



Respostas da respiração do solo em plantios florestais submetidos a diferentes manejos silviculturais e gradientes de temperatura

Fernanda Leite Cunha¹
Cléber Rodrigo de Souza¹
Anny Francielly Ataíde Gonçalves¹
Josiana Jussara Nazaré Basílio¹
Lavínia Barbosa Oliveira¹
Otávio Camargo Campoe¹

¹Universidade Federal de Lavras (fernandaleitecunha@gmail.com, crdesouza@hotmail.com,
annyfrancielly@gmail.com, josianajussara@gmail.com, lavinia.oliveira@estudante.ufla.br,
otavio.campoe@ufla.br)

RESUMO: *Medições da respiração do solo (Rs) em plantios florestais são necessárias para melhorar nossa compreensão do balanço líquido de carbono do ecossistema e para prever a contribuição do solo na emissão de carbono para atmosfera. Este trabalho tem o objetivo de modelar o efluxo do solo (Fs) em florestas de Eucalipto e Pinus no Brasil. Foram coletados 223 pontos amostrais de Fs, em nove sítios de Pinus e Eucalipto, em diferentes manejos silviculturais, condições climáticas e idades. Para avaliar a influências das variáveis no Fs foram utilizados modelos lineares generalizados mistos (GLMM). Houve interação entre os grupos dos gêneros, com as idades, em que o Eucalipto apresentou menores Fs sem variações com a idade, enquanto que o Pinus apresentou o maior fluxo com o aumento da idade. Entendeu-se que a principal variável que interferiu na Fs é o teor de C no solo, que é superior no plantio de pinus, por estar concentrado na região sul do país. Dessa forma, os solos sob plantios de Pinus contribuem mais com a emissão de CO₂ para a atmosfera que os plantios de Eucalipto.*

Palavras-chave: fluxo de CO₂, balanço de carbono, eucalipto, pinus

Introdução

Segundo Ballantyne et al. (2015), o fluxo de CO₂ do solo (Fs) pode ser considerado o segundo maior fluxo de carbono entre o ecossistema terrestre e a atmosfera, com média de 75 a 100 Pg C anualmente, o que supera a emissão de carbono através de combustíveis fósseis. Dessa forma, o Fs é crucial para o ciclo global de C e uma pequena mudança pode impactar significativamente a concentração atmosférica de CO₂ com feedbacks positivos ou negativos para a mudanças climáticas (Cheng et al., 2014).

Os valores de Fs estão relacionados à respiração das raízes e à decomposição da matéria orgânica do solo; e diferentes fatores podem alterar sua dinâmica (Cheng et al., 2014). As práticas silviculturais de uma floresta podem afetar o Fs a curto prazo; e o teor de carbono do solo a longo prazo, por meio de respostas fisiológicas e de crescimento para as árvores e mudanças microclimáticas dentro do plantio (Selig et al, 2008). Assim como as condições climáticas, as quais são os fatores abióticos mais importantes que influenciam a variação temporal no Fs (Sierra et al.,



2015).

Compreender o Fs de florestas plantadas altamente produtivas no Brasil é fundamental, pois elas ocupam cerca de 9,93 milhões de hectares plantados e são as florestas plantadas mais produtivas do mundo (IBÁ, 2022). Dessa forma, compreender a influência das condições climáticas e das atividades silviculturais praticadas no país no Fs é crucial para o planejamento e gerenciamento do fluxo global de carbono em plantios de eucalipto e pinus no Brasil. Sendo assim, os objetivos do trabalho foram analisar a influência das variáveis climáticas e o manejo silvicultural no Fs do solo.

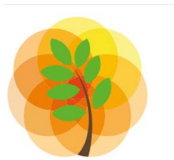
Material e métodos

O estudo compilou um banco de dados que consiste no balanço de carbono de cinco experimentos independentes conduzidos em nove locais diferentes, em diferentes gradientes climáticos no Brasil. Cada experimento teve um tratamento silvicultural específico, como densidade e heterogeneidade de plantas e regimes de adubação e disponibilidade hídrica, (detalhes podem ser encontrados nas referências da Tabela 1). Os balanços de carbono abrangem 11 espécies ou genótipos diferentes do gênero *Eucalyptus* e sete do gênero *Pinus*. A idade do eucalipto variou de 13 a 75 meses. Para as espécies de pinus, a idade variou de 77 a 105 meses.

Tabela 1: Características climáticas e localização dos experimentos utilizados no estudo.

G	Cidade	Lat, Long	T (°C)	P (mm)	Id (mês)	Cs (g C m ²)	Fe	DA	E	Un	Ref.
E	Urbano Santos, MA	-3,4, -43,1	27,3	1461	22-36	4421,9	F	NI, EC	3x3	U	Campoe et al.(2020)
E	Eunápolis, BA	-16,4, -39,6	23,2	1100	13-60	6671,8	F, SF	NI, I	3x3	U, H	Ryan et al. (2010)
E	Bocaiúva-MG	-17,3, -43,8	22,4	713	22-33	15034,0	F	NI, EC	3x3	U	Campoe et al. (2020)
E	Aracruz, ES	-19,4, -39,4	23,4	1140	13-57	7210,8	F, SF	NI, I	3x3	U, H	Ryan et al. (2010)
E	Mogi Guaçu, SP	-22,4, -47,0	23,3	1097	20-31	13302,7	F	NI, EC	3x3	U	Campoe et al. (2020)
E	Telêmaco Borba, PR	-24,2, -50,5	19,6	1492	20-31	15603,3	F	NI, EC	3x3	U	Campoe et al. (2020)
E	Otacílio Costa, SC	-27,5, -50,1	17,0	1520	63-75	13566,6	F	NI, EC	3x3	U	Não publicado
P	Itatinga, SP	-23,1, -48,6	19,4	1319	77- 101	12909,0	F, NF	NI, I	3x2	U	Deliberali (2014)
P	Rio Negrinho, PR	-26,3, -49,8	18,3	1572	89- 115	13050,2	F	NI	2,4x6,8/ 2,4x2,2	U	Hincapie (2020)

Em que: G:gênero (E: *Eucalyptus*; P: *Pinus*); Lat: latitude (sul) e longitude (oeste); T: temperatura média; P: precipitação; Id: idade do plantio em meses; Cs: carbono no solo; Fe: Fertilização do plantio; F: Fertilizado; SF: super fertilizado; NF: não fertilizado; DA: Disponibilidade de água; NI: não irrigado; I: irrigado; EC: exclusão da chuva; E: espaçamento; Un: uniformidade do plantio; U:uniforme; H: heterogêneo.



Foram agrupados cerca de 223 dados amostrados de Fs, os quais foram medidos em intervalos de 2 a 4 semanas durante o período de monitoramento de cada projeto, o mínimo de pontos amostrais utilizados nas parcelas foi de 2 e o máximo foi de 18, em que para cada ponto foram utilizadas três repetições. Para a realização das medições, o equipamento de leitura do fluxo de CO₂ era acoplado a anéis de PVC posicionados na camada de serapilheira e inseridos no solo até aproximadamente 5 cm de profundidade para assegurar estabilidade e evitar difusão lateral do CO₂. Os anéis foram instalados no campo antes do início das medições e mantidos nas mesmas posições ao longo do período de avaliação. As medições eram realizadas sempre no período da manhã, entre 8 e 11 horas, mais detalhes sobre as mensurações e os equipamentos utilizados podem ser encontrados nas referências da Tabela 1.

Os dados meteorológicos foram obtidos de estações meteorológicas automáticas localizadas próximas aos experimentos (aproximadamente 500 metros).

Para analisar os dados, inicialmente, foram analisados os efeitos do grupo funcional (GF), eucalipto vs, pinus, idade (Id), temperatura média, precipitação total, umidade relativa, e o efeito dos tratamentos silviculturais, os quais foram analisados em conjunto para não afetar a qualidade do modelo espaçamento e uniformidade (EU) e fertilização e disponibilidade de água (FDA) e C no solo (Csolo) usando modelos lineares generalizados mistos (GLMM), Primeiro, foi construído um modelo global na forma: $Y \sim GF * (Id) + Id + GF + T + P + UR + FDA + EU + Csolo + (1|sitio)$, com todas as variáveis contínuas interagindo com a variável categórica (GF, FDA e EU). Foi incluído "sitio" como variável aleatória para controlar a dependência entre as medições de curva realizadas no mesmo experimento e no mesmo local de coleta. A partir desse modelo global, obtivemos todos os submodelos com combinações de variáveis não correlacionadas ($r < |0,6|$) usando a função dredge do pacote MuMIN, A seleção dos melhores modelos foi feita utilizando a medida de AIC, conforme Arcanjo (2022).

Resultados e Discussão

Foram encontradas diferenças significativas entre os grupos funcionais de pinus e eucalipto e suas diferentes idades (Figura 1A). Para o eucalipto foram observados valores menores de Fs, contudo, não foram encontradas diferenças significativas dos valores entre as idades estudadas. Já para o pinus, além dos maiores valores de Fs, foi observado um aumento dos valores de Fs nas idades superiores. Segundo Chenf et al. (2014), fatores como temperatura e água no solo, raízes finas, atividade microbiana e as propriedades físicas e químicas do solo, podem afetar a Rs, contudo, os maiores valores encontrados para o pinus, podem estar relacionados ao maior teor de carbono nos



sítios em que o gênero se encontra, conforme observado na Tabela 1. Na Figura 1B, é possível observar que o carbono do solo possui correlação linear positiva com a R_s , de forma que quanto maior a média observada, maior é a R_s .

Das variáveis climáticas, apenas a temperatura apresentou interação negativa com o F_s (Figura 1C). Esse resultado, mais uma vez pode estar relacionado com o carbono do solo, locais mais quentes apresentam solos mais intemperizados corroborando com as médias de carbono no solo encontradas nos sítios (Tabela 1). Ademais, apesar de não avaliado, uma segunda hipótese que poderia explicar o resultado, seria a biomassa de raízes (Li et al., 2020). O aumento da temperatura reduz a fotossíntese das plantas, o que acarreta em menores fluxos para todos os particionamentos da planta, inclusive o sistema radicular, o que acarreta em menor respiração das raízes e consequentemente R_s (Campoe et al., 2020).

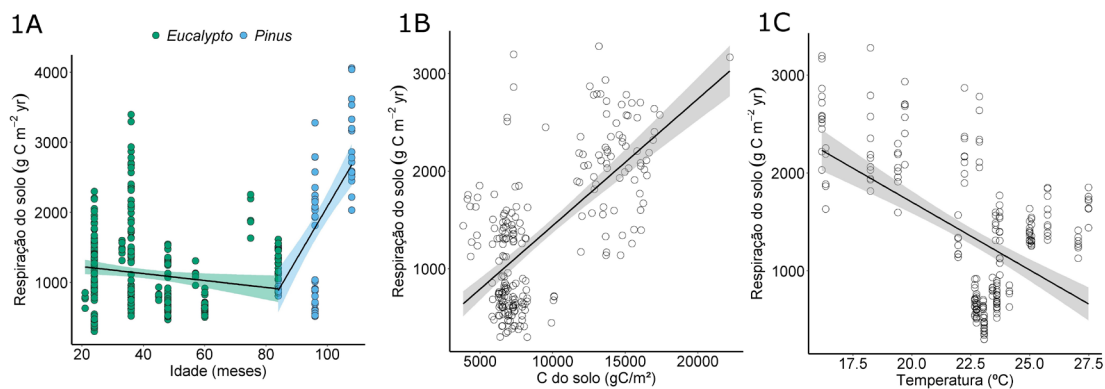
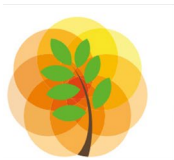


Figura 1: Relação da interação idade e gênero de estudo com o F_s (A), e da temperatura com o F_s (B).

Esse é o primeiro estudo integrativo de F_s em diferentes condições climáticas sob diferentes regimes silviculturais em plantios produtivos de eucalipto e pinus no Brasil. Embora o pequeno número de estudos do F_s em plantios de pinus possa ter limitado o poder estatístico desta análise, os resultados sugerem que o F_s em plantios de pinus é superior aos plantios de eucalipto, e aumenta com a idade. Esse resultado está relacionado ao teor de carbono no solo, que é superior nos plantios de pinus estudado, e nos sítios com idades mais avançadas. Os plantios de pinus no Brasil são concentrados na região sul, onde os solos são menos intemperizados, devido as baixas temperaturas. Ou seja, plantios de pinus nessas regiões, provavelmente, contribuem mais para emissão de CO_2 do solo para a atmosfera.



Conclusão

Os plantios de pinus apresentam Fs superior do que em plantios de eucalipto, e que as principais variáveis que afetam o Fs é a temperatura e o carbono do solo.

Referências bibliográficas

BALLANTYNE, A. et al. Audit of the global carbon budget: estimate errors and their impact on uptake uncertainty. *Biogeosciences* v.12, p.2565–2584, 2015.

CAMPOE, O. C.; ALVARES, C. A.; CARNEIRO, R. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; HUBBARD, R. M.; STAHL, J.; MOREIRA, G.; MORAES, L. F.; STAPE, J. L. Climate and genotype influences on carbon fluxes and partitioning in *Eucalyptus* plantations. *Forest Ecology and Management*, v. 475, p. 118445, 2020.

CHENG, X. et al. Short-term effects of thinning on soil respiration in a pine (*Pinus tabulaeformis*) plantation *Biol. Fertil. Soils*, v. 50, 2014.

Ibá [Indústria Brasileira de Árvores] Histórico do Desempenho do Setor, 2022. Disponível em :<<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>>. Acesso em Mar/2023.

DELIBERALI, I. Captura e alocação de carbono em *Pinus taeda* e *Pinus caribaea* var. hondurensis sob manejos hídricos e nutricionais distintos. 2015. 108 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

HINCAPIE, G. R. Fluxos e alocação de carbono de cinco genótipos de *Pinus taeda* com diferentes ideótipos de copa. 2020. 88p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020.

LI, J. et al. Root effects on the temperature sensitivity of soil respiration depend on climatic condition and ecosystem type. *Soil & Tillage Research* v. 199, 104574, 2020.

RYAN, M. G. et al. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. *For. Ecol. Manage.* 259, 1695–1703, 2010.

SELIG, M. F.; SEILER, J.R.; TYREE, M.C. Soil carbon and CO₂ efflux influenced the thinning of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations in Virginia's Piedmont. *Floresta Sci*, v.54, p.58–66, 2008.

SANTOS, J. A. Fisiologia de florestas plantadas no brasil: efeitos climáticos e genéticos. 101 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2022.

SIERRA C.A.; TRUMBORE, S.E.; DAVIDSON, E.A.; VICCA, S.; JANSSENS, I. Sensitivity of decomposition rates of soil organic matter with respect to simultaneous changes in temperature and moisture. *J Adv Model Earth Syst.* v. 7, p.335–356., 2015.

