

**CONSEQUÊNCIAS DA SECA SOBRE A ALOCAÇÃO DE CARBONO EM  
PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO: UM EXPERIMENTO DE MARCAÇÃO COM  
 $^{13}\text{C-CO}_2$  PARA AVALIAR OS EFEITOS DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

**Cabral, O.<sup>1</sup>; Packer, P.<sup>1</sup>; Laclau, J. P.<sup>3</sup>; Epron, D.<sup>2</sup>; Nouvellon, Y.<sup>3</sup>; Moreira, M.<sup>2</sup>;  
Gerant, D.<sup>3</sup>; Dannoura, M.<sup>5</sup>; Araújo, V.<sup>1</sup>; Furlan, G.<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Embrapa Meio Ambiente, <sup>2</sup>CIRAD, <sup>3</sup>Universidade de Nancy, <sup>4</sup>CENA-USP,  
<sup>5</sup>Universidade de Kyoto, <sup>6</sup>Bolsista PIBIC-PUCC.

**Problema abordado**

A remobilização do carbono (C) em árvores depende principalmente da magnitude dos sorvedouros (demanda em C para o crescimento de novo tecidos) e não da quantidade de C armazenada nos tecidos vegetais (Millard & Grelet, 2010). Dependendo da espécie, a mortalidade de árvores em condição de seca prolongada pode ser consequência da depleção do carbono ou de disfunção hidráulica (O'Grady et al., 2013). O papel da remobilização de C no adiamento da mortalidade das árvores em condição de seca prolongada sugere que este processo, ainda pouco estudado para as plantações florestais no Brasil, merece mais atenção no contexto de mudanças climáticas.

O gênero *Eucalyptus* representava em 2005 aproximadamente 8% das áreas florestais plantadas no mundo, ocupando 18 milhões de hectares, e as espécies mais utilizadas eram *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. saligna* (FAO, 2007). No Brasil, o *Eucalyptus* é o principal gênero florestal plantado, ocupando 4,5 milhões de hectares (ABRAF, 2010), em áreas de baixa fertilidade, particularmente pobres em potássio (K) e submetidas a períodos de déficit hídrico (Gonçalves et al., 2008; Cabral et al., 2010). Estudos anteriores sugeriram uma correlação positiva entre a eficiência de recursos naturais (água, luz e nutriente) nas plantações de *Eucalyptus grandis* e à adubação (Epron et al., 2012b); a diferenças de fertilidade do solo (Campoe et al., 2012) ou a diferenças de pluviometria das áreas (Stape et al., 2004), porém nestes trabalhos a alocação de C não foi medida diretamente.

A hipótese do estudo foi que a forte resposta dos eucaliptos à adubação potássica aumentaria a proporção de C alocado na madeira e que a redução de chuva aumentaria a proporção de C alocado nas raízes finas.

## Objetivo

O presente projeto teve como objetivo o monitoramento da alocação do carbono recentemente assimilado em árvores de eucalipto submetidas a diferentes tratamentos com relação à disponibilidade hídrica e fertilização de K, utilizando-se o método da marcação com  $^{13}\text{C}$ -CO<sub>2</sub> ( **$^{13}\text{C}$  pulse labelling**; Epron et al., 2012<sup>a</sup>)

## Principais contribuições

O efeito da nutrição em potássio: 0 kmol ha<sup>-1</sup> (-K) e 4,5 kmol ha<sup>-1</sup> (+K), sobre os processos de estocagem e remobilização de C nunca foi estudado em florestas plantadas e a marcação com  $^{13}\text{C}$  realizada no experimento de redução de chuva na Estação Experimental de Itatinga-USP forneceu dados originais para a melhor compreensão dos efeitos ambientais da disponibilidade em K e sob precipitação normal (+W) e exclusão de 33% da chuva (-W), sobre os processos de estocagem e remobilização de C nos plantios de eucalipto, que podem contribuir para o sequestro de carbono da atmosfera e como fonte de energia renovável para a indústria siderúrgica e de produtos derivados, reduzindo a exploração predatória das florestas nativas (Giacomelli, 2007).

O efeito da fertilização em potássio sobre as características apresentadas na Tabela 1 foi significativo. Os valores de circunferência à altura do peito (CAP) e biomassa foliar (Bf) foram muito maiores nas árvores fertilizadas e a exclusão de chuva promoveu o decréscimo em ambos que só foi significativo para a biomassa foliar (Bf). A assimilação de CO<sub>2</sub> pelo dossel (A; fotossíntese) foi duas vezes maior em +K com relação ao tratamento -K e não apresentou resposta significativa à exclusão de chuva, contudo observou-se uma boa correlação entre A e a biomassa foliar ( $R^2=0,71$ ;  $p=0,001$ ).

A diferença na assimilação do dossel (A na Tabela 1) entre as árvores dos tratamentos +K e -K também foi observada na fotossíntese e condutância estomática ao nível da folha, observando-se o declínio pronunciado nas trocas de CO<sub>2</sub> no tratamento +K-W. Os fluxos de seiva (Granier, 1985) observados no tratamento +K+W (~25 L d<sup>-1</sup> árvore<sup>-1</sup>)

<sup>1)</sup> foram cerca de duas vezes maiores do que no tratamento –K–W (~10 L d<sup>-1</sup> árvore<sup>-1</sup>) em concordância com o maior crescimento. Porém, os fluxos nos tratamentos +K–W e –K+W foram similares, apesar do maior crescimento radial em +K–W, o que parece indicar algum tipo de restrição hídrica no tratamento com fertilização como observado pelo armazenamento de água no solo.

Tabela 1 – Circunferência à altura do peito (CAP); Altura das árvores (Ht); Biomassa foliar (Bf) e CO<sub>2</sub> assimilado pelas copas (A). Os valores médios e erros padrão (n=3) são apresentados em negrito e na linha superior os valores obtidos para cada árvore marcada. Os efeitos da fertilização (Fert.: +K e -K) e Chuva (+W e -W), além da sua interação (valores p) foram testados utilizando-se o teste não paramétrico baseado na análise de variância (\* indicam diferenças significativas).

Fert.	Chuva	CAP (cm)	Ht (m)	Br(kg)	A (mmol CO <sub>2</sub> s <sup>-1</sup> )
K	+W	30.2-31.8- 28.3 <b>30.1 ± 1.0</b>	13.3 - 13.7 - 12.8 <b>13.3 ± 0.3</b>	8.9 - 9.4 - 8.1 <b>8.8 ± 0.4</b>	0.24 – 0.24 – 0.17 <b>0.22 ± 0.02</b>
K	-W	26.5–28.0-27.4 <b>27.3 ± 0.4</b>	12.6 - 12.6 - 12.5 <b>12.6 ± 0.0</b>	5.8 - 6.6 – 6.1 <b>6.2 ± 0.2</b>	0.18 – 0.20 – 0.20 <b>0.19 ± 0.01</b>
K	+W	21.1-22.2- 20.5 <b>21.3 ± 0.5</b>	9.3 - 9.8 - 9.6 <b>9.6 ± 0.1</b>	5.7 – 6.6 – 5.3 <b>5.9 ± 0.4</b>	0.10 – 0.15 – 0.08 <b>0.11 ± 0.02</b>
K	-W	19.1-19.8- 19.4 <b>19.4 ± 0.2</b>	9.6 - 10.0 - 9.6 <b>9.7 ± 0.1</b>	3.0 – 2.5 - 4.0 <b>3.2 ± 0.4</b>	0.10 – 0.09 – 0.09 <b>0.09 ± 0.00</b>
<i>Fert.</i>		0.004*	0.004*	0.02*	0.004*
<i>Chuva</i>		0.15	0.63	0.05*	0.63
<i>Fert. x Chuva</i>		1	0.34	1	1

A diferença na quantidade de água armazenada no solo entre os tratamentos +K e –K relacionou-se claramente com as diferenças na transpiração das árvores, enquanto que a menor disponibilidade hídrica no tratamento –W explicaria os menores valores de transpiração na condição de exclusão de chuva, a alta transpiração e menor disponibilidade hídrica também explicariam os baixos valores dos potenciais de base ( $\Psi_p$ ) e ao meio dia ( $\Psi_m$ ), observados neste tratamento.

O excesso de  $^{13}\text{C}$  para a copa foi calculado para cada árvore como a média ponderada do excesso nas folhas coletadas na parte superior, média e inferior das copas, conhecendo-se a distribuição da biomassa foliar entre estes três compartimentos. As séries temporais dos valores do excesso de  $^{13}\text{C}$  observados após a marcação foram descritas ajustando-se modelos de decaimento exponencial

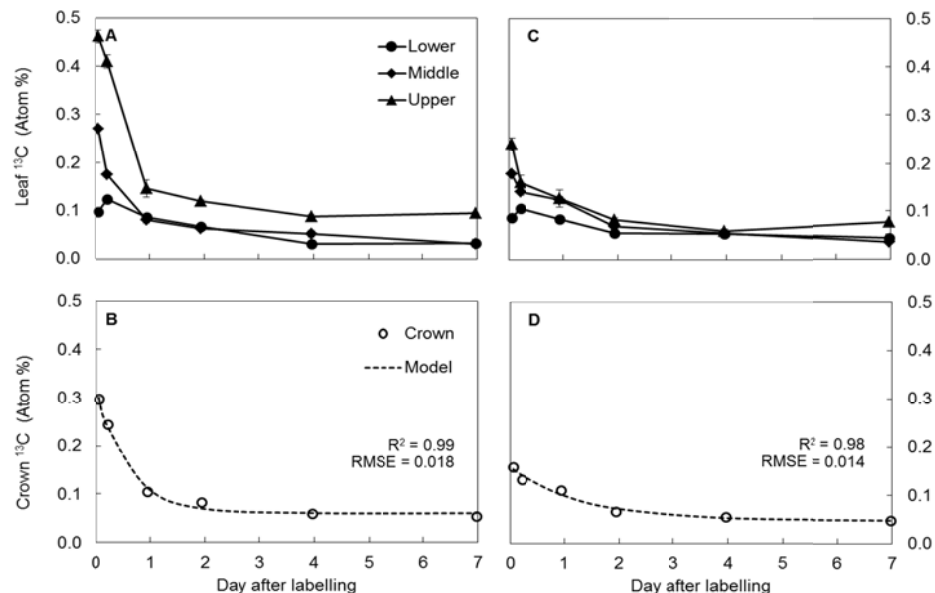


Figura 1- Séries temporais típicas do Excesso de  $^{13}\text{C}$  nas folhas após a marcação em maio de 2012 no tratamento +K+W (A e B) ou -K-W em agosto de 2012 (C e D). Painéis A e C representam as folhas coletadas no terço inferior da copa (círculos), intermediário (diamantes) e superior (triângulos). Painéis inferiores (B e D): os círculos representam os valores obtidos do Excesso de  $^{13}\text{C}$  nas copas e as curvas tracejadas foram ajustadas (Model) assumindo-se que a cinética do traçador seja adequadamente representada por processos de primeira ordem (Figura 1).

A dinâmica do Excesso de  $^{13}\text{C}$  nas folhas revelou a existência de dois reservatórios de  $^{13}\text{C}$  na copa: um reservatório estável ( $C_S$ ) que não foi afetado pelo tratamento e um reservatório lábil ( $C_L$ ) que respondeu à fertilização, decrescendo rapidamente no tempo (Figura 1) e com o tempo médio de residência ( $\tau$ ) apresentando uma grande variação não correlacionada com o tratamento. A soma destes dois compartimentos representa o total inicial de Excesso de  $^{13}\text{C}$  na copa ( $C_T = C_L + C_S$ ).

A quantidade de  $^{13}\text{C}$  absorvida pela copa foi estimada multiplicando-se  $C_T$  pelo conteúdo de carbono e biomassa foliar assumindo-se que as perdas respiratórias bem como a transferência para outros compartimentos da árvore tenham sido desprezíveis. Esta quantidade variou entre 2,1 e 12,9 g em função das árvores que apresentaram efeitos de fertilização, e também apresentou uma correlação óbvia com biomassa

foliar ( $R^2=0,80$ ) e a fotossíntese do dossel. As diferenças observadas decorreram principalmente das diferenças com relação ao tamanho das copas entre árvores (tratamentos). A dinâmica temporal do Excesso de  $^{13}\text{C}$  recuperado no floema não apresentou grandes diferenças entre os tratamentos e o principal resultado, além da diferença na defasagem temporal, foi o menor valor no Excesso de  $^{13}\text{C}$  observado na base dos troncos, sugerindo que uma grande parte da sucrose marcada tenha sido alocada no crescimento do fuste e respiração.

A quantidade de  $^{13}\text{C}$  encontrada nas raízes foi aproximadamente 3 vezes maior nos tratamentos com adubação potássica do que nos tratamentos com deficiência em K, e os maiores reservatórios foram as raízes finas e grossas em todos os tratamentos. A hipótese de que a exclusão de chuva aumentaria a quantidade de  $^{13}\text{C}$  alocada nas raízes finas não foi verificada. Contudo não podemos excluir a possibilidade da subestimativa da quantidade de  $^{13}\text{C}$  nas raízes finas, no caso de ter ocorrido alocação preferencial do  $^{13}\text{C}$  nas raízes profundas durante a época seca, pois medimos as concentrações de  $^{13}\text{C}$  em raízes superficiais das árvores marcadas. A relação entre seca e alocação de C nas raízes profundas mereceria outro estudo. O papel fundamental das raízes profundas para o crescimento e a sobrevivência das árvores durante secas prolongadas em solos tropicais é conhecido, mas os processos do funcionamento das raízes profundas foram muito pouco estudados (Laclau et al. 2013).

## **Impactos**

### **Econômicos**

Embora a fertilização potássica tenha contribuído para a melhoria do comportamento estomático sob as condições de estresse hídrico, o maior crescimento das plantas aumentou significativamente a deficiência hídrica durante o período seco. Logo, os regimes de fertilização devem ser revistos no contexto das mudanças climáticas para que o crescimento dos plantios racionais ocorra em segurança.

## **Referências**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS.  
**ABRAF Statistical Yearbook:** base year 2010. Brasília, DF, 2011. 127 p.

CABRAL, O. M. R.; ROCHA, H. R.; GASH, J. H. C.; LIGO, M. A. V.; FREITAS, H. C.; TATSCH, J. D. The energy and water balance of a Eucalyptus plantation in southeast Brazil. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 388, n. 3-4, p. 208-216, 2010.

CAMPOE, O. C.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; MARSDEN, C.; NOUVELLON, Y. Stand-level patterns of carbon partitioning and light use efficiency of *Eucalyptus grandis* across a gradient of productivity in São Paulo State, Brazil. **Tree Physiology**, Victoria, v. 32, p. 696–706, 2012.

EPRON, D.; BAHN, M.; DERRIEN, D.; LATTANZI, F. A.; PUMPANEN, J.; GESSLER, A.; HÖGBERG, P.; MAILLARD, P.; DANNOURA, M.; GERANT, D.; BUCHMANN, N. Pulse-labelling trees to study carbon allocation dynamics: a review of methods, current knowledge and future prospects. **Tree Physiology**, Victoria, v. 32, p. 776–798, 2012a.

EPRON, D.; LACLAU, J.-P.; ALMEIDA, J. C. R.; GONÇALVES, J. L. M.; PONTON, S.; SETTE JUNIOR, C. R.; DELGADO-ROJAS, J. S.; BOUILLET, J.-P.; NOUVELLON, Y. Do changes in carbon allocation account for the growth response to potassium and sodium applications in tropical Eucalyptus plantations? **Tree Physiology**, Victoria, v. 32, p. 667-679, 2012b.

FAO. **Current world fertilizer trends and outlook to 2012**. Rome, 2008. 34 p.

GIACOMELLI, V. S. **Análise bioeconômica do sequestro de carbono e da dívida ecológica: uma aplicação ao caso do Rio Grande do Sul**. 2007. 456 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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.

GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestières**, Paris, v. 42, p. 81-88, 1985.

LACLAU, J.-P.; SILVA, E. A.; LAMBAIS, G.; BERNOUX, M.; LE MAIRE, G.; STAPE, J. L.; BOUILLET, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m in Eucalyptus grandis plantations. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 4, p. 243, 2013.

MILLARD, P.; GRELET, G. A. Nitrogen storage and remobilization by trees: ecophysiological relevance in a changing world. **Tree Physiology**, Victoria, v. 30, p. 1083–1095, 2010.

O'GRADY, A. P.; MITCHELL; P. J. M.; PINKARD, E. A.; TISSUE, D. T. Thirsty roots and hungry leaves: unravelling the roles of carbon and water dynamics in tree mortality. **New Phytologist**, Oxford, v. 200, p. 294-297, 2013.

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, p. 17-31, 2004.