

Comparação entre adubação com cloreto de potássio e dois tipos de rochas potássicas no crescimento de *Eucalyptus urophylla*¹

Sebastião Pires de Moraes Neto², Eder de Souza Martins²

Resumo: A escassez de rochas brasileiras ricas em potássio e de solubilidade que disponibilize o elemento do solo às plantas justifica a dependência da importação de fertilizantes potássicos. Nesse sentido, a presente pesquisa foi realizada com o objetivo de comparar o desempenho de dois tipos de rochas *in natura* (biotita xisto e fonolito) em comparação à adubação com KCl no crescimento de *Eucalyptus urophylla*. Os tratamentos utilizados foram: T₁ = testemunha sem K; T₂=60 kg de K₂O por ha na forma de KCl; T₃=120 kg de K₂O por ha na forma de KCl; T₄=240 kg de K₂O por ha na forma de KCl; T₅=120 kg de K₂O por ha na forma de fonolito; T₆=120 kg de K₂O por ha na forma de biotita xisto; T₇=60 kg de K₂O (KCl) por ha + 60 kg de K₂O por ha (fonolito); T₈=60 kg de K₂O (KCl) por ha + 60 kg de K₂O por ha (biotita xisto). Observou-se após seis anos do plantio que o diâmetro à altura do peito das plantas sob a aplicação de 120 kg de K₂O por ha na forma de KCl não diferiu da adubação com 120 kg de K₂O por ha na forma de fonolito.

Palavras-chave: Remineralizador; Fonolito; Biotita xisto; Agromineral; Silicatos potássicos.

Comparison between fertilization with potassium chloride and two types of potassium rocks in the growth of *Eucalyptus urophylla*

Abstract: The scarcity of Brazilian rocks rich in potassium and solubility that make the soil element available to plants justifies the dependence on the import of potassium fertilizers. In this sense, the present work had as objective to compare the performance of two types of rocks *in natura* (biotite schist and phonolite) in comparison to the fertilization with KCl in the growth of *Eucalyptus urophylla*. The treatments used were: T₁ = control without K; T₂ = 60 kg of K₂O per ha as KCl; T₃ = 120 kg K₂O per ha as KCl; T₄ = 240 kg of K₂O per ha as KCl; T₅ = 120 kg of K₂O per ha as phonolite; T₆ = 120 kg of K₂O per ha as biotite schist; T₇ = 60 kg of K₂O (KCl) per ha + 60 kg of K₂O per ha (phonolite); T₈ = 60 kg of K₂O (KCl) per ha + 60 kg of K₂O per ha (biotite schist). It was observed after six years of planting that the diameter at breast height of plants under T₃ did not differ statistically from T₅.

Key words: Remineralizer; Phonolite; Biotite schist; Agromineral; Potassium silicates.

¹Submetido em 21/02/2020 e aprovado em 12/12/2020;

²Embrapa Cerrados, Núcleo de Manejo e Conservação de Recursos Naturais, Planaltina – Distrito Federal, Brasil; E-mail: sebastiao.moraes@embrapa.br (Autor correspondente) – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0900-3825>; eder.martins@embrapa.br – ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2881-683X>

1. Introdução

O Brasil é um dos países que mais importam fertilizantes, no ano de 2019, bateu seu recorde de aproximadamente 24 milhões de toneladas de importados. Entre todos os fertilizantes o recorde de importação foi o de cloreto de potássio com um volume de cerca de 4,9 milhões de toneladas (Globalfert, 2020). Devido a escassez de minérios de potássio no Brasil em alta concentração e solúveis, uma alternativa é lançar mão de materiais e rotas viáveis para a agroindústria; nesse sentido se insere a utilização de rochas potássicas trituradas de jazidas nacionais ou a transformação de alguns tipos de rochas potássicas via processos químicos, termais e biossolubilização para aumentar a solubilização (Silva et al., 2011; Santos et al., 2015; Santos et al., 2016; Manning e Theodoro, 2018). Santos et al. (2016) observaram num ensaio em casa de vegetação que a recuperação de K extraído do solo argiloso por plantas inteiras de *Eucalyptus urograndis* (clone I144) foi de 52% para verdete calcinado, 53% para verdete acidificado e 60% para KCl.

O teor de potássio nas rochas é muito variável, bem como o grau de liberação dos minerais que as formam. Por exemplo, nos granitos o teor é em média de 3,8% de K_2O , nos andesitos 3,2% e nas rochas basálticas 0,7%. Nas rochas ultrabásicas, os teores variam entre 2 e 14% de K_2O . Rochas alcalinas como os nefelina sienitos/fonólitos podem se enriquecer em potássio por metassomatismo como é o caso do Planalto de Poços de Caldas (MG), onde se atingem teores de até 12-13% (Nascimento et al., 2008).

Resultados obtidos em pesquisas anteriores indicam que rochas contendo quantidades razoáveis de flogopita ou biotita podem constituir fontes alternativas de potássio para uso agrícola (Martins et al., 2008). Algumas das rochas com potencial de uso agrônomo incluem rochas magmáticas alcalinas, rochas metassedimentares cálcio-silicáticas e produtos de metassomatismo potássico e, rochas com feldspato potássico, que possuem distribuição ampla e variável em todo o território nacional. A prospecção, caracterização geoquímica, definição de métodos de processamento e avaliação agrônoma sistemática dessas rochas poderão resultar na identificação de fontes alternativas eficientes do nutriente, sobretudo de potássio, dando origem a um novo grupo de insumos agrícolas (Martins et

al., 2008; Guelfi-Silva, 2012; Martins et al., 2015). O potássio é o segundo nutriente mais demandado pelo eucalipto, existindo respostas em crescimento ao longo dos anos, tanto para plantações conduzidas por talhadia quanto em alto fuste (Faria et al., 2002 apud Toledo, 2017).

O objetivo com esta pesquisa foi avaliar o crescimento de *E. urophylla*, comparando a aplicação de dois tipos de rochas silicáticas potássicas com o cloreto de potássio em área do Cerrado do Distrito Federal.

2 Material e Métodos

O experimento foi instalado em fevereiro de 2012 em área da Embrapa Cerrados em Planaltina-DF (15° 38' 27" de Latitude Sul, e 47° 44' 15" de Longitude Oeste e, 1.185 m de elevação) com *E. urophylla* proveniente de sementes melhoradas de pomar clonal localizada em Itamarandiba-MG. Dados de precipitação mensal, temperatura média das mínimas e média das máximas mensais no período de 2012 à 2017 estão na Figura 1 e precipitação anual é apresentada na Tabela 1, e os dados da caracterização química e física (granulometria) do solo estão contidos na Tabela 2.

O espaçamento utilizado foi de 3 x 2 m e o solo, conforme os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação - SiBCS (Embrapa, 2018), é um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa. Na Tabela 3 é mostrada a composição química das rochas utilizadas no experimento. Constata-se que o Fonolito possui mais do dobro de K_2O e também supera a concentração de Na_2O da Biotita Xisto.

Os tratamentos que foram utilizados no experimento foram:

- T₁=testemunha (sem adubação potássica);
- T₂=60 kg de K_2O por ha na forma de KCl;
- T₃=120 kg de K_2O por ha na forma de KCl;
- T₄=240 kg de K_2O por ha na forma de KCl;
- T₅=120 kg de K_2O por ha na forma de fonolito = 1.435 kg ha⁻¹ de fonolito;
- T₆=120 kg de K_2O por ha na forma de biotita xisto = 3.333 kg ha⁻¹ de biotita xisto;
- T₇=60 kg de K_2O (KCl) por ha + 60 kg de K_2O por ha (fonolito);
- T₈=60 kg de K_2O (KCl) por ha + 60 kg de K_2O por ha (biotita xisto).

Cada parcela foi constituída de 36 plantas (216 m²), com bordadura simples e 16 plantas úteis.

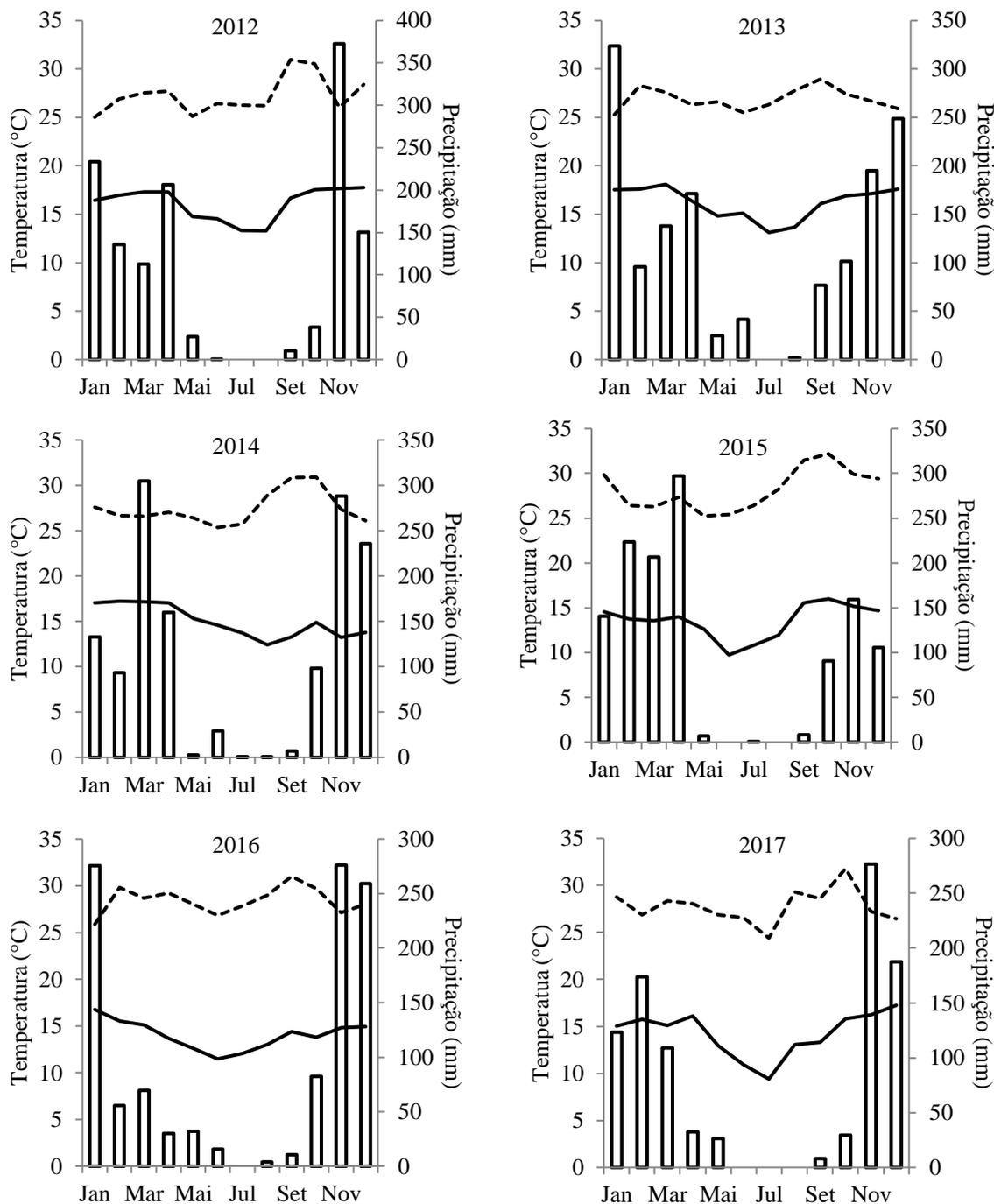


Figura 1 Precipitação (barras), média das temperatura mínimas (linha cheia) e média das temperaturas máximas mensais (linha tracejada) no período de 2012 à 2017.

Tabela 1 Histórico da precipitação média anual no período de 2012 a 2017

Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Precipitação Anual (mm)	1.288,4	1.419,6	1.351,8	1.238,3	1.111,6	967,2

Tabela 2 Análise química e granulométrica do solo utilizado no experimento, antes da aplicação de corretivos, remineralizadores e adubação convencional

Prof (cm)	P -mg dm ⁻³	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	MO %	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte %	Argila
0-20	0,28	25,3	0,25	0,56	0,37	5,5	2,82	5,7	4,4	4,3	24,7	12,5	58,4
20-40	0,15	16,0	0,20	0,46	0,10	4,4	2,83	5,9	4,6	3,3	21,0	11,5	64,2

Tabela 3 Composição das rochas silicáticas: Fonolito, proveniente de Poços de Caldas - MG e Biotita Xisto de Aparecida de Goiânia - GO

Rochas	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Na ₂ O	PRNT ¹
Fonolito	52,80	3,40	0,50	0,10	1,50	8,40	0,1	7,00	5
Biotita Xisto	57,70	8,29	3,58	0,2	4,07	3,69	- ⁽²⁾	1,22	15

⁽¹⁾PRNT=Poder relativo de neutralização total; ⁽²⁾elemento não encontrado

Antes da adubação de plantio fez-se a correção do solo com 2,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, o qual foi distribuído mecanicamente a lanço, em toda área experimental e, após, incorporado. A adubação de plantio ou de base realizada em fevereiro de 2012 consistiu de 40 g/planta de FTE-BR12 (micronutrientes) na cova e 113 kg de P₂O₅/hectare no sulco de plantio. Quanto aos pós de rocha, as quantias foram fornecidas no sulco de plantio. No final de outubro de 2012 fez-se a primeira adubação de cobertura com 30 g de KCl por planta nos tratamentos 2 (60 kg de K₂O por ha na forma de KCl), 7 (60 kg de K₂O (KCl) por ha + 60 kg de K₂O por ha na forma de fonolito) e 8 (60 kg de K₂O (KCl) por ha + 60 kg de K₂O por ha (biotita xisto). As plantas do tratamento 3 (120 kg de K₂O por ha na forma de KCl) receberam 60 g de KCl/planta e as do tratamento 4 (240 kg de K₂O por ha na forma de KCl) 120 g de KCl/planta. Aplicou-se também nesta ocasião 100 g de sulfato de amônio/planta em todos os tratamentos. Em outubro de 2013 realizou-se a segunda adubação de cobertura com as mesmas quantidades por tratamento e planta tanto com KCl como para sulfato de amônio.

Em fevereiro de 2014, março de 2015 e fevereiro de 2017 realizou-se adubação de cobertura com bórax na dose de 20 g por planta. Em novembro de 2013, maio de 2015 e 2016 coletou-se amostras de solo em todas as parcelas nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm e, em maio de 2017, coletou-se amostras de solo em 2/3 de todas as parcelas (duas de três repetições) nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. Em cada parcela obteve-se uma amostra composta de 3 simples coletadas na diagonal da parcela, aproximadamente a 50 cm do caule da planta e

a 30 cm da linha de plantio ou sulco. Em maio de 2013 foi realizada desrama em todas as plantas variando de 0,5 m a 2,0 m de altura para realizar medição do diâmetro à altura do peito – DAP, isto é, a 1,30 m de altura em relação a base da árvore, e facilitar limpeza do solo. Uma segunda desrama foi realizada em junho de 2014 até a altura de aproximadamente 2,20 m. Em maio de 2013 foram coletadas doze folhas por árvore de quatro árvores por parcela do terço médio da copa, de ramos da parte intermediária do galho, de folhas recém expandidas, das 24 parcelas (Bellote e Silva, 2004). A segunda coleta de folhas foi realizada em maio de 2014 e a terceira em maio de 2015. Em maio de 2013 realizou-se a primeira medição em altura total e DAP, onde para altura usou-se vara de bambu graduada e para DAP suta mecânica. A segunda medição, realizada em maio de 2014, utilizou vara dendrométrica, clinômetro eletrônico e trena a laser para determinar a altura total. Na terceira e quarta, quinta e sexta medições (maio de 2015, 2016, 2017 e 2018) utilizou-se para determinar a altura total clinômetro eletrônico e trena a laser para conferir a distância entre o medidor e a árvore.

Na análise química do solo, os extratores e/ou métodos usados foram: Mehlich1 para P, K, Na, Cu, Fe e Zn; KCl 1N para Ca, Mg e Al; acetato de cálcio para H+Al; água quente para B; Walkley Black para matéria orgânica, Kjeldahl para o nitrogênio e fosfato diácido de cálcio para S. As determinações dos elementos foram realizadas da seguinte forma: Al – trocável e H + Al – acidez titulável por titulometria; B por azomethina-H; Ca, Mg, Mn, Zn e Cu por absorção atômica, K e Na por fotômetro de chama, P (Mehlich 1 e Resina) por espectrofotometria e S por

turbidimetria – espectrofotometria. A análise granulométrica das amostras foi realizada pelo método da pipeta, após dispersão da amostra com hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹ (Embrapa, 2017).

A concentração de nutrientes nas folhas foi determinado por Espectrometria de Emissão Atômica com Indução de Plasma, onde somente o nitrogênio foi determinado por análises quantitativas utilizando o sistema FIA-Berthelot (Reis et al., 1980; Embrapa, 2009).

As variáveis diâmetro à altura do peito (DAP), altura total e elementos químicos extraídos das folhas e solo, em cada amostragem, foram submetidas a análise de variância (ANOVA) para os oito tratamentos, após confirmação de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias dos dados (teste de Bartlett). Em caso contrário, fez-se transformação dos dados. Quando o teste F foi significativo, aplicou-se o teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3 Resultados e Discussão

A Tabela 4 mostra a concentração de nutrientes nas folhas de *Eucalyptus urophylla* coletadas em maio de 2013 e 2014. Observa-se que as concentrações de N e K foram superiores em 2013 comparado a 2014, provavelmente por adubação com esses elementos no final de outubro de 2012. Contrariamente, o B nas folhas apresentou superioridade numérica em 2014, provavelmente devido a adubação com este elemento em fevereiro de 2014, o qual não foi realizada em 2013. A faixa de deficiência, localizada na última linha da Tabela 4, baseada em Malavolta (1987), mostra que o enxofre e o ferro estão próximos ou dentro da faixa de deficiência considerando conjuntamente os dois anos e o K em 2014. Dell et al.(1995) apud Silveira e Malavolta (2000) mencionam que a faixa de deficiência de K para o *E. urophylla* está entre 3-5 g kg⁻¹ para plantas jovens (de 1 a 2 anos de idade).

Tabela 4 Concentração de nutrientes nas folhas de *Eucalyptus urophylla* coletadas em maio de 2013 (plantas com 15 meses do plantio) e 2014 (plantas com 27 meses do plantio)

Trat. ⁽³⁾	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	
2013												
1	22,4a	0,97a	10,9a	4,3ab	2,1a	1,3a	65a	129a	2,7a	11,3a	32a	
2	20,9a	0,93a	10,1a	4,1ab	1,9a	1,1ab	58a	117a	2,6a	10,7a	38a	
3	21,0a	0,97a	11,5a	3,6b	1,9a	1,1ab	62a	126a	2,2a	11,1a	34a	
4	20,8a	0,73a	11,1a	3,5b	1,8a	0,9ab	78a	116a	2,8a	9,9a	30a	
5	22,4a	0,87a	8,8ab	3,3b	1,9a	1,2ab	65a	110a	2,2a	11,0a	35a	
6	22,6a	0,93a	9,6a	4,3ab	1,9a	1,1ab	59a	128a	3,3a	11,8a	37a	
7	21,1a	0,97a	10,5a	4,5ab	1,9a	1,1ab	60a	141a	2,6a	11,5a	39a	
8	21,3a	0,93a	11,3a	4,1ab	1,6a	1,1ab	53a	110a	2,9a	12,1a	37a	
2014												
1	14,1b	0,84a	4,2c	7,3ab	2,5a	0,8ab	78a	175a	3,1a	10,5a	51a	
2	15,4b	0,65a	3,6c	5,2ab	1,8a	0,7ab	62a	107a	2,4a	8,8a	50a	
3	13,8b	0,71a	5,2bc	8,0ab	2,0a	0,7ab	81a	173a	2,8a	8,0a	48a	
4	15,0b	0,67a	4,7c	4,7ab	1,4a	0,6b	67a	150a	2,0a	7,4a	38a	
5	13,4b	0,85a	3,9c	8,9a	2,6a	0,8ab	69a	229a	3,2a	12,2a	47a	
6	14,5b	0,75a	3,3c	5,8ab	2,4a	0,7ab	59a	147a	3,0a	14,1a	52a	
7	15,4b	0,71a	3,6c	5,5ab	1,9a	0,6b	52a	132a	2,2a	8,5a	38a	
8	14,8b	0,77a	4,1c	6,1ab	1,9a	0,8ab	65a	134a	2,5a	9,5a	49a	
F(p) ⁽¹⁾	14,33 (0,0001)	1,09 (0,40)	20,28 (0,0001)	2,93 (0,006)	0,79 (0,68)	3,72 (0,001)	0,64 (0,82)	1,53 (0,16)	0,38 (0,97)	0,93 (0,54)	1,22 (0,31)	
F.D. ⁽²⁾	8-13	0,4-0,8	6-8	2-4	1,5-2,0	0,8-1,2	75-100	<100	4-6	20-30	15-20	

⁽¹⁾Teste F com nível de probabilidade entre parênteses; ⁽²⁾Faixas de deficiência baseadas em Malavolta (1987) para *Eucalyptus* spp. ⁽³⁾T₁ = testemunha sem K; T₂=60 kg de K₂O por ha na forma de KCl; T₃=120 kg de K₂O por ha na forma de KCl; T₄=240 kg de K₂O por ha na forma de KCl; T₅=120 kg de K₂O por ha na forma de fonolito; T₆=120 kg de K₂O por ha na forma de biotita xisto; T₇=60 kg de K₂O (KCl) por ha + 60 kg de K₂O por ha (fonolito); T₈=60 kg de K₂O (KCl) por ha + 60 kg de K₂O por ha (biotita xisto). Médias seguidas pelas mesma letra na coluna, considerando os dois anos de coleta, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

O maior teor ou concentração de K nas folhas no ano de 2013, além da adubação citada anteriormente, outros fatores podem ter contribuído para esse efeito. O teor de K nas folhas é consequência da disponibilidade do nutriente no solo, das condições de absorção pelas raízes e de sua translocação para a parte aérea, incluindo frutos ou grãos. Muitas vezes, os nutrientes existem em teores suficientes no solo, mas, em decorrência da seca, do excesso de água, ou de qualquer impedimento físico do solo ao crescimento das raízes, eles não são absorvidos em quantidades suficientes. Noutras vezes, mesmo tendo sido absorvidos, eles são translocados preferencialmente para os frutos ou sementes e permanecem em baixas concentrações nas folhas (Ernani et al., 2007).

A Tabela 5 mostra a análise do solo coletado em novembro de 2013 (plantas com 21 meses do plantio) e maio de 2015 (plantas com 40 meses de idade) na camada de 0-20 cm. Observa-se que o potássio mostrou tendência a maiores valores em 2013, especialmente nos tratamentos 3 e 4 (120 kg/ha e 240 kg/ha de K₂O, respectivamente) onde houve aporte maior de fertilização com cloreto de potássio, em adubação realizada em outubro de 2013 e, após esta data, não houve mais adubação com cloreto de potássio e sulfato de amônio. O Cu e o pH mostraram maiores valores no solo em 2013 do que em 2015. Inversamente, o B e o Fe apresentaram maiores valores em 2015 do que em 2013.

Tabela 5 Análise do solo coletado em novembro de 2013 e maio de 2015 na camada de 0-20 cm.

Tratamento ⁽¹⁾	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S	B	Na	Cu	Fe	Zn	pH
	---mg dm ⁻³ ---	--cmol _c dm ⁻³ --	---	---	----mg kg ⁻¹ ---	---	-----mg dm ⁻³ -----	-----	-----	-----	H ₂ O
2013											
1	1,05a	29,3ab	0,50a	0,74a	18,9a	0,53a	2,0d	0,80ac	125cd	0,63a	5,32a
2	1,09a	33,3ab	0,74a	1,22a	29,8a	0,39a	2,0d	0,77ad	129bd	0,63a	5,30a
3	0,75a	45,3ab	0,49a	0,73a	24,4a	0,40a	1,3d	0,83ab	115d	0,53a	5,31a
4	0,73a	70,7a	0,78a	1,25a	43,5a	0,40a	2,7cd	1,03a	125cd	0,67a	5,31a
5	0,80a	28,7b	0,37a	0,49a	21,5a	0,39a	2,7cd	0,90ab	115cd	0,63a	5,22a
6	0,97a	31,3ab	0,31a	0,44a	47,5a	0,61a	2,0d	0,77ad	124cd	0,63a	4,91a
7	1,07a	35,33ab	0,25a	0,42a	35,2a	0,44a	2,7cd	0,77ad	122cd	0,90a	5,07a
8	1,03a	36,7ab	0,61a	1,00a	35,3a	0,45a	2,0d	0,87ab	129bd	0,90a	5,21a
2015											
1	0,94a	30,7ab	0,54a	0,60a	32,0a	2,95a	4,7ad	0,40e	216a	0,30a	4,92a
2	1,11a	32,7ab	0,33a	0,35a	31,0a	1,72a	6,3ab	0,57be	208a	0,40a	4,73a
3	0,78a	28,3ab	0,39a	0,45a	35,4a	4,76a	5,7ac	0,30e	193ab	0,37a	4,81a
4	0,91a	32,3ab	0,46a	0,51a	33,6a	3,58a	4,3ad	0,40e	218a	0,43a	4,83a
5	0,95a	28,7ab	0,29a	0,38a	38,6a	3,55a	7,0a	0,47ce	202a	0,80a	4,80a
6	0,82a	24,7b	0,78a	0,89a	36,0a	4,32a	3,3bd	0,40e	178ad	0,13a	5,10a
7	0,76a	25,7b	0,23a	0,33a	34,8a	1,45a	4,0ad	0,43de	183ac	0,30a	4,77a
8	0,95a	30,0ab	0,75a	0,77a	37,9a	1,99a	4,0ad	0,47ce	206a	0,43a	5,04a

⁽¹⁾T₁ = testemunha sem K; T₂=60 kg de K₂O por ha na forma de KCl; T₃=120 kg de K₂O por ha na forma de KCl; T₄=240 kg de K₂O por ha na forma de KCl; T₅=120 kg de K₂O por ha na forma de fonolito; T₆=120 kg de K₂O por ha na forma de biotita xisto; T₇=60 kg de K₂O (KCl) por ha + 60 kg de K₂O por ha (fonolito); T₈=60 kg de K₂O (KCl) por ha + 60 kg de K₂O por ha (biotita xisto). Médias seguidas pela mesma letra na coluna, considerando os dois anos de coleta, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

Barros e Novais (1996) apresentaram tabela de níveis críticos no solo para se obter determinadas produtividades (m³ ha⁻¹ ano⁻¹) em algumas espécies de eucalipto. Para *Eucalyptus urophylla*, quando se quer obter uma produtividade de 30 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ num solo argiloso, o nível crítico de P seria 4,3 mg kg⁻¹, o de K 60 mg kg⁻¹, o de Ca 0,44 cmol_c kg⁻¹ e o de Mg 0,11 cmol_c kg⁻¹. Para esses limites e, considerando as unidades utilizadas no

presente trabalho similares ao de Barros e Novais (1996), as concentrações de P estariam abaixo do nível crítico em todos os tratamentos e, para K, Ca e Mg, somente o solo com aplicação de 240 kg de K₂O por ha na forma de KCl estaria acima dos níveis críticos, tendo o K como fator diferencial em relação aos outros tratamentos.

O P, que foi aplicado no sulco do plantio no presente trabalho, pode ter sido fixado em grande

parte no solo argiloso, por isso seus níveis baixos. Em solos argilosos com alta capacidade de fixação de P assim como em áreas de Cerrado, a aplicação de uma combinação de fontes solúveis e menos solúveis de P em plantações de *Eucalyptus grandis* produziu um aumento do volume do tronco de 87% comparado com a aplicação de só uma fonte solúvel (Leal et al. 1988 apud Barros e Novais, 1996), como realizado no presente estudo.

O boro aumentou a concentração no solo aos 40 meses do plantio devido a aplicação de adubação com este elemento em março de 2015; a concentração de ferro pode ter aumentado com a diminuição do pH e a de Na pode ter aumentado pela evaporação da água do solo propiciando um fluxo ascendente deste elemento de camadas mais profundas. De acordo com Brady e Weil (2013), em quaisquer situações, o princípio é o mesmo: a reduzidos valores de pH, a solubilidade dos cátions micronutrientes, entre eles o Fe, encontra-se no máximo e à medida que aumenta o pH, diminuem suas solubilidades e assimilabilidade, em relação aos vegetais

O maior valor de Na no tratamento com fonolito (Tratamento 5) pode ser por esta rocha possuir Na em sua composição (7,0% de Na₂O). Toledo (2017) observou aumento de Na na camada superior do solo, aos 22 meses de idade

do plantio do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, quando se aplicou 120 kg de K₂O na forma de pó de rocha do fonolito.

A Tabela 6 e a Figura 2 mostra o crescimento das plantas de *Eucalyptus urophylla* num período de campo de 6 anos. O crescimento em diâmetro à altura do peito começou a mostrar diferenciação em 2015, culminando em 2018 com valor estatisticamente superior das plantas no tratamento 4 (240 kg K₂O na forma de KCl por hectare), que não diferiu do tratamento 3 (120 kg de K₂O na forma de KCl por hectare), contudo, este não diferiu estatisticamente do tratamento 5 (120 kg de K₂O na forma de fonolito). O crescimento em altura só mostrou diferenciação em 2017, não diferindo entre os tratamentos nos outros anos. Bassaco et al. (2018) observou também que as respostas de crescimento de *Eucalyptus urograndis* a adubação potássica se iniciaram aos 24 meses do plantio para DAP e 36 meses para altura. Por sua vez, Biagiotti et al. (2017) em ensaio com doses de potássio na forma de KCl em *Corymbia citriodora* (anteriormente *Eucalyptus citriodora*) observaram que o crescimento foi favorecido com fertilização potássica até os 12 meses do plantio e, aos 24 meses do plantio, as plantas não responderam a adubação potássica.

Tabela 6 Valores médios de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (ALT) das plantas de *Eucalyptus urophylla* nos tratamentos mensurados anualmente por 6 anos

Trat1	Maio 2013		Maio 2014		Maio 2015		Maio 2016		Maio 2017		Maio 2018	
	DAP (cm)	ALT (m)										
1	4,8a	5,0a	9,0a	10,6a	11,2c	14,2a	12,6c	15,9a	13,2b	17,1ab	14,0c	17,6a
2	4,9a	5,0a	9,2a	10,1a	11,3c	13,7a	12,7c	15,4a	13,2b	16,9ab	13,8c	18,2a
3	4,9a	5,1a	9,5a	10,6a	12,5ab	14,7a	14,2ab	16,8a	15,3ab	18,2ab	16,2ab	19,5a
4	4,8a	4,9a	9,5a	10,3a	12,6a	15,2a	14,4a	17,3a	15,4a	18,8a	16,3a	19,6a
5	5,4a	5,0a	9,3a	10,7a	11,8ac	14,6a	13,0bc	16,0a	13,6b	17,4ab	14,6bc	18,3a
6	5,0a	5,3a	9,4a	10,6a	11,4bc	13,7a	12,6c	15,4a	13,3b	16,7b	14,2c	17,5a
7	5,1a	5,3a	9,9a	10,8a	12,0ac	15,0a	13,1bc	16,4a	13,9b	17,4ab	14,5c	18,5a
8	4,9a	5,1a	9,4a	10,8a	12,0ac	14,6a	13,2bc	16,1a	14,0ab	17,4ab	14,5c	18,3a

⁽¹⁾ T₁= testemunha sem K; T₂=60 kg de K₂O por ha na forma de KCl; T₃=120 kg de K₂O por ha na forma de KCl; T₄=240 kg de K₂O por ha na forma de KCl; T₅=120 kg de K₂O por ha na forma de fonolito; T₆=120 kg de K₂O por ha na forma de biotita xisto; T₇=60 kg de K₂O (KCl) por ha + 60 kg de K₂O por ha (fonolito); T₈=60 kg de K₂O (KCl) por ha + 60 kg de K₂O por ha (biotita xisto). Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

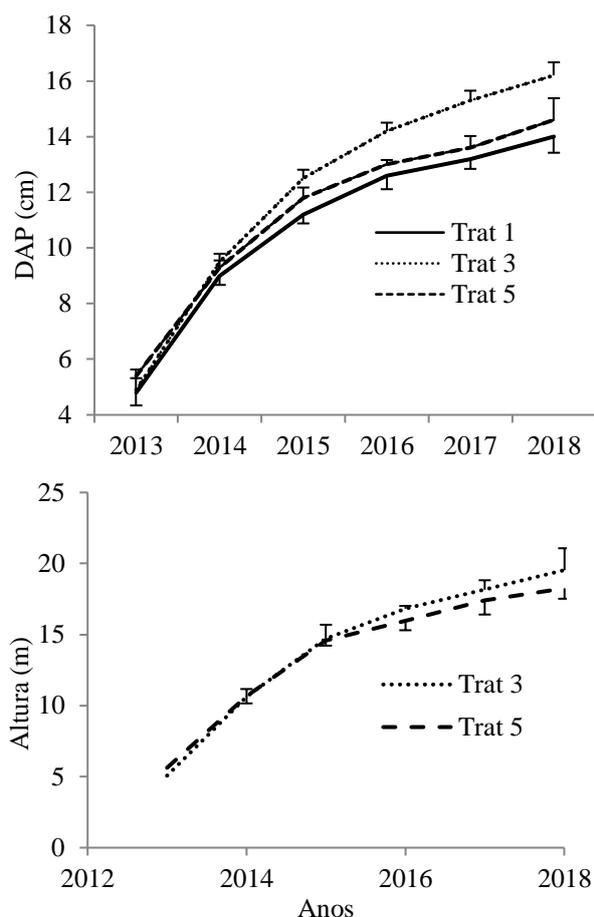


Figura 2 Crescimento em diâmetro do tronco (DAP) e altura total em função dos tratamentos. Trat. 1 = testemunha somente sem K; Trat. 3 = 120 kg de K_2O na forma de KCl; Trat. 5 = 120 kg de K_2O na forma de fonolito. As barras verticais representam os desvios padrões.

4 Conclusão

A adubação potássica, tanto aplicado como KCl quanto em forma de pó de rocha, ou a falta dela, começou a mostrar diferenciação em diâmetro à altura do peito (DAP) entre os tratamentos, aproximadamente aos 3 anos de idade;

O crescimento em diâmetro à altura do peito das plantas aos 6 anos do plantio não mostrou diferença estatística entre a aplicação de 120 kg de K_2O por ha na forma de KCl e a aplicação de 120 kg de K_2O por ha na forma de fonolito, enquanto o crescimento em altura total, neste mesmo ano, não apresentou diferença entre todos os tratamentos;

A adubação com 240 kg de K_2O na forma de KCl proporcionou o maior valor médio de DAP de todos os tratamentos aos 6 anos de idade, com

exceção à aplicação de 120 kg de K_2O por ha na forma de KCl.

Referências

- Barros, N. F.; Novais, R. F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. Attiwill, P. M. & Adams, M. A. (Editors). **Nutrition of Eucalyptus**. Collingwood: CSIRO, Australia, 1996. p. 335–354.
- Bassaco, M. V. M.; Motta, A. C. V.; Pauletti, V.; Prior, S. A.; Nisgoski, S.; Ferreira, C. F. Nitrogen, phosphorus, and potassium requirements for *Eucalyptus urograndis* plantations in southern Brazil. **New Forests**, v. 49, p. 681–697, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9658-0>
- Bellote, A. F. J.; Silva, H. D. Sampling techniques and nutritional evaluations in eucalypt plantations. In: Gonçalves, J.L.M.; Benedetti, V. (Editores). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. Chapter 5, p.113–139.
- Biagiotti, G.; Valeri, S. V.; Cruz, M. C. P.; Vasconcelos, R. T. Fertilização potássica na implantação de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Jonhson. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 113, p. 129–137, 2017. <https://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n113.12>
- Brady, N. C.; Weil, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Silva, F.C. (Editor técnico). 2ª ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Teixeira, P.C.; Donagemma, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. (Editores Técnicos). 3ª ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209>
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Santos, H.G.; Jacomine, P.K.; Anjos, L.H.C.; oliveira, V..A.; Lumberras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Araújo Filho, J.C.; Oliveira, J.B.; Cunha, T.J.F. (Autores). 5ª. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/>

- [/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos](#)
- Ernani, P. R.; Almeida, J. A.; Santos, F. C. Potássio. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L.; Cantarutti, R. B.; Neves, J.C.L. (Editores). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. Cap. 9, p.552–588.
- Globalfert. Brasil apresentou maior importação de Cloreto de Potássio no primeiro semestre. Disponível em: <
<https://www.globalfert.com.br/noticias/logistica/brasil-apresentou-maior-importacao-de-cloreto-de-potassio-no-primeiro-semester/>>. Acesso em : 05/11/2020.
- Guelfi-Silva, D. R. **Caracterização e avaliação agrônômica de rochas silicáticas com potencial de uso como fontes alternativas de nutrientes e corretivos da acidez do solo**. 2012. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2012. <http://repositorio.unb.br/handle/10482/11746>
- Malavolta, E. Essências Florestais: Eucalipto e Pinus. In: Malavolta, E (Editor). **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ceres, 1987. Cap.10, p.376–396.
- Manning, D. A. C.; Theodoro, S. H. Enabling food security through use of local rocks and minerals. **The Extractive Industries and Society**, v. 7, p. 480–487, n. 2, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.002>
- Martins, E. S.; Oliveira, C. G. ; Resende, A.V. ; Matos, M. S. F. Agrominerais : rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. Luz, A.B. ; Lins, F.A.F. (Editores). **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. Cap. 9, p. 205–223.
<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1098/1/09.%20MRI%20-%20P%C3%B3t%C3%A1ssio%20de%20Rochas.pdf>
- Martins, V.; Silva, D. R. G.; Marchi, G.; Leite, M. C. A.; Martins, E. S.; Gonçalves, A.S.F.; Guilherme, L.R.G. Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 39, p. 194–204, 2015. <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v39n1/0100-0683-rbcs-39-1-0194.pdf>
- Nascimento, M.; Monte, M. B. M.; Loureiro, F. E. L. Agrominerais - potássio. In: Luz, A. B.; Lins, F. A. F. (Editores). **Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. Cap. 8, p. 175–203.
http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1097/1/08.%20POT%C3%81SSIO_capitulo%20de%20revis%C3%A3o%20para%20o%20Ad%C3%A3o.pdf
- Reis, B. F.; Zagatto, E. A. G.; Jacintho, A. O.; Krug, F. J.; Bergamin Filho, H. Merging zones in flow injection analysis. Part 4. Simultaneous Spectrophotometric Determination of Total Nitrogen and Phosphorus in Plant Material. **Analytica Chimica Acta**, v. 119, p. 305–311, 1980.
- Santos, W. O.; Mattiello, E. M.; Costa, L. M.; Abrahão, W. A. P.; Novais, R. F.; Cantarutti, R. B. Thermal and chemical solubilization of verdete for use as potassium fertilizer. **International Journal of Mineral Processing**, v. 140, p. 72–78, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.05.003>
- Santos, W. O.; Mattiello, E. M.; Vergutz, L.; Costa, R. F. Production and evaluation of potassium fertilizers from silicate rock. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 179, p. 547–556, 2016. <https://doi.org/10.1002/jpln.201500484>
- SILVA, U. C.; GOMES, E. A.; PAIVA, C. A. O.; DIAS, F. E. S.; FRADE, Y. S.; MARRIEL, I. E. Biossolubilização de fonolito por microrganismos do solo solubilizadores de potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas**. Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 1 CD-ROM.
<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40916/1/Biossolubilizacao-fonolito.PDF>
- Silveira, R. L. V. A.; Malavolta, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. **Informações Agrônômicas**, Potafos, Piracicaba, n. 91, 2000. 12p
- Toledo, F. H. S. F. **Crescimento, nutrição mineral e eficiência do uso da água em plantação de eucalipto fertilizado com fontes alternativas ao KCl**. Piracicaba, 2017. 100 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, 2017.