

INTERVALOS DE COLHEITA E ADUBAÇÃO POTÁSSICA INFLUENCIAM A PRODUTIVIDADE DA ERVA-MATE

Delmar Santin^{1*}, Eliziane Luiza Benedetti², Nairam Félix de Barros³, Igor Carvalho de Almeida³, Ivar Wendling⁴

^{1*} Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Santa Catarina, Brasil - desantinflorestal@yahoo.com.br

² Instituto Federal de Santa Catarina, Canoinhas, Santa Catarina, Brasil - elibettiagro@yahoo.com.br

³ Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil - nfbarros@ufv.br, igorcarvalho6@hotmail.com

⁴ Embrapa Florestas, Colombo, Paraná, Brasil - ivar.wendling@embrapa.br

Recebido para publicação: 27/05/2015 – Aceito para publicação: 04/09/2016

Resumo

Objetivou-se avaliar a influência do intervalo de colheita (12, 18 e 24 meses) sem adubação potássica e doses de potássio (0, 20, 40, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹ de K₂O, testadas no intervalo de 18 meses de colheita) na produtividade de massa verde de folhas (FO), galhos finos (GF), galhos grossos (GG) e erva-mate comercial (ECOM= FO+GF); disponibilidade de potássio no solo em diferentes profundidades e teor de potássio nos componentes colhidos. Os experimentos, intervalos de colheita e doses de potássio, foram conduzidos individualmente no delineamento blocos ao acaso. A adubação foi aplicada superficialmente, sem incorporar, na área de projeção da copa. Verificou-se que, quando não adubada, a erva-mate requer 24 meses para recompor a copa pós-colheita. A erva-mate respondeu positivamente a adubação potássica, incrementando a produtividade de todos os componentes colhidos e reduzindo o teor de água na ECOM. A produtividade máxima de ECOM (18,5 t ha⁻¹) ocorreu quando a disponibilidade de potássio foi de 96 mg dm⁻³ na camada de 0-20 cm do solo e teor de potássio foliar de 17,5 g kg⁻¹. Conclui-se que para ervais em fase de produção, na condição de solos de baixa fertilidade e não adubados adequadamente, as colheitas devem ser realizadas preferencialmente com 24 meses de intervalo. Já quando os ervais estiverem bem nutridos, recomenda-se colheitas com 18 meses de intervalo, mantendo nível alto de potássio no solo. A adubação potássica na cultura da erva-mate favorece a produção de ECOM com menor teor de água e maior rendimento de massa seca.

Palavras-chave: Disponibilidade de potássio, eficiência nutricional de K, *Ilex paraguariensis*.

Abstract

Harvest intervals and potassium fertilization influence productivity of Ilex paraguariensis. We aimed to evaluate the influence of harvest interval (12, 18 and 24 months) and potassium doses (0, 20, 40, 80, 160 and 320 kg ha⁻¹ of K₂O, tested at the 18-month harvest interval) on productivity of green leaves mass (FO), thin (GF) and thick branches (GG) and commercial yerba mate (ECOM= FO + GF), on soil potassium availability at different depths and on the content of potassium in the harvested components. Each experiment, i.e., harvest intervals and K rates, was conducted individually in a randomized block design. In unfertilized plantations, the time to recover post-harvest canopy should be longer and potassium fertilization reduces this time. Potassium doses increased the availability of the nutrient in the soil and yerba mate responded positively with increased productivity of all components. The maximum productivity of commercial yerba mate (18.5 t ha⁻¹) occurred when the availability of potassium was 96 mg dm⁻³ at 0-20 cm soil layer and leaf potassium content of 17.5 g kg⁻¹. Yerba mate plantations growing on low fertility soils and not properly fertilized should be harvested preferably at 24-month intervals. But when yerba mate plantations are well nourished, it is recommended harvests with 18 months intervals. Potassium fertilization in yerba mate culture favors the production of ECOM with lower water content and higher yield of dry matter.

Keywords: Soil K availability, K-recovering rate, K nutritional efficiency.

INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), que no Brasil ocorre predominantemente na região Sul (CARVALHO, 2003), é cultivada principalmente em pequenas e médias propriedades rurais. Esta espécie arbórea, responsável pela renda de milhares de trabalhadores, a mais de dois séculos vem sendo explorada predominantemente no sistema extrativista. Sistema esse que o produtor retira o produto (predominantemente folhas) sem se preocupar com a recuperação das plantas colhidas (SANTIN *et al.*, 2015). Esse sistema de cultivo, associado à ausência de um programa nutricional para a cultura, contribuiu para que de 1990 a 2014 a retração da produtividade brasileira de erva-mate fosse de, aproximadamente, 51% (IBGE, 2016), o que pode comprometer a viabilidade econômica dessa cultura no Brasil.

A erva-mate, apesar de ocorrer naturalmente no estrato inferior das matas (CARVALHO, 2003), permite seu cultivo em vários modelos de ervais com sombreamento reduzido e até a pleno sol (SANTIN *et al.*, 2015). Isso proporcionou que grande parte das áreas com ervais nativos fosse manejada e transformada em ervais adensados. Esse tipo de erval é obtido pelo plantio de mudas no local onde foram removidas outras espécies que integravam o sistema nativo.

A colheita de ervais nativos era realizada predominantemente em intervalos de 36 e 48 meses (SANTIN *et al.*, 2015). Nos ervais adensados e a pleno sol, o período entre colheitas foi paulatinamente reduzido, sendo atualmente de 12 a 24 meses. Essa combinação de aumento da densidade de plantas e redução do intervalo de colheita, sem a devida reposição dos nutrientes exportados, contribui para a exaustão nutricional do solo e consequente queda da produtividade, que passou de 17,3 t ha⁻¹ em 1990 para 8,5 t ha⁻¹ em 2014 (IBGE, 2016). Se por um lado ocorreu forte redução da produtividade de erva-mate, por outro, a comprovação de suas propriedades funcionais e benéficas ao organismo humano (PÉREZ *et al.*, 2014) estimulou o desenvolvimento de novos produtos derivados de erva-mate, com aumento da demanda por matéria prima.

Com a adoção de plantios mais adensados, os intervalos de colheita da erva-mate podem ser reduzidos em comparação com ervais nativos. Técnicas de manejo mais intensivas, como adensamento e adubação, permitem a obtenção de produtividades foliares maiores em menores tempos. Assim, a definição da melhor combinação desses fatores é importante para maior racionalização técnica e econômica da cultura.

Já fazem mais de 30 anos que Reissmann *et al.* (1985) alertaram da necessidade de reposição dos nutrientes exportados pela colheita da erva-mate. Isso, devido o produto colhido ser constituído predominantemente por folhas e galhos finos, os quais possuem alta concentração de nutrientes. Dentre os nutrientes, o potássio (K) com teor foliar em torno de 17,0 g kg⁻¹ (REISSMANN *et al.*, 1985; PANDOLFO *et al.*, 2003; SANTIN *et al.*, 2015), após o nitrogênio (N), é o mais exportado, o que justifica a resposta à adubação potássica pela erva-mate (PANDOLFO *et al.*, 2003).

No solo, a movimentação em profundidade do K é intermediária à do N e à do fosforo (P) (ERNANI *et al.*, 2007). A movimentação do K no solo é determinada pela quantidade de água que percola no perfil e pela concentração do nutriente na solução do solo (ERNANI *et al.*, 2007; NEVES *et al.*, 2009), sendo intensificada em solos com baixa CTC e de textura arenosa (WERLE *et al.*, 2008). Nesse caso, o uso de doses compatíveis com a demanda da cultura reduz a perda de K. Assim, para cada cultura deve-se estabelecer um nível de suficiência em que a dose recomendada coincida com a quantidade do nutriente exportada pela colheita (KAMINSKI *et al.*, 2010), diminuindo a perda de K em profundidade no perfil.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do intervalo de colheita e doses de potássio na produtividade, rendimento da erva-mate comercial, disponibilidade de potássio no solo e estado nutricional de K em plantas de erva-mate.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em São Mateus do Sul, Paraná - BR, localizado entre a longitude 50° 22' 58" O e latitude de 25° 52' 27" S. O clima da região é temperado (Cfb), com precipitação pluvial média anual entre 1600 a 1800 mm (IAPAR, 1994). O solo do local, um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, apresentava propriedades químicas características de solo de baixa fertilidade (Tabela 1).

Tabela 1. Teor de argila e propriedades químicas do solo de 0 a 20 cm de profundidade no local do experimento, São Mateus do Sul, PR.

Table 1. Clay content and soil chemical properties at the 0 to 20 cm depth in the experimental site, São Mateus do Sul, PR, Brazil.

CO	pH	Al ³⁺	H+Al	CTC _{pH7,0}	V	m	Argila	K
g kg ⁻¹	H ₂ O	-----	cmol _c dm ⁻³ -----	-----	-----	% -----	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³
29,79	3,70	4,79	16,33	17,68	7,64	78,01	760	54,90
Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	S-SO ₄ ²⁻	Cu	Zn	Fe	Mn	B
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
cmol _c dm ⁻³ - -	-----	-----	-----	-----	mg dm ⁻³ -----	-----	-----	-----
0,87	0,34	1,50	7,56	13,10	2,50	71,00	29,00	0,53

Extratores: Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹): P, K, Fe, Mn, Cu e Zn; KCl (1 mol L⁻¹): Ca, Mg e Al; Calcinação e solução de HCl: B e Fosfato de cálcio: S.

O plantio da erva-mate foi estabelecido após remoção de parte da floresta, permanecendo na área indivíduos esparsos de erva-mate, araucária (*Araucaria angustifolia*), imbuia (*Ocotea porosa*) e canelas (*Ocotea* sp. e *Nectandra* sp). Em 2001 o erval foi plantado no espaçamento de 2 x 2 m, utilizando-se mudas oriundas de sementes coletadas de matrizes locais. Até a instalação do experimento a área nunca recebeu adubação e, ou,

calagem. A primeira colheita de erva-mate (poda de formação) foi efetuada 24 meses após o plantio a, aproximadamente, 1 m de altura do solo. Da segunda colheita em diante, até o momento da instalação do experimento, as colheitas foram efetuadas a cada 18 meses, podando-se os galhos a aproximadamente 10 cm acima da última poda.

Em janeiro de 2009 foram instalados dois experimentos, num, avaliaram-se intervalos de colheita sem adubação potássica e, noutro, doses de K. As doses aplicadas foram correspondentes a 0, 20, 40, 80, 160 e 320 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se cloreto de potássio, sendo feita uma única avaliação aos 18 meses após a instalação. No experimento de intervalos de colheita, avaliaram-se os intervalos de 12, 18 e 24 meses, para duas colheitas sucessivas (Tabela 2). Em ambos os experimentos, os tratamentos foram dispostos no delineamento blocos casualizados com cinco repetições. Cada unidade experimental foi composta por 10 plantas úteis de erva-mate plantada, separada por duas linhas de bordadura.

Tabela 2. Parcelamento e época de aplicação da adubação e época de colheita da erva-mate em cada experimento de intervalo de colheita e dose de potássio (K).

Table 2. Fertilizer application and splitting time and *Ilex paraguariensis* harvesting time in each experiment.

Experimento	Intervalo de colheita	Colheitas	Parcelamento e época de aplicação da adubação						Colheita
			1ª parcela		2ª parcela		3ª parcela		
			% dose	Época	% dose	Época	% dose	Época	
	Meses	Número							
Intervalo de colheita	12	1ª	50,0	Jan/2009	50,0	Set/2009	----	----	Jan/2010
		2ª	50,0	Jan/2010	50,0	Set/2010	----	----	Jan/2011
	18	1ª	50,0	Jan/2009	50,0	Jan/2010	----	----	Jul/2010
		2ª	50,0	Set/2010	50,0	Set/2011	----	----	Jan/2012
	24	1ª	50,0	Jan/2009	50,0	Set/2009	----	----	Jan/2011
		2ª	50,0	Jan/2011	50,0	Set/2012	----	----	Jan/2013
Dose de K	18	1ª	33,3	Jan/2009	33,3	Set/2009	33,3	Jan/2010	Jul/2010

Devido ao nível baixo de Ca e Mg no solo, no momento da instalação dos dois experimentos, aplicou-se 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico superficialmente em área total sem incorporar. Também aplicou-se adubação complementar de N e P, correspondente a 80 kg ha⁻¹ de N e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, na forma de ureia e superfosfato triplo.

No experimento de intervalos de colheita não aplicou-se adubação potássica, sendo a dose de N e P, aplicada em duas vezes iguais. No experimento com adubação potássica, as doses de K₂O e a adubação complementar de N e P foram parceladas em três vezes iguais. Para ambos os experimentos a adubação foi realizada sempre nos meses de janeiro e setembro (Tabela 2), época do início dos dois principais picos de crescimento da cultura (RAKOCEVIC; MARTIM, 2010). Todos os adubos foram aplicados superficialmente sem incorporar, em forma de círculo na área de projeção da copa da planta. Após o estabelecimento do experimento a limpeza do erval foi realizada com roçadas mecânicas nos meses de setembro, janeiro e abril de cada ano.

No dia anterior à colheita, coletaram-se ramos em posição correspondente à metade da copa para análise química de K e para determinação da relação entre a massa verde e seca das folhas e galhos finos. No momento da colheita retirou-se, por parcela, uma amostra representativa de galhos grossos, para as mesmas determinações. No experimento com doses de K, no momento da colheita, coletou-se em cada parcela, uma amostra composta de solo, proveniente de 15 amostras simples retiradas em três pontos na área da projeção da copa de cinco plantas, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm.

A colheita em ambos os experimentos, efetuada entre 10 a 12 cm acima da posição da última poda, consistiu da retirada de aproximadamente 95% da massa verde que cresceu da colheita anterior, da qual, foi separada a erva-mate comercial (ECOM= folha + galho fino) do galho grosso (GG) e determinada a massa verde de ambos. Para determinação da massa de galho fino (GF) e de folha (FO), retirou-se uma amostra de ECOM, de aproximadamente 500 g, da qual separou-se o GF da FO. Considerou-se como GF os galhos com diâmetro menor de 7 mm, aproximadamente, e como GG galhos acima deste diâmetro.

Foram calculadas outras variáveis relacionadas à massa dos componentes colhidos, como: relação entre massas verde de ECOM/GG; relação entre massa verde e seca (MV/MS) para FO (FO.MV/MS), GF (GF.MV/MS) e ECOM (ECOM.MV/MS); produtividade de ECOM influenciada pela dose de K (ECOM.PID= produtividade total menos a produtividade obtida na dose zero); eficiência de utilização de K (EUK), calculada pela razão entre massa seca dos componentes colhidos da planta (ECOM+GG) e o conteúdo do nutriente acumulado (kg MS kg⁻¹ de K) (BARROS *et al.*, 1986); e taxa de recuperação de K do fertilizante pela planta (TR.pl), calculada pela fórmula: TR.pl = ((Cont. Kpl. A – Cont. Kpl. NA)/(D. K)) × 100, em que: TR.pl= taxa

de recuperação de K do fertilizante pelas plantas, Cont.Kpl.A= conteúdo de K dos componentes colhidos (ECOM+GG) nas plantas adubadas, Cont.Kpl.NA= conteúdo de K nas plantas não adubadas e D.K= dose de K aplicada.

O solo, após secagem e peneiramento (malha de 2 mm) das amostras, foi analisado para determinar o teor de K, extraído por Mehlich-1 e determinado por fotometria de chama (TEDESCO *et al.*, 1995). O teor de K na camada de 0-20 cm foi calculado a partir dos teores de K das camadas de 0-10 e de 10-20 cm.

Para análise química do tecido vegetal de FO, GF e GG, em cada amostra quantificou-se a massa verde, lavou-se o material vegetal e secando-o a 65 °C. No material vegetal, após seco, determinou-se a massa seca e, posteriormente, triturou-se o mesmo em moinho tipo Willey (peneira de 0,5 mm). Para determinar o teor total de K no tecido vegetal, o material foi submetido à digestão nitroperclórica e o K dosado por fotometria de chama (TEDESCO *et al.*, 1995). Com os dados de massa seca e teor total de K calculou-se o conteúdo deste nutriente na ECOM e GG.

No experimento de intervalos de colheita os dados foram obtidos pela média de duas colheitas, sendo avaliada a produtividade de FO, GG, ECOM e a relação ECOM/GG. Já no experimento de doses de K os dados foram provenientes de uma única colheita, onde avaliou-se, além da produtividade de FO, GF, GG e ECOM, o teor de K disponível nas camadas de 0-10, 0-20, 10-20 e 20-40 cm do solo; a relação MV/MS de FO.MV/MS, GF.MV/MS e ECOM.MV/MS; o teor total de K na FO, GF, GG; o conteúdo de K na ECOM e no GG; e a ECOM.PID, EUK e TR.pl de K. Calculou-se a correlação linear simples entre variáveis de produtividade e teor foliar de K, conteúdo de K na ECOM (Cont. K ECOM) e teor de K nas camadas do solo. Os dados foram submetidos à Anova ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), as médias correspondentes aos intervalos de colheita comparadas pelo teste de Tukey e o efeito das doses de K tratado por regressão.

RESULTADOS

O intervalo de colheita influenciou a massa dos componentes colhidos, sendo maior a produtividade quanto maior o intervalo de colheita (Figuras 1A, B e C). Já a relação ECOM/GG reduziu com o aumento do intervalo de colheita (Figura 1D), indicando que quanto maior intervalo entre colheitas maior é o aumento da produtividade de GG e menor da ECOM. Desta forma é importante estabelecer o intervalo ótimo de colheita a partir da combinação entre quantidade de ECOM, sua proporção em relação ao GG que sobra da colheita e um período de tempo suficiente para a planta se recuperar do impacto gerado pela remoção da copa pela colheita.

Neste estudo, a redução entre ECOM/GG é mais drástica entre 12 e 18 meses de intervalo de colheita, atingindo 2,2 vezes aproximadamente, e menos intensa de 18 para 24 meses, em torno de 1,3 vezes. Ainda que a quantidade de ECOM seja menor aos 12 meses, a referida combinação indicaria este intervalo como o mais recomendável, tanto pela qualidade do material em função de maior proporção de ECOM em relação a GG, quanto pela possibilidade de colheita e renda anual ao produtor. No entanto, o pequeno aumento da produtividade de ECOM do intervalo de 12 para 18 meses (19%), quando comparado ao de 18 para 24 meses (45%), indica que, em cultivos em que a nutrição potássica não é adequada a planta necessita de 24 meses para recompor sua copa.

Com a aplicação da adubação potássica, o K disponível no solo aumentou linearmente em todas as camadas avaliadas. As camadas mais superficiais apresentaram os maiores aumentos no teor de K do solo, tendo na maior dose de K_2O , um incremento de 72 e 52 $mg\ dm^{-3}$ nas camadas de 0-10 e 0-20 cm, respectivamente. Já nas camadas mais profundas (10-20 e 20-40 cm), o incremento do K disponível foi de 31 e 18 $mg\ dm^{-3}$, respectivamente (Figura 2A).

A erva-mate respondeu positivamente à adubação potássica com aumento da produtividade de todos os componentes colhidos (Figuras 2B e C). Com a adubação, a relação entre massas verde e seca (MV/MS), nos componentes folha (FO) e erva-mate comercial (ECOM) (Figura 2D), reduziu, elevando proporcionalmente a quantidade do material comercializável. Considerando a produtividade de ECOM máxima de $18,5\ t\ ha^{-1}$, a dose adequada foi de $281\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O (Figura 2B). Para esta mesma dose de K_2O , a produtividade máxima de FO, GF e GG foi de 14,2, 4,2 e $6,8\ t\ ha^{-1}$, respectivamente.

A resposta expressiva da erva-mate à adubação potássica pode ser verificada pela produtividade de ECOM influenciada pela dose de K_2O (ECOM.PID), a qual foi de $10,3\ t\ ha^{-1}$ na dose que maximizou a produtividade de ECOM ($281\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O) (Figura 2C). Por outro lado, quando a cultura não recebeu adubação potássica (Figura 1), a menor produtividade de FO, GG e ECOM ocorreu no intervalo de colheita de 12 meses ($8,0$, $1,6$ e $10,5\ t\ ha^{-1}$, respectivamente) e a maior no de 24 meses ($14,2$, $7,8$ e $18,1\ t\ ha^{-1}$, respectivamente) (Figuras 1A, B e C). No entanto, a menor relação ECOM/GG para o intervalo de 24 meses (2,3), quando comparada a de 12 meses (6,8), sugere que quanto maior o intervalo de colheita maior o investimento da planta em produção de GG e menor em ECOM (Figura 1D). Este fato é confirmado pelo

aumento da produtividade de 12 para 24 meses, em que o aumento de ECOM foi de 73% (Figura 1C) e o de GG foi de 387% (Figura 1B). Assim, fica evidente que a melhor combinação entre as técnicas, intervalo de colheita e adubação potássica, pode resultar em maior quantidade e qualidade do produto.

O teor de K no tecido vegetal aumentou linearmente com as doses de K_2O em todos os componentes, tendo na dose de máxima produtividade de ECOM (281 kg ha^{-1}), teor de 17,7, 13,6 e $11,7 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, para FO, GF e GG (Figura 3A). Nesta mesma dose, o conteúdo de K na ECOM e GG foi de 114 e 33 kg ha^{-1} , respectivamente (Figura 3B) e, a eficiência de utilização de K (EUK) de $22,7 \text{ kg MS kg}^{-1}$ de K (Figura 3C) com taxa de recuperação de K pela planta (TR.pl) de 28,3% (Figura 3D).

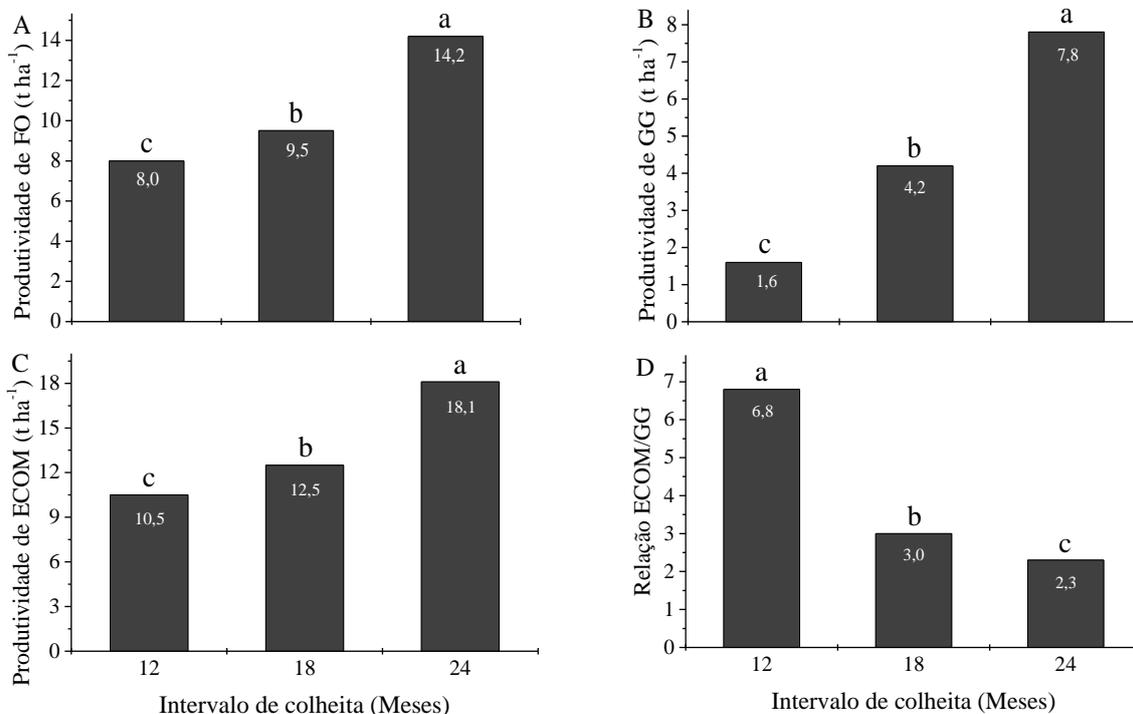


Figura 1. Produtividade de massa verde de folhas (FO) (A), galhos grossos (GG) (B) e erva-mate comercial (ECOM) (C); e relação entre massa verde de ECOM/GG (D) em cultivo de erva-mate colhido com diferentes intervalos de colheita. Médias de intervalos de colheita seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figure 1. Fresh weight of leaves (FO) (A), thick branches (GG) (B) and commercial components of *Ilex paraguariensis* (ECOM) (C); and relationship between fresh weight ECOM/GG (D) harvested at different harvesting intervals. Means of harvesting intervals followed by the same letter do not differ statistically by Tukey test at 5% probability.

Os resultados obtidos neste trabalho, em que a adubação incrementou $10,3 \text{ t ha}^{-1}$ de ECOM.PID, ocasionaram o aumento de 70% da produtividade de ECOM. Isso demonstra o potencial produtivo ainda a ser explorado e a importância da nutrição potássica na recuperação da planta após a colheita com intervalo de 18 meses. A importância da nutrição potássica pode ser comprovada pela alta correlação positiva entre a produtividade de todos os componentes colhidos, o teor foliar de K e a disponibilidade de K no solo em todas as camadas (Tabela 3). A semelhança de valores, a significância da correlação entre disponibilidade do K no solo nas camadas de 0-10 e 0-20 cm e produtividade de todos os componentes avaliados, teor foliar de K e conteúdo de K na ECOM, indicam que a amostragem para avaliar a disponibilidade no solo desse nutriente nessa cultura pode ser realizada na camada de 0-10 ou de 0-20 cm de profundidade.

DISCUSSÃO

Quando a erva-mate não é adubada com K, o aumento da produtividade de FO e ECOM (Figuras 1A e C) é muito mais pronunciado no maior intervalo de colheita. Isso pode ser verificado para a ECOM, em que a diferença de produtividade entre os intervalos de 12 e 18 meses foi de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ e, entre os intervalos de 18 para 24 meses, de $5,6 \text{ t ha}^{-1}$. A hipótese é que quando a erva-mate não é adubada, intervalos de 12 e 18 meses entre

colheitas são insuficientes para que a planta se recupere do impacto da remoção da copa. A poda provoca um desequilíbrio entre folhas e raízes, requerendo uma reação compensatória da planta para retornar ao equilíbrio entre parte aérea e radicular. Neste caso, a menor produtividade nos menores intervalos de colheitas estaria relacionada à menor área foliar e, conseqüente menor taxa fotossintética e crescimento das plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

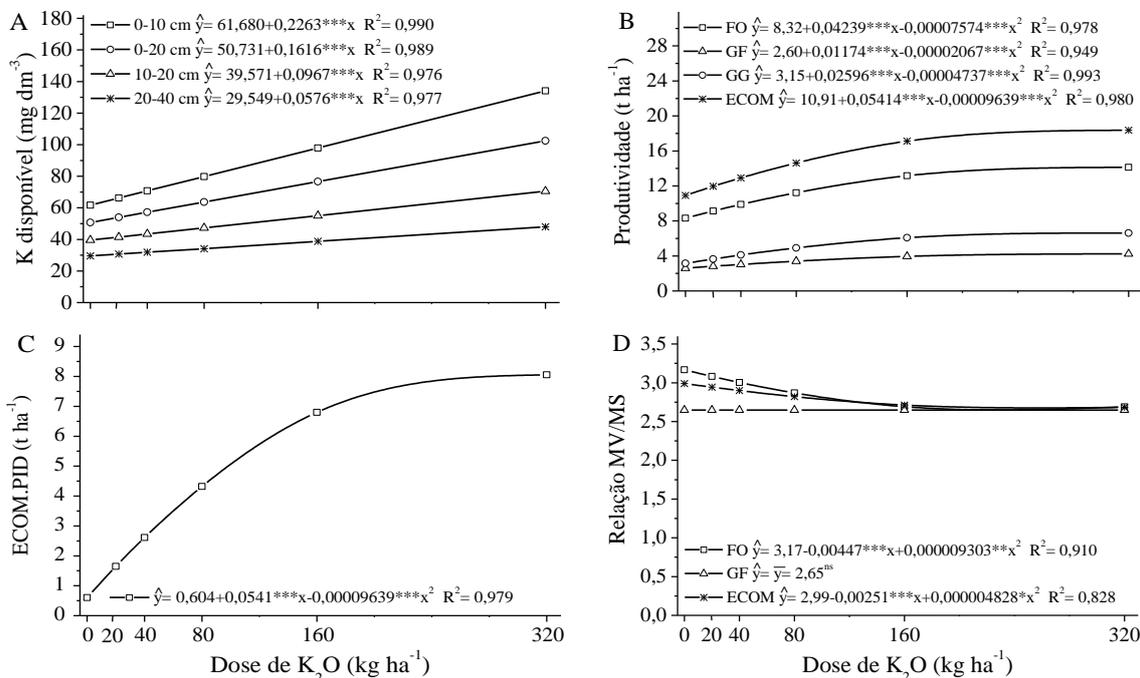


Figura 2. Teores de K no solo (extraído por Mehlich-1) nas camadas de 0-10 cm, 0-20 cm, 10-20 cm e 20-40 cm (A); massa verde de folhas (FO), galhos finos (GF), galhos grossos (GG) e componentes comerciais de erva-mate comercial (ECOM) (B); massa verde de ECOM influenciada pela dose de K₂O (ECOM.PID) (C) e relação entre massas verde e seca de ECOM (D) em erva-mate submetida à adubação potássica. ^{ns} não-significativo, ** e *** significativo a 1 e 0,1 %, respectivamente.

Figure 2. Soil K (Mehlich -1 extractor) content at 0-10 cm, 0-20 cm, 10-20 cm and 20-40 cm depth (A); weight of green leaves (FO), thin (GF) and thick branches (GG) and weight of commercial *Ilex paraguariensis* components (ECOM) (B); weight of commercial components of ECOM influenced by the doses of K₂O (ECOM.PID) (C) and relationship between green and dry weight of ECOM (D) under potassium fertilization. ^{ns} not significant, ** and *** significant at 1 and 0.1%, respectively.

Quando à nutrição potássica, a erva-mate mostra alta demanda pelo nutriente. A máxima produtividade de ECOM foi obtida com a dose de 281 kg ha⁻¹ de K₂O e correspondeu aos teores de 125 e 96 mg dm⁻³ de K nas camadas de 0-10 e 0-20 cm, respectivamente, que podem ser classificados como alto. Pandolfo *et al.* (2003) também constataram que cultivo de erva-mate em plena produção expressa a melhor produtividade quando a disponibilidade de K no solo se encontra em nível alto.

O aumento da disponibilidade de K ocorreu mesmo nas menores doses de K₂O (20 e 40 kg ha⁻¹), indicando mobilidade do nutriente em profundidade (Figura 2A), a despeito de o solo possuir alto teor de argila e alta CTC (Tabela 1). O solo do estudo apresentava grande parte da CTC ocupada por Al+H, restando poucas cargas disponíveis para a adsorção do K⁺, o que favorece sua movimentação em profundidade, mesmo sendo argiloso. Neste caso, a calagem poderia neutralizar parte do Al e H trocáveis, elevar a CTC efetiva do solo (ANJOS *et al.*, 2011) e reduzir a mobilidade de K.

O fator concentração de K na solução do solo, resultante da aplicação da adubação potássica, também pode ter atuado diretamente no aumento da mobilidade do elemento no perfil do solo (NEVES *et al.*, 2009). Neste caso, um maior parcelamento da adubação poderia minimizar a movimentação do nutriente em profundidade. A racionalização da técnica requer o conhecimento da demanda nutricional da planta e o estabelecimento do nível de suficiência adequado à cultura, fatos que possibilitarão definir a dose do nutriente compatível com a quantidade exportada pela colheita (KAMINSKI *et al.*, 2010), o que contribuiria para reduzir a perda de K por lixiviação.

Outro fator positivo da adubação potássica é a redução da relação entre massa verde e seca (MV/MS), que indica aumento no rendimento da matéria prima na indústria. Para a FO e a ECOM, a relação MV/MS mínima de 2,63 e 2,66 ocorreu na dose de 240 e 260 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente (Figura 2D). A relação MV/MS do GF não foi afetada pela adubação potássica, tendo valor médio de 2,65.

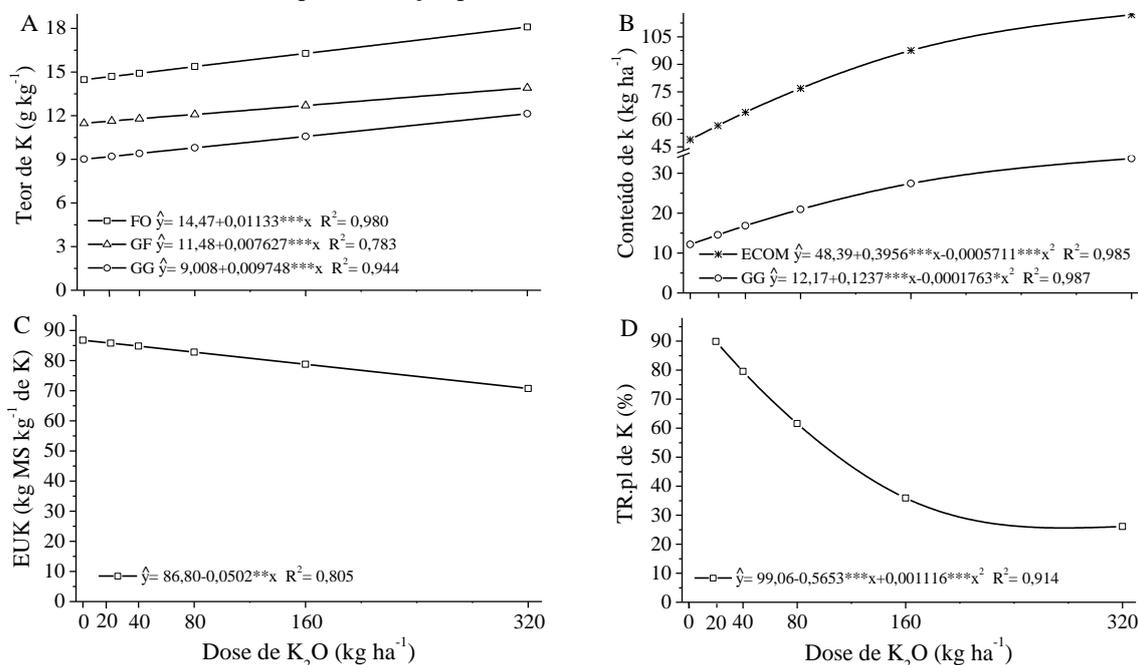


Figura 3. Teor de K nas folhas (FO), galhos finos (GF) e galhos grossos (GG) (A); conteúdo de K na erva-mate comercial (ECOM) e no GG (B); eficiência da utilização de K (EUK) (C); e taxa de recuperação de K pela planta (TR.pl) (D) em erva-mate submetida à adubação potássica. *, ** e *** significativo a 5, 1 e 0,1%, respectivamente.

Figure 3. Potassium content in the leaves (E), thin (GF) and thick branches (GG) (A); K content in commercial *Ilex paraguariensis* (ECOM) and GG (B); use efficiency of K (EUK) (C); and recovery rate of K by plant (TR.pl) (D) in *Ilex paraguariensis* under potassium fertilization. *, ** and *** significant at 5, 1 and 0.1%, respectively.

A relação entre MV/MS da ECOM foi de 2,67, considerando a dose de K (281 kg ha⁻¹ de K₂O) que maximizou sua produtividade. É importante ressaltar que a colheita da erva-mate ocorre tanto no inverno (safra) quanto no verão (safrinha). Como na cultura ocorrem duas fases de crescimento no ano, primavera e outonal, sendo o início de cada fase, respectivamente, em setembro e janeiro (RAKOCEVIC; MARTIM, 2010), na colheita realizada em julho a planta estaria em baixa atividade fisiológica. Dessa forma, para colheitas de safrinha, quando a planta se encontra em plena atividade fisiológica, a relação entre MV/MS de ECOM pode alterar. A correlação negativa entre a ECOM.MV/MS e todas as variáveis relacionadas ao teor e ao conteúdo de K na planta, assim como, à disponibilidade desse nutriente no solo (Tabela 3) indica a importância da adubação potássica para a cultura. A planta, adequadamente nutrida em potássio tem melhor controle de seu estado hídrico, produzindo ECOM com menor teor de água. Como até o momento não há informação sobre o efeito da adubação potássica na relação MV/MS, o valor de 2,66 para FO, GF e ECOM pode servir de referência para a erva-mate em fase de produção, bem nutrida em K e com colheita realizada em intervalos de 18 meses no inverno.

Dentre os componentes FO, GF e GG, o maior teor da maioria dos nutrientes é verificado na FO, visto ser neste órgão onde ocorrem os processos metabólicos mais intensivamente na planta. Como os fatores disponibilidade de nutriente (EPSTEIN; BLOOM, 2004), época de amostragem (REISSMANN *et al.*, 1985), idade da folha, intervalo de tempo entre colheitas, nível de sombra (JACQUES *et al.*, 2007) e progênie (BASTOS *et al.*, 2014) também alteram o teor de nutrientes no tecido vegetal, fica difícil a definição de faixas de teores adequadas à cultura.

Para cultivo sem adubação, Brondani *et al.* (2008) verificaram teor de K foliar de 15,8 g kg⁻¹. Em experimentos com fertilização potássica em erval em produção, Pandolfo *et al.* (2003) obtiveram teor foliar médio de K de 17,4 g kg⁻¹, teor semelhante ao constatado neste trabalho na dose de máxima produtividade de ECOM.

Há poucas informações sobre teor de K no GF e GG para erva-mate. Reissmann *et al.* (1985) obtiveram para GF, teor de 13,4 g kg⁻¹. Mesmo se tratando de tecido lenhoso, o teor de K no GG de 11,7 g kg⁻¹, obtido na dose de 281 kg ha⁻¹, pode ser considerado expressivo (Figura 3A), sendo ele correspondente a 22% do total do conteúdo de K dos componentes colhidos (Figura 3B). Assim, em colheitas com intervalos de 18 meses para ervais em produção, quando o resíduo (GG) é retirado da área, recomenda-se aumentar em 22% a adubação potássica visando repor os nutrientes exportados neste componente. O conteúdo total exportado foi de 147 kg ha⁻¹ de K (ECOM+GG), o que reforça a preocupação expressa por Reissmann *et al.* (1985) sobre a expressiva saída de nutrientes da área pela colheita e a necessidade de reposição de nutrientes para manter os sítios dos ervais produtivos.

Tabela 3. Coeficientes¹ de correlação linear simples (r) entre variáveis da planta e disponibilidade de K em camadas do solo em erva-mate submetida à adubação potássica.

Table 3. Simple linear correlation coefficients¹ (r) between plant variables and K availability in soil layers in *Ilex paraguariensis* under potassium fertilization.

Variáveis da planta	Teor de K foliar g kg ⁻¹	Cont. K ECOM ² kg ha ⁻¹	Disponibilidade de K no solo em diferentes camadas mg dm ⁻³			
			0-10 cm	0-20 cm	10-20 cm	20-40 cm
FO ³	0,788***	0,960***	0,815***	0,809***	0,694***	0,688***
GF ³	0,722***	0,897***	0,735***	0,725***	0,606***	0,592***
GG ³	0,752***	0,913***	0,824***	0,842***	0,769***	0,728***
ECOM ³	0,784***	0,959***	0,808***	0,801***	0,683***	0,675***
ECOM.MV/MS ⁴	-0,406*	-0,649***	-0,510**	-0,582***	-0,659***	-0,562***
Teor de K foliar	----	0,871***	0,833***	0,819***	0,685***	0,763***
Cont. K ECOM ²	0,871***	----	0,871***	0,880***	0,787***	0,803***

¹*, ** e ***, significativo, respectivamente a 5, 1 e 0,1 % de probabilidade; ²conteúdo de K na erva-mate comercial (ECOM); ³produtividade de massa verde de folha (FO), galho fino (GF), galho grosso (GG) e ECOM; e ⁴relação entre massas verde e seca (MS/MV) de ECOM.

O aumento da dose reduziu a eficiência de utilização (EUK) (Figura 3C) e a taxa de recuperação de K do fertilizante pela planta (TR.pl) (Figura 3D). A redução da EUK e da TR.pl com o aumento das doses de K ocorreu em função do aumento da disponibilidade do nutriente no solo. Normalmente, em condição de baixa disponibilidade de nutriente, com pequenas doses a planta responde com aumento linear da produtividade, condição de alta eficiência de uso do nutriente. Por outro lado, as plantas em condição de adequada disponibilidade de nutrientes os absorvem a taxas suficientes para manter as demandas de crescimento, reduzindo, conseqüentemente, a sua eficiência de uso (EPSTEIN; BLOOM, 2004). A redução da eficiência da utilização do nutriente já foi constatada para a erva-mate, mas para fase de planta jovem em estudo com nutrição de Ca e Mg (SANTIN *et al.*, 2013). Porém, para fase de produção não há valores da eficiência da utilização do nutriente, tão pouco de EUK. Neste caso, a EUK de 22,7 kg MS kg⁻¹ de K (Figura 3C) pode ser tomada como referência para a cultura em fase de produção, para colheitas com 18 meses de intervalo e plantas bem nutridas em K.

A TR.pl reduziu drasticamente com o aumento das doses de K₂O (Figura 3D), sendo de apenas 28,3% na condição de disponibilidade de K no solo (96 mg dm⁻³ na camada de 0-20 cm) que proporcionou a maior produtividade de ECOM. É importante ressaltar que o K adicionado ao solo via fertilizante apresentou efeito residual no momento da colheita, verificado pela aumento da disponibilidade do mesmo em todas as camadas avaliadas (Figura 2A). O fato de, mesmo em pequenas doses, o K ter atingido a camada de 20-40 cm sugere que nas maiores doses pode ter ocorrido sua movimentação para camadas mais profundas, além das avaliadas. Profundidade essa onde há menor volume de raízes para absorção de nutrientes. Por outro lado, sendo o K um dos nutrientes mais reciclados por plantas de cobertura (PACHECO *et al.*, 2013), uma fração do nutriente adicionado via adubação pode ter sido incorporada a plantas espontâneas (visualizadas mas não mensuradas). Fatores como perdas e competição da planta com o solo impedem que a planta absorva todo o nutriente aplicado, tornando necessário considerar a TR.pl do nutriente aplicado ao solo via fertilizante para se chegar ao requerimento de nutriente pela planta (SANTOS *et al.*, 2008). Isso reforça a tese de Kaminski *et al.* (2010), que, para a definição da dose adequada à cultura, sem que haja perda em profundidade do K aplicado, é importante conhecer sua demanda nutricional e estabelecer um nível de suficiência adequado. Para a erva-mate que normalmente é cultivada em solos muito ácidos, e que, pode ser colhida com amplo intervalo entre colheitas, deve ser investigado maior número de parcelamentos da dose da adubação potássica, visando minimizar as possíveis perdas do nutriente para camadas mais profundas do solo e melhorar a TR.pl de K.

A correlação positiva entre a produtividade de todos os componentes colhidos com o teor foliar, assim como, com a disponibilidade de K em todas as camadas de solo avaliadas (Tabela 3) indica que, para fase de produção, a erva-mate é exigente em K. Ou seja, mesmo que a erva-mate ocorra naturalmente em solos de baixa

fertilidade (CARVALHO, 2003), ela requer alta disponibilidade de K no solo para expressar sua capacidade produtiva máxima. A produtividade máxima de ECOM obtida (18,5 t ha⁻¹), 118 % superior à da média brasileira (8,5 t ha⁻¹) (IBGE, 2016), sinaliza que somente com a nutrição adequada dos ervais é possível duplicar a produção brasileira de erva-mate sem a necessidade de aumentar áreas com novos plantios.

Considerando que o produto da colheita da erva-mate é predominantemente composto de FO e GF e que quanto maior o intervalo de colheita, maior a produção de GG em relação a de ECOM, o K apresenta papel fundamental na recuperação da planta após a colheita (SANTIN *et al.*, 2014), mesmo quando é realizada a cada 18 meses. Este intervalo de colheita propicia à planta bom investimento na produção de ECOM e menor produção de GG, quando comparado ao intervalo de 24 meses. Pode ser verificado que, quando o erval é bem nutrido em potássio, colheitas com intervalo de 18 meses são mais produtivas (18,5 t ha⁻¹) que as de 24 meses (18,1 t ha⁻¹) que não receberam adubação potássica.

CONCLUSÕES

- A produção comercial de erva-mate pode ser maximizada pela combinação das técnicas de intervalos colheita e adubação potássica.
- A erva-mate é exigente em K e na fase de produção, para intervalo de colheita de 18 meses, a maior produtividade é atingida quando o solo apresenta disponibilidade de 125 mg dm⁻³ na camada de 0-10 ou de 96 mg dm⁻³ na camada de 0-20 cm.
- A inadequada nutrição de K aumenta o intervalo de colheita e reduz a proporção de componentes comerciais. Teor foliar entre 17 e 18 g kg⁻¹ de K indica plantas de erva-mate bem nutridas nesse nutriente.
- Em ervais em fase de produção na condição de solos de baixa fertilidade e não adubados adequadamente, as colheitas devem ser realizadas somente no intervalo de 24 meses. Já quando bem nutridos, recomenda-se colheitas com 18 meses de intervalo.
- O uso da adubação potássica em doses adequadas na cultura da erva-mate favorece a produção de erva-mate comercial com menor teor de água e maior rendimento de massa seca.
- Para colheitas com intervalo de 18 meses, quando o galho grosso que sobra da colheita é retirado da área, a adubação de reposição de potássio deve aumentar em 22%.

AGRADECIMENTOS

À Agropecuária Vier Ltda. e à Baldo S.A. de São Mateus do Sul - PR, à Embrapa Florestas de Colombo - PR, ao Departamento de Solos da UFV de Viçosa - MG e ao CNPq que possibilitaram a realização do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, J. L.; SOBRAL, L. F.; LIMA JUNIOR, M. A. Efeito da calagem em atributos químicos do solo e na produção da laranja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1138-1142, 2011.
- BASTOS, M. C.; REISSMANN, C. B.; KESEKER, J. F.; PAULETTI, V.; GAIAD, S.; STURION, J. A. Mineral content of young leaves of yerba mate. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 77, p. 63-71, 2014.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; CARMO, D. N.; NEVES, J. C. L. Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 112-120, 1986.
- BRONDANI, G. E.; UKAN, D.; BORTOLINI, M. F.; CAMBRONERO, Y. C.; ROSSETTO, A.; REISSMANN, C. B. Distribuição de NPK em um povoamento de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. **Floresta**, v. 38, n. 2, p.267-275, 2008.
- CARVALHO, P. H. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2004. 403 p.
- ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 393-402, 2007.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina. IAPAR, 1994. 49 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=106&z=p&o=29>>. Acessado em 16 de junho de 2016.

JACQUES, R. A.; ARRUDA, E. J.; OLIVEIRA, L. C. S.; OLIVEIRA, A. P.; DARIVA, C.; OLIVEIRA, J. V.; CARAMÃO, E. B. Influence of agronomic variables on the macronutrient and micronutrient contents and thermal behavior of mate tea leaves (*Ilex paraguariensis*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 18, p. 7510-7516, 2007.

KAMINSKI, J.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. Potassium availability in a hapludalf soil under long term fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 783-791, 2010.

NEVES, L. S.; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 25-32, 2009.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, 2013.

PANDOLFO, M. C.; FLOSS, P. A.; Da CROCE, D. M.; DITTRICH, R. C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um Latossolo Vermelho aluminoso férrico. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 37-45, 2003.

PÉREZ, J. M.; MALDONADO, M. E.; ROJANO, B. A.; ALZATE, F.; SÁEZ, J.; CARDONA, W. Comparative antioxidant, antiproliferative and apoptotic effects of *Ilex laurina* and *Ilex paraguariensis* on colon cancer cells. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v. 13, n. 8, p. 1279-1286, 2014.

RAKOCEVIC, M.; MARTIM, S. F. Time series in analysis of yerba-mate biennial growth modified by environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 55, n. 2, p. 161-171, 2010.

REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W.; ROCHA, H. O.; HILDEBRAND, E. E. Avaliação da exportação de macronutrientes pela exportação da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS. Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil). Curitiba, 1985, **Anais**. Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1985. p. 128-139.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; KASEKER, J. F.; BASTOS, M. C.; REISSMANN, C. B.; WENDLING, I.; BARROS, N. F. Nutrição e crescimento da erva-mate submetida à calagem. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 55-66, 2013.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; REISSMANN, C. B. Nutrição e recomendação de adubação e calcário para a cultura da erva-mate. In: WENDLING, I.; SANTIN, D. **Propagação e nutrição de erva-mate**. Brasília: Embrapa, 2015. p. 99-195.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BARROS, N. F.; CARVALHO, I. A.; PEREIRA, G. L.; FONTES, J.; NEVES, J. C. L.; WENDLING, I.; REISSMANN, C. B. Effect of potassium fertilization on yield and nutrition of yerba mate (*Ilex paraguariensis*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1469-1477, 2014.

SANTOS, F. C.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; SEDIYAMA, C. S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1661-1674, 2008.

TEDESCO, J. M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEM, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de solos, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (**Boletim Técnico**, 5).

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.