoamentos de Eucalyptus grandis fertilizados com potássio e sódio**. Piracicaba, 2009. 112p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 2009.

ALMEIDA, J.; C.R.; LACLAU, J.P.; GONÇALVES, J.L.M.; RANGER, J.; SAINT-ANDRE, L. A positive growth response to NaCl applications in Eucalyptus plantations established on K-deficient soils. **Forest Ecology and Management,** Amsterdã. v. 259, n. 9, p. 1786-1795, 2010.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart**.** v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRADE, G.D.C.; SILVA, H.D.; BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A. Growth of Eucalyptus dunnii affected by phosphorus fertilization and pulp and paper mill wastes application. **Boletim de Pesquisa Florestal,** Colombo. v. 2005. 47, p. 43-54, 2003.

ANKUMAH, R.O.; KHAN, V.; MWAMBA, K.; KPOMBLEKOU, K. The influence of source and timing of nitrogen fertilizers on yield and nitrogen use efficiency of four sweet potato cultivars. **Agriculture Ecosystems & Environment,** Amsterdam. v. 100, n. 2/3, p. 201-207, 2003.

AULAKH, M.S.; BIJAY-SINGH. Nitrogen losses and fertilizer N use efficiency in irrigated porous soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems,** Boca Raton**,** v. 47, n. 3, p. 197-212, 1997.

BALLARD, T.M. A simple model for predicting stand volume growth response to fertilizer application. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.14, p.661-665, 1984

BALMELLI, G.; SIMETO, S.; MARRONI, V. Genetic variation for resistance to Mycosphaerella leaf disease and Eucalyptus rust on Eucalyptus globulus in Uruguay. **Australasian Plant Pathology,** Clayton, v. 43, n. 1, p. 97-107, 2014.

BARBER, S.A. The role of root interception, mass flow and diffusion in regulating the uptake of ioions by plants from soils. In: Limiting Steps in Ion uptake by Plant from Soils. I.A.E.A. **Technical Report Series**.Viena, v.65, p. 34-45, 1966.

BARRE, P.; VELDE, B.; FONTAINE, C.; CATEL, N.; ABBADIE, L. Which 2 : 1 clay minerals are involved in the soil potassium reservoir? Insights from potassium addition or removal experiments on three temperate grassland soil clay assemblages. **Geoderma,** Amsterdam, v. 146, n. 1/2, p. 216-223, 2008.

BARROS, N.F.; BRAGA, J.M.; BRANDI, R.M.; DEFELIPO, B.V. Produção de eucalipto em solos de cerrados em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista Árvore**, Viçosa, v.5, p. 90-103, 1981.

BARROS, N.F.; CARMO, D.N.; CALAIS, D.; VIEIRA, F.S. Biomassa, absorção e eficiência de utilização de nutrientes por clones de eucalipto na região norte do Espirito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO,20., **Anais...** Belém:SBCS, 1985. 109p.

BARROS, N.F. **Florestas Plantadas no Neotropico como Fonte de Energia**. Viçosa: Imprensa Universitária – Viçosa. UFV, 1985. 456p

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Ed.). **Nutrition of Eucalypts.** Melbourne: CSIRO Publishing, 1996. p.335-355.

BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. v. 1, p. 270-283.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F., NOVAIS, R.F. (Ed.). **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p. 127-181.

BATTAGLIA, M.; CHERRY, M.L.; BEADLE, C.L.; SANDS, P.J.; HINGSTON,A. Prediction of leaf area index in eucalypt plantations: effects of water stress and temperature. **Tree Physiology,** Oxford**,** v. 18, n. 8/9, p. 521-528, 1998.

BELLOTE, A.J.F.; SILVA, H.D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus spp*. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-166,

BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A.; SILVA, H.D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de Eucalyptus com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 56, p.31-41, 2008.

BENNETT, B.M. The El Dorado of Forestry: The Eucalyptus in India, South Africa, and Thailand, 1850-2000. **International Review of Social History,** Assen, v. 55, p. 27-50, 2010.

BENNETT, L.T.; WESTON, C.J.; ATTIWILL, P.M. Biomass, nutrient content and growth response to fertilisers of six-year-old Eucalyptus globulus plantations at three contrasting sites in Gippsland, Victoria. **Australian Journal of Botany,** East Melbourne, v. 45, n. 1, p. 103-121, 1997.

BERNARDI, A.C.C.; MOTA, E.P.; CARDOSA, R.D.; MONTE, M.B.M.; OLIVEIRA, P.P.A. Ammonia Volatilization from Soil, Dry-Matter Yield, and Nitrogen Levels of Italian Ryegrass. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** New York, v. 45, n. 2, p. 153-162, 2014.

BINKLEY, D. **Forest Nutrition Management**. New York: Wiley, 1986. 304p.

BOUILLET, J.P.; LACLAU, J.P.; ARNAUD, M.; M'BOU, A.T.; LAURENT, S.A.; JOURDAN, C. Changes with age in the spatial distribution of roots of Eucalyptus clone in Congo - Impact on water and nutrient uptake. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam**,** v. 171, n. 1/2, p. 43-57, 2002.

BOUMAN, O.T. ; CURTIN, D.; CAMPBELL, C.A.; BIEDERBECK, V.O.; UKRAINETZ, H. Soil acidification from long-term use of anhydrous ammonia and urea. **Soil Science Society of America Journal, Madison,** v. 59, n. 5, p. 1488-1494, 1995.

BRADY, N. C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. New Jersey, Prentice Hall, 2008. 992p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. Brasil, **Projeções do Agronegócio, 2011/2012 a 2021/2022**, Brasilia. 2012. 51p.

BUNN, E.H. Pilot fertilizer trials with *Eucalyptus spp*. In**;_____ Use of fertilisers in New Zealand forestry**. Rotorua, New Zealand:New Zealand forest service, 1961.(FRI symposium,1_)

CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J. Nitrogênio orgânico do solo. In: CAMARGO, F.A.; O., SANTOS, F.A. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênesis, 1999. p.117-137.

CAMARGO, M.L.P.; MORAES, C.B.; MORI, E.S.; GUERRINI, I.A.; MELLO, E.J.; ODA, S. Considerações sobre eficiência nutricional em Eucalyptus. **Científica**, Jaboticabal, v.32, n.2, p.191-196, 2004.

CANTARELLA, H.N. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.A.V.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L. F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-471.

CATE, R.B.; NELSON, L.A. **A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data**. Raleigh, North Carolina Agric. Exp. Stn., Int. Soil Testing Ser., 1965. 159p.(Tech. Bull. 1.).

CHAIRUNGSEE N.; GAY, F.; THALER, P.; KASEMSAP, P.; THANISAWANYANGURA, S.; CHANTUMA, A.; CHANTUMA, A.; JOURDAN, C. Impact of tapping and soil water status on fine root dynamics in a rubber tree plantation in Thailand. **Frontiers in Plant Science**, Lausane, v.4, p. 1-11, 2013

CHEN, D.M.; LAN, Z.; BAI, X.; GRACE, J. B.; BAY, Y. Evidence that acidification-induced declines in plant diversity and productivity are mediated by changes in below-ground communities and soil properties in a semi-arid steppe. **Journal of Ecology,** Oxford, v. 101, n. 5, p. 1322-1334, 2013.

COSTA, K.A.D; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P.; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E.C. Nitrogen doses and sources in marandu pasture. I - Changes in soil chemical properties. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo,** Campinas, v. 32, n. 4, p. 1591-1599, 2008.

COSTA, M.C.G.; TONINI, H.; DIAS, C.T.D.; IWATA, B.F. Fertilization during the establishment of a eucalyptus camaldulensis plantations in the northern brazilian amazon. **Agroambiente On-line**, Boa Vista, v.6, p.91-101,2012.

CROMER, R.N.; CAMERON, D.; CAMERON, J.N.; FLINN, D.W.; NEILSEN, W.A.; RAUPACH, M.; SNOWDON, P.; WARING, H.D. Response of eucalypt species to fertiliser applied soon after planting application of superphosphate at several sites. **Australian Forestry,** Perth, v. 44, p.3-13, 1981.

CROMER, R.N. Fertilizer trials in young plantations of eucalyptus. **Australian Forest Research**, Camberra. v.5, p.1-10, 1971.

CUBBAGE, F.; KOESBANDANA, S.; MAC DONAGH, P.; RUBILAR, R.; BALMELLI, G.; MORALES OLMOS, V.; DE LA TORRE, R.; MURRARO, M.; HOEFLICH, V.; KOTZE, H.; GONZALEZ, R.; CARRERO, O.; FREY, G.; ADAMS, T.; TURNER, J.; LORD, R.; HUANG, J.; MACINTYRE, C.; MCGINLEY, K.; ABT, R.; PHILLIPS, R. Global timber investments, wood costs, regulation, and risk. **Biomass and Bioenergy,** Oxford, v. 34, n. 12, p. 1667-1678, 2010.

DA SILVA, J.V.; NOGUEIRA, G.S.; SANTANA, R.C.; LEITE, H.G.; OLIVEIRA, M.L.R.; ALMADO, R. P. Production and nutrient accumulation in a eucalyptus plantation as a consequence of thinning intensities and fertilization. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira,** Rio de Janeiro, v. 47, n. 11, p. 1555-1562, 2012.

DA SILVA, P.H.M.; POGGIANI, F.; FERRAZ, A.V.; MELO, R.M.; BRITO, J.O. Nutritional balance, essential oil and wood production from *Corymbia citriodora* Hill & Johnson with sewage sludge and mineral fertilizer applications. **Ciencia Florestal,** Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 821-831, 2012.

DA SILVA, P.H.M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P.L.; GONÇALVES, A.N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 301, p. 67-78, Aug 2013. I.

DE AGUIAR FERREIRA, J.M.; STAPE, J.L. Productivity gains by fertilisation in Eucalyptus urophylla clonal plantations across gradients in site and stand conditions. **Southern Forests,** Grahamstown, v. 71, n. 4, p. 253-258, Dec 2009.

DONALD, D.G.; SCHULTZ, C.J. The response of Eucalyptus to fertilizer applications of planting: the Louw's Creek Trial. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v.102, p.23-28, 1997.

DYE, P. A review of changing perspectives on Eucalyptus water-use in South Africa. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 301, p. 51-57, Aug 1 2013.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2013. 412p.

ERNANI, P.R.; BAYER, C.; RIBEIRO, M.F.S. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 35, n.5/6, p. 889-901, 2004.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.

FAO, **Current world fertilizer trends and outlook to 2016**. Roma. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2012.

FARIA, G.E.D.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LIMA, J.C.; TEIXEIRA, J. L. Produção e estado nutricional de povoamentos de Eucalyptus grandis, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. **Revista Arvore,** Viçosa, v. 26, p. 577-584, 2002.

FERNANDEZ, J.Q.P. DIAS, L.E.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; MORAES, E.J. Productivity of Eucalyptus camaldulensis affected by rate and placement of two phosphorus fertilizers to a Brazilian Oxisol. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 127, n. 1/3, p. 93-102, 2000.

FERRAZ, A.V. **Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade e na ciclagem de nutrientes em plantios de Eucalyptus grandis e no cultivo de plantas alimentícias (simulando alteração do uso agrícola do solo)**. 2013. 160p. (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

FERREIRA, E.V.O. **Indicadores fisiológicos do status de nitrogênio em plantas de eucalipto**. Universidade Federal de Viçosa, 2013. 81p. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2013.

FIFE, D.N.; NAMBIAR, E.K.S.; SAUR, E. Retranslocation of foliar nutrients in evergreen tree species planted in a Mediterranean environment. **Tree Physiology,** Oxford, v. 28, n. 2, p. 187-196, 2008.

FIXEN, P.E.; JOHNSTON, A.M. World fertilizer nutrient reserves: a view to the future. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** Chichester, v. 92, n. 5, p. 1001-1005, 2012.

FORRESTER, D.I.; COOLOPY, J.J.; BEADLE, C.L. WARREN, C.R.; BAKER, T.G. Effect of thinning, pruning and nitrogen fertiliser application on transpiration, photosynthesis and water-use efficiency in a young Eucalyptus nitens plantation. **Forest Ecology and Management,** Amstersdam, v. 266, p. 286-300, 2012.

FORRESTER, D.I.; COWIE, A.L.; BAUHUS, J.; WOOD, J.T.; FORRESTER, R.I. Effects of changing the supply of nitrogen and phosphorus on growth and interactions between Eucalyptus globulus and Acacia mearnsii in a pot trial. **Plant and Soil,** The Hague, v. 280, n. 1/2, p. 267-277, 2006.

FREITAG, A.S. **Crescimento de brotações de um clone de Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis em função da disponibilidade de nutrientes no solo e da aplicação de fitorreguladores na cepa**. 2013. 82p. (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

GAVA, J.L. **Efeito da adubação potássica em plantios de E. grandis conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável.**, Piracicaba: IPEF, 1997. p. 89-94. (**Série Técnica)**

GAVA, J.L.; GONÇALVES, J.L.M.; SHIBATA, F.Y.; CORRADINI, L. Eficiência relativa de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos do cerrado. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo,** Campinas, v. 21, p. 8, 1997.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J.P.; SMETHURST, P.; GAVA, J.L. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 193, n. 1/2, p. 45-61, 2004.

GONÇALVES, J.L.D. ; ALVARES, C.A.; HIGA, A.R.; SILVA, L.D.; ALFENAS, A.C.; STAHL, J.; FERRAZ, S.F.B.; LIMA, W.P.; BRANCALION, P.H.S.; HUBNER, A. BOUILLET, J.P.; LACLAU, J.P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 301, p. 6-27, Aug 2013.

GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus, Pinus* e Espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais,** Piracicaba, v. 15, p. 23, 1995.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; LACLAU, J.P.; BOUILLET, J.P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests,** Grahamstown, v. 70, n. 2, p. 105-118, 2008.

GONÇALVES, J.L.M.; WICHERT, M.P.; GAVA, J.L.; SERRANO, M.I.P. Soil fertility and growth of Eucalyptus grandis in Brazil under different residue management practices. **Southern Hemisphere Forestry Journal,** Grahamstown, v. 69, n. 2, p. 95-102, Oct 2007.

GONÇALVES, J.L.M.; MENDES, K.F.C.S.; SASAKI, C. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais e implantados do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, v. 25, n. 3, p. 601-616, 2001.

GONÇALVES, J.L.M. Fertilização de Plantações de Eucalipto. In: GONÇALVES, J.L.M.; PULITO, A. P.; ARTHUR JUNIOR, J.C.; SILVA, L.D. In:ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 2., 2011, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 2011. p. 85-114.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; WICHERT, M.C.P.; GAVA, J.L.; Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF,2002. p.131-204.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF2000. p.3-55.

GONÇALVES, J.L.M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 1-45.

GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; NAMBIAR, E.K.S.; NOVAIS, R.F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, S.; BROWN, A. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra:ACIAR Austrália/CSIRO Austrália/CIFOR Indonésia, 1997. p.379-418.

GOOS, R. J. Effects of Fertilizer Additives on Ammonia Loss after Surface Application of Urea-Ammonium Nitrate Fertilizer. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** New York, v. 44, n. 12, p. 1909-1917, 2013.

GORDON, W.B. Management of urea-containing fertilizers for no-tillage corn using nitrogen stabilizers and coated-granule technology. **Journal of Plant Nutrition,** New York, v. 37, n. 1, p. 87-94, Jan 2014.

GOYA, J.F.; FRANGI, J.L.; PEREZ, C.; DALLA TEA, F. Decomposition and nutrient release from leaf litter in Eucalyptus grandis plantations on three different soils in Entre Ríos, Argentina. **Bosque**, Valdivia, cidade, v.29, n.3 p.217-226, 2008.

GRIFFIN, A.R. Clones or improved seedlings of Eucalyptus? Not a simple choice. **International Forestry Review,** Oxford, v. 16, n. 2, p. 216-224, 2014.

GUERRA, E.; HERRERA, M.Á.; DRAKE, F. **Rentabilidad de la fertilización al establecimiento de plantaciones de Eucalyptus globulus, Agrociencia,** Valdivia, v. 41, n. 7, p. 797-804, 2007.

GROVE, T.S.; THOMSON, B.D.; MALAJCZUK, N. Nutritional Physiology of eucalypts: Uptake, distribution and utilization. ;In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Ed.). **Nutrition of eucalypts** Collingwood,: CSIRO publishing, 1996. p. 303-326.

GUERRA-BUGUENO, E.; CELIS-MOSQUEIRA, F.; MORENO-GARCIA, N. Effect of planting density on the profitability of *Eucalyptus globulus* plantations. **Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente,** Chapingo, v. 20, n. 1, p. 21-31, 2014.

HAFEZ, E.E.D.M.M.; KOBATA, T. The Effect of Different Nitrogen Sources from Urea and Ammonium Sulfate on the Spikelet Number in Egyptian Spring Wheat Cultivars on Well Watered Pot Soils. **Plant Production Science,** Kyoto, v. 15, n. 4, p. 332-338, Oct 2012.

HAKAMADA, R.E. **Uso do inventário florestal como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural de povoamentos clonais de Eucalyptus**. 2012. 115p. (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

HARRISON, R.B.; REIS; G.G.; REIS, M.D.G.F.; BERNARDO; A.L.; FIRME, D.J. Effect of spacing and age on nitrogen and phosphorus distribution in biomass of Eucalyptus camaldulensis , Eucalyptus pellita and Eucalyptus urophylla plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 133, n. 3, p. 167-177, 2000.

HARWOOD, C.E.; NAMBIAR, E.K.S. Productivity of acacia and eucalypt plantations in Southeast Asia. 2. trends and variations. **International Forestry Review,** Oxford, v. 16, n. 2, p. 249-260, 2014.

HAVLIN, J. L.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON. J.D. **Soil Fertility and Nutrient Management:** An Introduction to Nutrient Management. Pearson: Upper Saddle River, 2014. 505p.

HE, Z.L.; ALVA, A.K.; CALVERT, D.V.; LI, Y.C.; BANKS, D.J. Effects of nitrogen fertilization of grapefruit trees on soil acidification and nutrient availability in a Riviera fine sand. **Plant and Soil,** The Hague, v. 206, n. 1, p. 11-19, 1999.

HEILMAN, P.; WEBSTER, S.; STEINBRENNER, E.C.; STRAND, R.F. Season for application of urea fertilizer to Pacific Northwestforests. In: GESSEL, S.P.; KENADY, R.M.; ATKINSON, W.A. (Ed.). **Proceedings in Forest Fertilization Conference**, 1981. Seattle. p.186-191.

HERBERT, M.A. Fertilizers and eucalypt plantations in South Africa. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Ed.). **Nutrition of eucalypts**. Collingwood: CSIRO publishing, 1996. p. 303-326.

HERBERT, M.A.; SCHÖNAU, A.P.G. Fertilising commercial forest species in southern africa: research progress and problems (part 2). **South Africa Forestry Journal**, Pretoria, v.121, p. 34-42, 1990.

HINGSTON, F.J.; GALBRAITH, J.H.; DIMMOCK, G.M. Application of the process-based model BIOMASS to Eucalyptus globulus subsp. globulus plantations on ex-farmland in south western Australia - I. Water use by trees and assessing risk of losses due to drought. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam v. 106, n. 2/3, p. 141-156, 1998.

IAN, H. Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (Eucalyptus camaldulensis, *Eucalyptus grandis* and *Dalbergia sissoo*) as affected by irrigation and fertiliser, at 3 years of age, in southern India. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 144, n. 1/3, p. 189-200, 2001.

ISMAEL, J.J.; VALERI, S.V.; CORRADINI, L.; ALVARENGA, S.F.; DO VALLE; C.F.; FERREIRA, M. E.; BANZATTO, D.A. Critical levels of phosphorus in soil and leaves for the planting of Eucalyptus grandis Hill ex Maiden, in four soil types. **Scientia Forestalis,** Piracicaba, v. 54, p. 29-40, 1998.

JESUS, G.L.; BARROS, N.F.; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L.; HENRIQUES, E.P.; LIMA, V.C.; FERNANDES, L.V.; SOARES, E.M.B. Effect of nitrogen rates and sources on eucalyptus yield and soil organic matter fractions

in the cerrado region of Minas Gerais. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo,** Campinas, v. 36, n. 1, p. 201-214, Jan-Feb 2012.

JIANG, X.Y.; CAO, L.X.; ZHANG, R.D. Changes of labile and recalcitrant carbon pools under nitrogen addition in a city lawn soil. **Journal of Soils and Sediments,** Landsberg, v. 14, n. 3, p. 515-524, 2014.

JUDD, T.S.; BENNETT, L.T.; WESTON, C.J.; ATTIWILL, P.M.; WHITEMAN, P.H. The response of growth and foliar nutrients to fertilizers in young Eucalyptus globulus (Labill.) plantations in Gippsland, southeastern Australia. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 82, n. 1/3, p. 87-101, 1996.

KHA, L.H.; THINH, H.H.; CUONG, N.V. Improvement of Eucalypts for Reforestation in Vietnam. In: TURNBULL, J.W.In: EUCALYPTS IN ASIA INTERNATIONAL CONFERENCE, 2003. Zhanjiang, 2003.**Proceedings…** Zhanjiang, 2003. p. 71-82.

KHA, L.D.; H.A.H.T.; CUONG, N.V. Improvement of eucalypts for reforestation in vietnam. In: TURNBULL, J. (Ed.). **Eucalypts in asia**. ZHANJIANG, 2003. p.71-81.

KNIGHT, P.J.; NICHOLAS, I.D. Eucalypt nutrition: New Zealand experience. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Ed.). **Nutrition of eucalypts**. Collingwood: CSIRO publishing, 1996. p. 275-302.

KÖPPEN W. Das geographische System der Klimate. In:KÖPPEN W.; GEIGER, R. (Ed.). **Handbuch der Klimatologie**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936. p 1–44.

LACLAU, J.P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J.L.M.; MAQUERÉ, V.; KRUSCHE, A.V.; M'BOU, A.T.; NOUVELLON, Y.; LAURENT, S.A.; BOUILLET, J.P.; PICCOLO, M.C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1771-1785, 2010.

LACLAU, J.P.; ALMEIDA, J.C.R.; GONÇALVES J.L.M.; LAURENT, S.A.; VENTURA M.; RANGER J.; MOREIRA R.M.; NOUVELLON, Y. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in Eucalyptus plantations. **Tree Physiology,** Oxford, v. 29, n. 1, p. 111-124, 2009.

LACLAU, J.P.; ARNAUD, M.; BOUILLET, J.P.; RANGER, J. Spatial distribution of Eucalyptus roots in a deep sandy soil in the Congo: relationships with the ability of the stand to take up water and nutrients. **Tree Physiology,** Oxford, v. 21, n. 2/3, p. 129-136, 2001.

LACLAU, J.P.; BOUILLET, J.P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of Eucalyptus in Congo. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 128, n. 3, p. 181-196, 2000.

LACLAU, J-P.; BOUILLET, J-P.; GONÇALVES, J.L.M.; SILVA, E.V.; JOURDAN, C.; CUNHA, M.C.S.; MOREIRA, M.R.; SAINT-ANDRE, L.; MAQUERE, V.; NOUVELLON, Y.; RANGER, J. Mixed-species plantations of Acacia mangium and Eucalyptus grandis in Brazil. 1. Growth dynamics and net primary production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.255, p.3905–3917, 2008.

LACLAU, J.P.; DELEPORTE, P.; RANGER, J.; BOUILLET, J.P.; KAZOTTI, G. Nutrient dynamics throughout the rotation of Eucalyptus clonal stands in Congo. **Annals of Botany,** Oxford, v. 91, n. 7, p. 879-892, 2003.

LACLAU, J. P.; RANGER, J.; DELEPORTE, P.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRE, L.; MARLET, S.; BOUILLET, J. P. Nutrient cycling in a clonal stand of Eucalyptus and an adjacent savanna ecosystem in Congo 3. Input-output budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 210, n. 1/3, p. 375-391, 2005.

LACLAU, J.P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J.L.M.; MAQUERÉ, V.; KRUSCHE, A.V.; M'BOU A.T.; NOUVELLON, Y.; SINAT-ANDRE, L.; BOULLET, J.P.; PICCOLO, M.C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1771-1785, 2010.

LACLAU, J.P.; RANGER, J.; NZILA, J.D.; BOUILLET, J.P.; DELEPORTE, P. Nutrient cycling in a clonal stand of Eucalyptus and an adjacent savanna ecosystem in Congo 2. Chemical composition of soil solutions. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 180, n. 1/3, p. 527-544, 2003.

LANA, M.C.; NEVES, J.C.L. Capacidade de suprimento de potássio em solos sob reflorestamento com eucalipto do Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.18, p.115-122, 1994.

LANFRANCO, D.; DUNGEY, H.S. Insect damage in Eucalyptus: A review of plantations in Chile. **Austral Ecology,** Carlton, v. 26, n. 5, p. 477-481, 2001.

LE MAIRE, G.; MARSDEN, C.; NOUVELLON, Y.; STAPE, J.L.; PONZONI, F.J. Calibration of a Species-Specific Spectral Vegetation Index for Leaf Area Index (LAI) Monitoring: Example with MODIS Reflectance Time-Series on Eucalyptus Plantations. **Remote Sensing,** Basel, v. 4, n. 12, p. 3766-3780, 2012.

LEMBKE, C.A. Forest Product Limited turns to eucalypt. **Australian Forest Industries Journal**, Camberra, v.43, p.26-31, 1977.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.A.V.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-64, 2007.

LOPES, A.S.; SILVA, C.A.P.; BASTOS, A.R.R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no Mundo. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (E.s). **Fósforo na Agricultura Brasileira**, Piracicaba: POTAFOS, p. 13-24, 2004.

LOPES, A.S.; BASTOS, A.R.S. Fertilizantes nitrogenados no Brasil: Um problema de escassez. **Informações agronômicas**, Piracicaba. v. 120, p.4-5, 2007.

MACH, P.V.; HUNG, T.V. **Report on achievement of forest sector from 1986 to 2005**. Vietnam:Ministry of Agricultural and Rural Development, 2006. 183p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres,., 2006. 638p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. London:London Academic Press, 2012. 651p.

MELLO, H.A. **Aspectos do emprego de fertilizantes minerais no reflorestamento de solos de cerrado do estado de São Paulo com Eucalyptus saligna**. 1968. 176p.Tese (Mestrado em Silvicultura) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

MELLO, H.A., SOBRO, J.M.; SIMÕES, J.W.; COUTO H.T. Z. Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de Eucalyptus saligna em solos de cerrados no Estado de São Paulo. **IPEF,** Piracicaba, v. 1,p.7-28, 1970.

MELLO, H.A.; SIMÕES, J. W.; MASCARENHAS SOBRINHO, J.; COUTO, H.T.Z. Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de Eucalyptus saligna em solos de cerrado do estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, v.1, p.7-26, 1970.

MELO, V.F.; CASTILHOS, R.M.V.; PINTO, L.F.S. Reserva mineral do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, R.F. (Ed.). **Quimica e mineralogia do solo**. Viçosa: SBCS, p.251-332, 2009.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

MORO, L.; GONÇALVES, J.L.M. Efeito da "cinza" de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de Eucalyptus grandis e avaliação financeira. **Scientia Forestalis**, IPEF, Piracicaba, n. 48/49, p. 18-27, 1995.

LEITE, F.P.; SILVA, I.R.; NOVAIS. R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; VILLANI, E.M.A. Nutrient relations during an eucalyptus cycle at different population densities. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo,** v. 35, n. 3, p. 949-959, 2011.

LEITE, P.B.; ALVAREZ, V.H.A.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; GUARÇONI, A.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. Critical phosphorus levels for greenhouse grown eucalyptus as related to the placement of fertilizer p in the soil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo,** Campinas, v. 33, n. 5, p. 1311-1322, 2009.

MAQUÈRE, V.; LACLAU, J.P.; GONÇALVES, J.L.M.; KRUSHE, A.V.; PICCOLO, M.C.; ROSIAS, M.G.F.; RANGER, J. Influence of fertilizer inputs on soil solution chemistry in eucalypt plantations established on Brazilian sandy soils. In: SYMPOSIUM ON MANAGEMENT OF TROPICAL SANDY SOILS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE, 1., 2005, Khon Kaen, **Proceedins…**. Reading: International Union of Soil Sciences, p. 466–471, 2005.

MARTINS, L.F.S. ; POGGIANI, F.; OLIVEIRA, R.F.; GUEDES, M.C.; GONÇALVES, J.L. M.Características do sistema radicular das árvores de Eucalyptus grandis em resposta à aplicação de doses crescentes de biossólido **Scientia Florestalis,** Piracicaba, v. 65, p. 12, 2004.

MASCLAUX-DAUBRESSE, C.; FRONÇOISE, D.V.; DECHORGNAT, J.; CHARDON, F.; GAUFICHON, L.; SUZUKI, A. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. **Annals of Botany,** Oxford, v. 105, n. 7, p. 1141-1157, 2010.

MELO, V.D.F.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M. Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca e Mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. **IPEF,** Piracicaba, v. 48/49, p. 8-17, 1995.

MERINO, A.; LÓPEZ, A.R.; BRAÑAS, J.; SOALLEIRO, R.R. Nutrition and growth in newly established plantations of Eucalyptus globulus in northwestern Spain. **Annals of Forest Science,** Paris, v. 60, n. 6, p. 509-517, 2003.

MILLNER, J.P.; KEMP, P.D. Foliar nutrients in Eucalyptus species in New Zealand. **New Forests,** Dordrecht, v. 43, n. 2, p. 255-266, 2012.

MISRA, R.K.; TURNBULL, C.R.A.; CROMER, R.N.; GIBBONS, A.K.; LASALA, A.V.; BALLARD, L. M. Below-and above-ground growth of Eucalyptus nitens in a young plantation - II. Nitrogen and phosphorus. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam. v. 106, n. 2/3, p. 295-306, 1998.

MONTE, M.A.; REIS, M.G.F.; REIS, G.G.; LEITE, H.G.; STOCKS, J.J. Indirect methods to estimate canopy coverage of clonal eucalypt plantations. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira,** Rio de Janeiro. v. 42, n. 6, p. 769-775, 2007.

NAMBIAR, E.K.S, **Site management and productivity in tropical plantation forests : proceedings of workshops in Piracicaba (Brazil), 22-26 November 2004 and Bogor (Indonesia), 6-9 November 2006 / editor, E.K. Sadanandan Nambiar**. Bogor :: Center for International Forestry Research, 2008. 246p.

NAMBIAR, E.K.S. Manipulation of water and nutrients in plantations of fast growing species. 1984. In: IUFRO SYMPOSIUM ON SITE AND PRODUCTIVITY OF FAST GROWING PLANTATIONS, 1984. Sttelenbosch. Proceedings… Sttelenbosch, 1984. p. 489–506.

NEGI, J.D.S.; SHARMA, S.C. Mineral nutrition and resource conservation in eucalyptus plantations and other forest covers in India. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Ed.). **Nutrition of eucalyptus**. Melbourne :CSIRO, , 1996. p. 399–416.

NEILSEN, G.H.; NEILSEN, D.; HERBERT, L. Nitrogen Fertigation Concentration and Timing of Application Affect Nitrogen Nutrition, Yield, Firmness, and Color of Apples Grown at High Density. **Hortscience,cidade,** v. 44, n. 5, p. 1425-1431, 2009.

NICHOLAS, I.D.; HAY, A.E.; MOBERLY, B.W.A. Eucalypt establishment in New Zealand, a summary. In: MENZIES, M.I.; PARROT, G.E.; WHITEHOUSE, L.J. (Ed.). Efficiency of stand establishment operations, **FRI Bulletin,** , Rotorua, v.156, p.141-151, 1991.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.25-98.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. p. 471-550.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; COUTO, C. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de Eucalyptus spp.: Níveis críticos de implantação e manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, p.105-111, 1986.

NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.276-374.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; COUTO, C. Níveis críticos de fósforo para o eucalipto. **Revista Arvore,** Viçosa**.** v. 6, p. 9, 1982.

OGAARD, A.F.; KROGSTAD, T. Release of interlayer potassium in Norwegian grassland soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde,** Weinheim, v. 168, n. 1, p. 80-88, 2005.

PAIVA, G.Y.; RIBEIRO, A.; ALMEIDA, A.Q.; GLERIANE, J.M.; PEZZOPANE, J.E.M. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) através de Fotografias Hemisféricas e Índices de Vegetação em plantios clonais de Eucalipto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009. Natal. **Anais...** Natal, 2009. p.2873-2880.

PAULA, R.C.; BORGES, R.C.G.; BARROS, N.F. de; PIRES, I.E.; CRUZ, C.D. Estimativas de parâmetros genéticos em famílias de meios-irmãos de Eucalyptus camaldulensis Dehnh. II. Eficiência de utilização de nutrientes. **Revista Árvore**, Viçosa, v.20, n.4, p.483-493, 1996.

PETRAGLIA C.; DELL'ACQUA, M. Actualización de la cartografía forestall del Uruguay con imágenes del año 2004. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2006. Florianópolis, **Anais...** 2006. p. 1801–1808.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences,** Karlsruhe. v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PETRAGLIA, C.; DELL'ACQUA M. **Actualización de la carta forestal del Uruguay con imágenes del año 2004**. Montevideo:MGAP, 2006. 27p.

PILLAI, P.K.C.; PANDALAI, R.C.; DHAMODARAN, T.K.; SANKARAN, K.V. Wood density and heartwood proportion in eucalyptus trees from intensively-managed short-rotation plantations in Kerala, India. **Journal of Tropical Forest Science,** Kepong, v. 25, n. 2, p. 220-227, 2013.

PORTELA, E.A.C. Potassium supplying capacity of northeastern portuguese soils. **Plant and Soil,** The Hague, v. 154, n. 1, p. 13-20, 1993.

PPI – PPIC. Dynamic Soil Fertility: The Task Ahead. Potash and Phosphate Institute of Canada – India Program. **Fertilizer Knowledge**, Gurgaon, v.1, p.5-8, 2003

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A.G. Cations and anions uptake by coastcross grass fertilized with urea and ammonium nitrate. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira,** Rio de Janeiro, v. 40, n. 3, p. 247-253, Mar 2005.

PULITO, A.P.; GONÇALVES, J.L.M.; SMETHURST, P.J.; ARTHUR JUNIOR, J.C.; ALVARES, C.A.; ROCHA, J.H.T.; HÜBNER, A.; MORAES, L.F.; MIRANDA, A.C.; KAMOGAWA, M.Y.; GAVA, J.L.; CHAVES, R.; SILVA, C.R. Avaiable nitrogen and responses to nitrogen fertilizer in Brazilian eucalypt plantations on soils of contrasting texture. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, (In Press), 2014.

PULITO, A.P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de Eucalyptus**. 2009. 59p. (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo,Piracicaba, 2009.

PULROLNIK, K.; BARROS, N.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BRANDANI, C.B. Carbon and nitrogen pools in soil organic matter under eucalypt, pasture and savanna vegetation in Brazil. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo,** Campinas, v. 33, n. 5, p. 1125-1136, 2009.

RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal, cidade,** v. 91, p. 357-363, 1999.

REATTO, A ; FONTES, M.P.F. ; VENEGAS, V.H.A. ; RESENDE, M. ; KER, J.C. ; COSTA, L.M. Caracterização mineralógica, potencial de reserva e sustentabilidade agrícola de alguns sítios florestais de eucalipto da região do Vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 255-266, 1998.

RINGROSE, C.; NEILSEN, W.A. Growth response of Eucalyptus regnans and soil changes following periodic fertilization. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v. 69, n. 6, p. 1806-1812, 2005.

ROCHA, D.; FERNANDES, J.C.; NOVELLI, A.B. **Fertilização e manejo de solos para a cultura de eucalipto na Acesita Energética** . Belo Horinzonte**,** 1986. 28p.

ROCHA, J.H.T. **Reflexos do manejo de resíduos florestais na produtividade, nutrição e fertilidade do solo em plantações de** *Eucalyptus grandis*. 2014. 124p. (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

SABINO, N.P.; SILVA, N.M.; SABINO, J.C.; KONDO, J.I. Efeito do parcelamento da adubação potássica nas características agronômicas e propriedades tecnológicas da fibra do algodoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.43, p.221-228.1984.

SALAS, R.; BORNEMISZA, E.; ZAPATA, F.; CHAVES, V.; RIVERA,A. Absorcion del fertilizante nitrogenado por la planta de cafe´ y su influencia sobre la contaminacion de las aguas subterraneas. In: REYNOLDS-VARGAS, J. (Ed.). **Manejo Integrado de Aguas Subterraneas**. San Jose, EUNED, 2002. p.89-104.

SANDS, R.; MULLIGAN, D.R. Water and nutrient dynamics and tree growth. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam. v. 30, p. 22, 1990.

SANKARAN, K.V.; CHACKO, K.C.; PANDALAI, R.C.; BALASUNDARAN, M.; GROVE, T.S.; MENDHAM, D.S.; O'CONNEL, A.M. Influence of harvest residue management, weed control, legume cover cropping and soil trenching on Eucalyptus productivity in Kerala, India. **Journal of Tropical Forest Science,** Kepong. v. 16, n. 2, p. 232-247, Apr 2004.

SANTANA, BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LEITE, H.G.; COMERFORD, N.C. Nutrient allocation in eucalypt plantations in Brazil. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo,** Campinas. v. 32, p. 2723-2733, Nov-Dec 2008.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. 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**, Viçosa. v.26, p.447-457, 2002.

SANTOS, G.A.; ASSIS, T.F.; STAHL, J.. Silvicultura e melhoramento de eucalyptus, em áreas de ocorrência de geadas severas. In: SEMINARIO SOBRE SILVICULTURA EM FLORESTAS PLANTADAS, 3., 2008. Viçosa, **Anais...**, Viçosa,2008. 150p.

SEIN, C.C.; MITLOHNER, R. Eucalyptus urophylla S.T. Blake, **Ecology and silviculture in Vietnam**. Bogor: CIFOR, 2011. 26p.

SIDDIQUI, M.T.; SHAH, A.H.; TARIQ, M.A. Effects of fertilization and water stress on Eucalyptus camaldulensis seedlings. **Journal of Tropical Forest Science,** Kepong. v. 20, n. 3, p. 205-210, Jul 2008.

SILGRAM, M.; SHEPHERD, M.A. The effects of cultivation on soil nitrogen mineralization. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**,San Diego, v.65, p.267–309, 1999.

SILVA, C.A.; RANGEL, O.J.P.; BELIZARIO, M.H. Liming-phosphorus fertilization interaction and its effect on P critical levels and Eucalyptus growth. **Scientia Forestalis,** Piracicaba. v. 35, n. 73, p. 63-72, 2007.

SILVA, C.A.; VALE, F.R.D. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira,** Rio de Janeiro. v. 35, p. 2461-2471, 2000.

SILVA, F.C.E.; SHVALEVA, A.; MAROCO, J.P.; ALMEIDA, M.H.; CHAVES, M.M.; PEREIRA, J.S. Responses to water stress in two Eucalyptus globulus clones differing in drought tolerance. **Tree Physiology,** Oxford. v. 24, n. 10, p. 1165-1172, 2004.

SILVA, H.D.; POGGIANI, F.; COELHO, L.C. Eficiência de utilização de nutrientes em cinco espécies de Eucalyptus. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo v. 6/7, p. 1-8, 1983.

SILVA, R.M.L. **Resposta à fertilização de plantios comerciais de Eucalyptus e sua correlação com as características edafoclimáticas e silviculturais em diferentes regiões do estado de São Paulo.** 2011. 118p. (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SILVEIRA, R.L.V.A.; GAVA, J.L. Nutrição e adubação fosfatada em eucalipto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 495-536.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do Eucalyptus: diagnose visual, foliar e suas interpretações. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (ed.). **Nutrição e Fertilização Florestal**, Piracicaba, p.79-104, 2000.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; POMPERMAYER, P.N. **Monitoramento Nutricional na Siderúrgica Barra Mansa**. Piracicaba, 1998. 92p.

SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, J.L.M.; GONÇALVES, A N.; BRANCO, E.F. **Levantamento e estudo do mercado de fertilizantes em florestas brasileiras.** IPEF, Piracicaba, 1995. 117p. (Relatório técnico)

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BIDDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research,** Washington. v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SMETHURST, P. Nitrogen management in Eucalyptus nitens plantations. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 193, n. 1/2, p. 63-80, 2004.

SMETHURST, P. BAILLIE, C.; CHERRY, M.; HOLZ, G. Fertilizer effects on LAI and growth of four Eucalyptus nitens plantations. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 176, n. 1/3, p. 531-542, 2003.

SMETHURST, P.J. Forest fertilization: Trends in knowledge and practice compared to agriculture. **Plant and Soil,** The Hague, v. 335, n. 1/2, p. 83-100, 2010.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam**,**v. 193, n. 1/2, p. 17-31, 2004.

STAPE, J.L., GONÇALVES, J.L.M., GONÇALVES, A.N. Relationships between nursery practices and field performance for Eucalyptus plantations in Brazil: A historical overview and its increasing importance. **New Forests**, Dordrecht, v.22, p. 19-41, 2001.

STAPE, J.L.; ZANI FILHO, J. Aumento da produtividade do E. grandis em areias quartzosas através da fertilização de manutenção. **Silvicultura,** São Paulo**.** v. 42 n. 3, p. 5, 1990.

STAUFFER, M.D; SULEWSKI, G. Fósforo essencial para a vida. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004. Piracicaba**. Anais....** Piracicaba: Potafos, 2004. p.1-11.

STEVENSON, F.J.; COLE, M.A. **Cycles of soil:** Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. New York:John Wiley , 1999. 427p.

STEWART, W.M.; HAMMOND, L.L.; VAN KAUWENBERGH, S.J. Phosphorus as a natural resource. In: J.T. SIMS e SHARPLEY, A. N. (Ed.). **Phosphorus:** agriculture and the environment. Madison: ASA-CSSA-SSSA, v.46, p.3-22, 2005.

SURAPANENI, A.; PALMER, A.S.; TILLMAN, R.W.; KIRKMAN, J.H.; GREGG, P.E.H. The mineralogy and potassium supplying power of some loessial and related soils of New Zealand. **Geoderma,** Amsterdam**,** v. 110, n. 3/4, p. 191-204, 2002.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal,** Madison. v. 65, p. 1486–1499, 2001.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

TEWARI, V.P.; VERMA, A.; KUMAR, V.S.K. Growth and yield functions for irrigated plantations of *Eucalyptus camaldulensis* in the hot desert of India. **Bioresource Technology,** London, v. 85, n. 2, p. 137-146, 2002.

THORNTWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, n.1, p.55-94, 1948.

THORNTWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. **Publications in Climatology**, New Jersey, v.8, n.1, p 1-104, 1955.

VALERI, S.V.; FERREIRA, M.E.; MARTINS, M.I.E.G.; BANZATTO, D.A.; ALVARENGA, S.F.; CORRADINI, L.; VALLE, C.F. Recuperação de povoamento de Eucalyptus urophylla com aplicação de nitrogênio, potássio e calcário dolomítico. **Scientia Forestalis**, IPEF, Piracicaba, SP, v. 60, n.60, p. 53-71, 2001.

VALERI, S.V.; AGUIAR, I.B. de; CORRADINE, L.; SOUZA, E.C.A. de; BANZATO, D.A. Efeito de fósforo e cálcio no desenvolvimento e na composição química foliar de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, em casa de vegetação. **IPEF**, Piracicaba, n.29, p.47-53, abr. 1985.

VALERI, S.V.; CORRADINI, L.; FAZZIO, E.C.M.; CARRARA, M.A.; SOUZA, E.A.; AGUIAR, I.B.; BANZATTO, D.A.; BALERONI, J.; ABRAHÃO, I.S. Efeitos da adubação NPK e do calcário dolomítico no desenvolvimento de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden. **Silvicultura**, São Paulo. v.8, n.28, p.531-536, 1983.

VALERI, S.V.; ISMAEL, J.J. TORRES, R.M.; CORRADINI, L. Efeito do potássio no crescimento e idade de corte de povoamentos de Eucalyptus grandis, em areia quartzosa e latossolo vermelho escuro. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996. Águas de Lindóia.Solo-suelo 96: **Trabalhos...** Piracicaba: SBCS/SLCS, p.11-17, 1996

VAN DER PAAUW, F. Relations between the potash requirements of crops and meteorological conditions. **Plant and Soil,** The Hague, v. 9, n. 3, p. 254-268, 1958.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

VAN RAIJ, B. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.(Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, p.106-114.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CARANTELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285p.

VARGAS, R.M.B.; MEURER, E.J.; ANGHINONI, I. Mecanismos de suprimento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio às raízes de milho em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p.143-148, 1983.

VETTORAZZO, S.C. **Efeito de fatores do solo e de genótipos no crescimento, nutrição e atividade da fosfatase ácida em clones de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden**. 1989. 115p.Dissertação (Mestrado na area de) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

VIERA, M; BONACINA, D.M.; SCHUMACHER, M.V.; CALIL, F.N.; CALDEIRA, M.V.W.; WATZLAWICK, L.F. Biomass and nutrients in Eucalyptus urograndis stands in southeastern Mountain Range-RS. **Semina-Ciencias Agrarias,** Londrina, v. 33, p. 2481-2490, 2012.

WADT, P.G.S. Nutritional status of Eucalyptus grandis clones evaluated by critical level and DRIS methods. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 28, n. 1, p. 15-20, 2004

WATSON, D.J. Comparative physiological studies on 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**, Oxford. v. 11, p. 41-76, 1947.

XAVIER, A.C.; SOARES, J.V.; ALMEIDA, A.C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore,** Viçosa. v.26, p.421-427, 2002.

XU, D.; DELL, B.; MALAJCZUK, N.; GONG, M. Effects of P fertilisation on productivity and nutrient accumulation in a *Eucalyptus grandis x E. urophylla* plantation in southern China. **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 161, n. 1/3, p. 89-100, 2002.

XU, D.; DELL, B.; GONG, M.; WANG, Z. Effects of phosphorus fertilization and ectomycorrhizal fungal inoculation on productivity and nutrient accumulation of Eucalyptus globulus plantation. **Forest Research,** Tokyo, v. 17, n. 1, p. 26-35, 2001.

XU, D.; DELL, B.,YANG, Z.; MALAJCZUK, N.; GONG, M. Effects of phosphorus application on productivity and nutrient accumulation of a Eucalyptus urophylla plantation. **Journal of Tropical Forest Science,** Kepong, v. 17, n. 3, p. 447-461, 2005.

ZHOU, J.; XIA, F.; XINGMEI, L.; HE, Y.; XU, J.; BROOKS, P.C. Effects of nitrogen fertilizer on the acidification of two typical acid soils in South China. **Journal of Soils and Sediments,** Nelson**,** v. 14, n. 2, p. 415-422, 2014.

ZOBEL, H.W.; TALBERT, J.T. **Applied forest tree improvement**. New York :Wiley, , 1984. 505p.