

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

FERNANDA SABRINA ABREU

**TAXAS DE FLUXO DE CO<sub>2</sub> DO SOLO DE DIFERENTES CLONES DE *Eucalyptus*  
*spp.* SOB DOIS NÍVEIS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA E SUA RELAÇÃO COM  
A PRODUTIVIDADE, NO MUNICÍPIO DE OTACÍLIO COSTA - SC**

Curitibanos

2017

FERNANDA SABRINA ABREU

**TAXAS DE FLUXO DE CO<sub>2</sub> DO SOLO DE DIFERENTES CLONES DE *Eucalyptus*  
*spp.* SOB DOIS NÍVEIS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA E SUA RELAÇÃO COM  
A PRODUTIVIDADE, NO MUNICÍPIO DE OTACÍLIO COSTA - SC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Otávio C. Campoe

Curitibanos

2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Abreu, Fernanda Sabrina  
Taxas de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo de diferentes clones de  
Eucalyptus spp. sob dois níveis de disponibilidade hídrica e  
sua relação com a produtividade, no município de Otacílio  
Costa - SC / Fernanda Sabrina Abreu ; orientador, Otávio  
Camargo Campoe, 2017.  
39 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,  
Curitibanos, 2017.

Inclui referências.

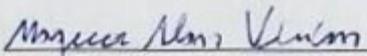
1. Engenharia Florestal. 2. Respiração do solo. 3.  
Umidade do solo. 4. Exclusão de chuva. 5. Temperatura. I.  
Campoe, Otávio Camargo. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Fernanda Sabrina Abreu

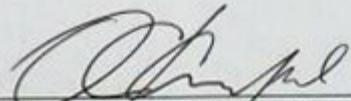
**TAXAS DE FLUXO DE CO<sub>2</sub> DO SOLO DE DIFERENTES CLONES  
DE *Eucalyptus spp.* SOB DOIS NÍVEIS DE DISPONIBILIDADE  
HÍDRICA E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE, NO  
MUNICÍPIO DE OTACÍLIO COSTA - SC**

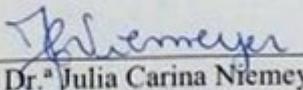
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Florestal e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal.

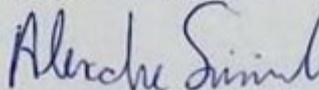
Curitiba, 04 de Julho de 2017.

  
Prof. Dr. Magnos Alan Vivian  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Dr. Otávio Camargo Campoe  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof.ª Dr.ª Julia Carina Niemeyer  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Dr. Alexandre Siminski  
Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

A todos os professores e colaboradores da Universidade Federal de Santa Catarina, especialmente aos docentes do curso de Engenharia Florestal.

Ao meu orientador, Professor Otávio C. Campoe, toda sua ajuda, conhecimento e experiência foram fundamentais para o sucesso desse trabalho. Obrigada pela confiança e oportunidade de trabalharmos juntos. Fica aqui a minha admiração pelo grande profissional que é.

A equipe de pesquisa da Klabin, especialmente ao Srs. James Stahl, Bruno Magro e ao Elson de Souza pelo auxílio em todas as avaliações de campo.

Ao Clayton Alvares do IPEF por ceder os dados climáticos históricos para a realização desse trabalho.

Ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF pela bolsa de estágio.

A minha família, especialmente meus pais, Sirlei e Osni Abreu por não me deixarem desistir, sempre apoiando com mensagens de carinho e amor, nunca medindo esforços para que eu chegasse a essa conquista. Mãe, sem seus colos e abraços eu não teria conseguido.

Ao meu namorado Eduardo por confiar no meu potencial. Obrigada por todo carinho e amor a mim dados.

Aos grandes amigos que fiz durante a graduação, vocês tiveram uma participação especial nessa conquista.

Aos colegas de viagens diárias de Frei Rogério a Curitiba, companheiros de longas esperas, obrigada pelas boas risadas dadas nesse período.

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar as taxas de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo em plantios de *Eucalyptus*, em duas disponibilidades hídricas distintas e sua relação com a produtividade. O experimento foi conduzido na empresa Klabin em Otacílio Costa em parceria com o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF, com o programa cooperativo TECHS – Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídrico, Térmico e Biótico. O sítio apresenta 12 genótipos de diferentes espécies do gênero *Eucalyptus*, com aproximadamente 5 anos de idade, sendo que cada material genético possui duas parcelas. Nesse estudo foram utilizadas 8 parcelas. Para a manipulação da disponibilidade hídrica foi utilizada a técnica da “exclusão de chuva” em três parcelas estudadas, onde a água da chuva que chega ao solo é de 70% da precipitação total. As medições dendrométricas foram realizadas com clinômetro e fita diamétrica. Calculou-se o volume e a produtividade de cada parcela utilizando equações de volume desenvolvida por Mattos (2015), específicas para cada clone estudado. O incremento médio anual (IMA) foi calculado pela divisão entre o volume de madeira por hectare dividido pela idade. As medições de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo foram realizadas com o equipamento Li-8100 (LI-COR, Lincoln, NE, EUA) uma vez por mês durante os meses de março, abril e junho de 2017, em 9 pontos amostrais por parcela. Foram utilizados dados de temperatura e precipitação mensais históricos da região fornecidos pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Os resultados obtidos indicaram que não há déficit hídrico na região, sendo que a temperatura apresenta maior influência sobre os clones. Na média geral, os clones sem exclusão de chuva apresentaram um maior volume de madeira (174 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), cerca de 7% acima das parcelas com exclusão (162 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). O IMA médio obteve uma variação de 45,5% do clone com melhor desempenho para o de menor desempenho. A taxa de respiração do solo entre os clones com e sem exclusão de chuva foram similares. No que diz respeito aos meses de medição, a respiração do solo apresentou uma queda gradativa, com uma diferença de 54,6% entre as médias. As posições em que a respiração foi medida obtiveram resultados distintos, sendo que os valores aumentaram com a proximidade das árvores. A respiração do solo apresentou queda gradativa com o aumento do IMA. Tais resultados sugerem que quanto maior é o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, resultante da atividade de raízes, menor é o investimento na produtividade primária líquida acima do solo.

**Palavras chave:** Respiração do solo. Umidade do solo. Exclusão de chuva. Temperatura.

## ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the soil CO<sub>2</sub> efflux in contrasting *Eucalyptus* clones, under two different water availability and its relation with productivity. The experiment was conducted at the Klabin company at Otacílio Costa in partnership with the Forestry Science and Research Institute- IPEF, with the cooperative program TECHS - Tolerance of Eucalyptus Clones to Hydric, Thermal and Biotic Stresses. The site has 12 different clones of the Eucalyptus genus, approximately 5 years old, with each genetic material having two plots. In this study, 8 plots were used. For the manipulation of water availability, the technique of "rain exclusion" was used in three plots studied, where rainwater reaches only 70% of the total precipitation to the soil. The dendrometric measurements were performed with clinometer and diametric tape. The volume and yield of each plot were calculated using volume equations developed by Mattos (2015), specific for each clone studied. The mean annual increment(MAI) was calculated by dividing the volume of wood per hectare divided by age. Measurements of soil CO<sub>2</sub> efflux were performed with the Li-8100 equipment (LI-COR, Lincoln, NE, USA) once a month during the months of March, April, and June 2017 at 9 sampling points per plot. Were used the historical monthly temperature and precipitation data from the region provided by INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. The results indicated that there is no water deficit in the region, and the temperature has a greater impact on the clones productivity. The overall average clones without rain exclusion presented a higher volume of wood (174 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), about 7% above the rain excluded plots (162 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). The average MAI obtained a variation of 45.5% of the clone with better performance for the one of lower performance. The efflux rate among clones with and without rain exclusion were similar. Regarding the months of measurement, soil respiration presented a gradual decrease, with a difference of 54.6% among the means. The positions in which the respiration was measured obtained different results, with values increasing on measurements closer to the trees.. The soil efflux showed a gradual decrease with the increase of the MAI. These results suggest that the increase in efflux, due to root activity, decreases partitioning to stemwood productivity.

**Key words:** Soil respiration. Soil moisture. Rain exclusion. Temperature.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Sítios experimentais do TECHS no Brasil e Uruguai, evidenciando a localização da área experimental com um círculo.....	20
<b>Figura 2</b> – Sítio 23 KLO. O estudo foi realizado nas parcelas marcadas em vermelho, no Ensaio Clonal.....	22
<b>Figura 3</b> – Parcela experimental com o sistema de exclusão de chuva (a); parcela sem o sistema de exclusão de chuva (b). .....	24
<b>Figura 4</b> – Posição dos anéis nas parcelas.....	25
<b>Figura 5</b> – Posição dos pontos de amostragem em relação às árvores. ....	26
<b>Figura 6</b> – Equipamento de medição de fluxo de CO <sub>2</sub> do solo Li-8100, LI-COR. ....	26
<b>Figura 7</b> – Dados médios históricos (1960 a 1990) de temperatura (linha contínua) e precipitação (barras) de Otacílio Costa, SC.....	27
<b>Figura 8</b> – Volume de madeira dos aos quatro anos de idade. Os clones com o sufixo “ex” apresentam sistema de exclusão de chuva.....	28
<b>Figura 9</b> – Relação dos clones com o Incremento Médio Anual (IMA). Os clones com o sufixo “ex” apresentam sistema de exclusão de chuva.....	30
<b>Figura 10</b> – Relação dos clones com as médias de fluxo de CO <sub>2</sub> do solo de três meses. ....	31
<b>Figura 11</b> – Fluxo de CO <sub>2</sub> do solo dos clones durante os três meses avaliados. As cores representam os meses: azul = Março; vermelho = Abril; verde = Junho. ....	32
<b>Figura 12</b> – Relação dos clones com as médias de fluxo de CO <sub>2</sub> do solo em três posições diferentes. Posição 1 (próximo a árvore) em azul. Posição 2 (intermediária) em vermelho. Posição 3 (no meio da entrelinha de plantio) em verde.....	33
<b>Figura 13</b> – Relação da respiração do solo com o incremento médio anual. ....	34

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Clones implantados.....	27
---	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
3.1	PLANTIOS DE <i>Eucalyptus spp</i> .....	14
3.2	CICLO GLOBAL DO CARBONO .....	15
3.3	CARBONO NO SOLO .....	16
3.4	FLUXO DE CARBONO E RESPIRAÇÃO DO SOLO .....	17
3.5	TEMPERATURA E ÁGUA NO SOLO .....	18
3.6	METODOLOGIAS DE MEDIDA DO FLUXO DE CO <sub>2</sub> DO SOLO .....	19
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>20</b>
4.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	20
4.2	DESCRIÇÃO DOS CLONES ESTUDADOS .....	22
4.3	SISTEMA DE EXCLUSÃO DE CHUVA .....	23
4.4	MEDIÇÕES DENDROMÉTRICAS .....	24
4.5	MEDIÇÕES DE FLUXO DE CO <sub>2</sub> DO SOLO .....	24
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>27</b>
5.1	DADOS DE CLIMA .....	27
5.2	PRODUTIVIDADE DE MADEIRA .....	28
5.3	EMISSÃO DE CO <sub>2</sub> DO SOLO .....	30
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As concentrações dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{NO}_x$ ), tem aumentado rapidamente nos últimos anos após a revolução industrial. A concentração média de  $\text{CO}_2$  aumentou de 280 ppm em meados do século XIX para 400 ppm em março de 2015. Este fato é atribuído principalmente às atividades humanas, como o uso de combustíveis fósseis, a industrialização, mudanças no uso da terra e a agricultura (IPCC, 2007; NOAA, 2015).

Devido a esse aumento das concentrações dos GEE na atmosfera, as medidas do fluxo de  $\text{CO}_2$  na biosfera são de grande importância para uma melhor compreensão das mudanças climáticas decorrentes desse processo (DIXON et al., 1994).

As áreas florestais têm papel relevante no ciclo global de carbono (BONAN, 2008). Segundo Cerri et al. (2001) o C estocado em ecossistemas tropicais, abrangendo o solo e a vegetação, representa cerca de 20 a 25 % do C terrestre mundial.

A Indústria Brasileira de Árvores (2016) estima que os 7,8 milhões de hectares de área de plantio florestais no Brasil estocam aproximadamente 1,7 bilhão de toneladas de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ) – medida métrica utilizada para comparar as emissões dos vários gases de efeito estufa, baseada no potencial de aquecimento global de cada um.

O gênero *Eucalyptus* corresponde a maior área plantada no Brasil, com 5,6 milhões de hectares (IBÁ, 2016). Isso se deve pelo fato de conter uma grande variedade de espécies em relação à adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (EMBRAPA, 2000). Segundo Ryan et al. (2010), as plantações florestais de eucalipto durante a fase de crescimento podem fixar entre 100 e 400  $\text{t há}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ .

A retirada do carbono da atmosfera pelos tecidos vegetais se dá pela fotossíntese, absorvendo anualmente cerca de 120 PgC de carbono na forma de  $\text{CO}_2$ , sendo que 60 PgC retornam para a atmosfera como respiração dos tecidos vivos durante a noite (SCHLESINGER, 1997).

O grau de atividade vegetal depende da luminosidade, da temperatura, umidade e outras variáveis. As estações do ano demonstram bem isso. Na primavera e no verão, os climas mais quentes são mais favoráveis à produção vegetal, ocorrendo uma maior absorção de  $\text{CO}_2$ ; já no outono, com a morte dos vegetais e a decomposição da matéria orgânica na superfície do solo pelo ataque de bactérias, existe maior liberação de  $\text{CO}_2$ . Em resumo, a fotossíntese e a respiração tanto dos vegetais como dos microrganismos presentes nos solos e

das raízes é que são os dois processos principais pelos quais passam os fluxos de carbono entre atmosfera e a biosfera (PACHECO, et al., 1990).

O solo recebe matéria orgânica produzida pela comunidade das plantas acima dele. A oxidação dessa matéria orgânica realizada pelos microrganismos mais a respiração das raízes constituem a respiração do solo. Através da respiração, ocorre a liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (COELHO, 2005).

São poucos ainda os estudos que analisam a liberação do CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera, sendo necessário mais trabalhos a cerca do assunto para uma melhor compreensão de como ocorre esse processo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as taxas de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo em plantios de *Eucalyptus*, sob dois níveis de disponibilidade hídrica, e sua relação com a produtividade de madeira, no município de Otacílio Costa - SC .

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar se há diferença no fluxo de CO<sub>2</sub> do solo para diferentes clones de *Eucalyptus*;
- Avaliar a variação do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo ao longo dos meses de março, abril, e junho;
- Avaliar se há diferença de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo nos plantios submetidos a dois níveis de disponibilidade hídrica;
- Avaliar se há relação entre o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo e a produtividade dos diferentes clones.

### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 PLANTIOS DE *Eucalyptus* spp.

A cadeia florestal tem sido impulsionada nos últimos anos pela grande demanda da madeira e seus derivados, havendo cada vez mais a necessidade de aperfeiçoar as estratégias de manejo e novas tecnologias no cultivo de árvores para obtenção de maior produtividade para atender as expectativas do mercado (BATISTA, 2014).

A área plantada no mundo com diferentes espécies florestais ocupa 264,1 milhões de hectares, que vem crescendo a uma taxa de 2% ao ano. As Américas do Norte e do Sul se destacam com as maiores taxas de crescimento, sendo que o Brasil, em 2010, respondia por cerca de 52% da área plantada na América do Sul (ACR, 2014). Atualmente, o país possui a 7,8 milhões de hectares com plantios florestais de rápido crescimento (IBÁ, 2016).

Desse total no Brasil, 5,6 milhões de hectares são plantados com *Eucalyptus* spp., 1,6 milhão de hectares com *Pinus* spp. e 521 mil com outras espécies florestais comerciais, sendo que o *Eucalyptus* tende a um aumento de área plantada de 6% ao ano, fato justificado pela grande procura dessa madeira para múltiplos segmentos consumidores (ACR, 2014; IBÁ, 2016).

Os estados com maior produtividade de *Eucalyptus* são Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Santa Catarina ocupa a décima posição, com um total de 106.588 hectares, com seus povoamentos voltados principalmente ao plantio de *Pinus*. Porém, a taxa anual de crescimento das florestas plantadas com *Pinus* está em 2,3% a.a e com *Eucalyptus* de 13% a.a, evidenciando a desaceleração dos plantios de *Pinus* e substituição gradativa pelo *Eucalyptus*. (ACR, 2014). Isso se deve principalmente pela busca de maior produtividade em menor ciclo de tempo.

O cultivo de *Eucalyptus* tem uma cadeia produtiva bem consolidada no mercado nacional e internacional, sendo de suma importância para a economia e para as áreas ambientais e sociais brasileiras. Estima-se que até 2020, o setor florestal brasileiro, que está em franca expansão, deve representar investimentos de cerca de 53 bilhões de reais, em ampliações de fábricas, novos plantios e novas unidades fabris (GARRETT, 2015).

A média anual de crescimento do *Eucalyptus* no Brasil gira em torno de 39 m<sup>3</sup> por hectare ao ano, sendo superior aos Estados Unidos, com 15 m<sup>3</sup>/ha/ano e África do Sul, com 18 m<sup>3</sup>/ha/ano (REINER, et al,2012).

O *Eucalyptus* é uma angiosperma, pertencente à família Myrtaceae, classe Dicotyledonea e ordem Myrtales. É originário da flora australiana, estendendo-se às áreas subalpinas, florestas úmidas costeiras, florestas temperadas e a zona mais árida da Austrália. Apresenta cerca de 700 espécies, variedades e híbridos distribuídos por mais de 90 países em todo o mundo. Essa ampla distribuição se deve ao fato que durante a evolução natural, a espécie criou mecanismos adaptativos eficientes a se desenvolverem satisfatoriamente em diversas condições edafoclimáticas, suportando estresse hídrico, variações de temperatura e de nutrientes, entre outros (PIRES, 2015).

A grande importância do eucalipto para a silvicultura se deve ao fato de possuir fácil adaptabilidade a condições diversificadas, crescimento rápido e alta produtividade em plantios homogêneos com excelente produção volumétrica, além de contribuir para a conservação do solo, das águas e na composição de quebra ventos (MACHADO, et al, 2014).

Outra particularidade que explica a prevalência dessa espécie é a versatilidade do uso da sua madeira, prestando-se para diversas finalidades. A sua principal utilização é voltada para a indústria de papel e celulose e de carvão vegetal, e posteriormente, para a indústria de chapas de partículas e fibras. Além destes usos, através do melhoramento genético e de práticas silviculturais adequadas, a madeira de *Eucalyptus* vem sendo empregada em usos mais nobres, como por exemplo, a madeira serrada para a indústria de móveis (ROCHA, et al, 2006).

### 3.2 CICLO GLOBAL DO CARBONO

Uma melhor compreensão do ciclo do carbono é fundamental com o agravamento do quadro de mudança climática global, sendo necessário um entendimento de suas fontes e sumidouros (SOTTA, 1998).

O dióxido de carbono é um gás que está presente no ar atmosférico na proporção de 0,03% do seu volume total. Ele é solúvel na água, transparente à luz visível e absorve os raios infravermelhos. Os quatro maiores reservatórios de carbono são a atmosfera (750 Pg), os oceanos (39.000 Pg), as reservas de combustível fóssil (5.000 a 10.000 Pg) e os ecossistemas terrestres (2.100 Pg), incluindo a biota e os solos (HOUGHTON et al., 1989; WATSON et al., 1990).

O carbono, na forma de CO<sub>2</sub>, é movimentado por processos naturais, como a fotossíntese, a respiração e a dissolução, entre a atmosfera e os continentes. Esta movimentação gera um processo cíclico, sendo denominada como ciclo de carbono. Cientistas

e governos estão cientes que as emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> e outros gases traço estão aumentando o efeito estufa e causando o aquecimento global (IPCC, 2001).

Os maiores causadores da liberação de dióxido de carbono para a atmosfera são de atividades humanas, como o uso de combustível fóssil e o desflorestamento e queimadas de florestas, para o uso agrícola e pastoril (GRACE, 2001).

Consequente a esse cenário, existe um interesse crescente em minimizar o incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico, através de estudos sobre a ciclagem global de carbono e no manejo do fluxo entre a atmosfera, o oceano e os ecossistemas terrestres (GRACE, 2001).

Os principais artifícios utilizados para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> se baseia na diminuição da queima de combustíveis fósseis, na restrição do desmatamento e queimadas, no manejo adequado do solo e, por fim, em estratégias de maximização do sequestro de carbono no solo (FALLOON et al., 2007).

Um meio eficiente no sequestro de carbono e consequente contribuição para o efeito estufa, é a introdução de florestas plantadas, onde o carbono é acumulado na madeira e proporciona um aumento de estoque no solo. Exemplo disto é um estudo conduzido por Rangel e Silva (2007) em Lavras, Minas Gerais. Tal estudo comparou a taxa de estoque de carbono de uma área cultivada com cafeeiro e essa mesma área após 29 anos cultivada com pinus e eucalipto. O eucalipto aumentou o estoque de carbono no solo, com 105,3 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto o pinus esteve com valor próximo ao da mata nativa, apresentando 87,9 e 90,6 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

### 3.3 CARBONO NO SOLO

O ecossistema terrestre acumula carbono de diversas maneiras, como nos microrganismos, folhas vivas, respiração das raízes, madeira e decomposição da matéria orgânica (HOUGHTON, 1994).

Segundo Bruce (1999), solos de até 1 m de profundidade podem conter até 1.500 GtC (gigatonelada de carbono), o que equivale a quase três vezes a quantidade de carbono presente na biomassa terrestre e duas vezes a quantidade estocada na atmosfera, sendo assim considerados grandes reservatórios naturais de carbono.

O teor total de CO<sub>2</sub> no solo é produto da respiração de raízes, microrganismos e fauna, e da oxidação química de compostos de carbono ou decomposição da matéria orgânica do solo (LUNDEGARDH, 1927).

Alguns fatores influenciam o potencial de fixação e estocagem de C no solo, como as condições climáticas locais, características do relevo, da drenagem, do tipo de manejo de solo adotado e do tipo de solo, entre outras variáveis que estabelecem as taxas de aumento do C orgânico do solo (SOTTA, 1998).

Fonseca (1984), estudando um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, sob mata de eucalipto e natural, constatou que o C orgânico do solo variou com o tipo de cobertura vegetal e decresceu exponencialmente com a profundidade do perfil do solo. Nos primeiros 10 cm de profundidade, o teor de C orgânico sob eucalipto foi de 4,5% e mata natural 5,5%. Esse resultado pode estar relacionado ao uso anterior e ao manejo do solo sob o plantio de eucalipto, que teriam favorecido a ação dos microrganismos, reduzindo o teor inicial existente.

### 3.4 FLUXO DE CARBONO E RESPIRAÇÃO DO SOLO

Inicialmente devemos entender a diferença entre fluxo de carbono e respiração do solo. A respiração do solo é a produção de CO<sub>2</sub> através da oxidação da matéria orgânica no solo, e inclui a respiração das raízes e microrganismos. Já o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo é a liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, dependendo assim da produção de CO<sub>2</sub> no solo e do processo físico de fluxo de gás para fora do solo (DIAS, 2006).

A respiração do solo é um dos maiores e mais importantes processos de liberação do carbono em um ecossistema terrestre, contribuindo com cerca de 50% do carbono que compõe a respiração total do ecossistema (WAGAI et al., 1998; ROBERTS, 2000).

A matéria orgânica do solo (MOS) armazena a grande maioria do carbono contido nos sistemas terrestres do planeta, com aproximadamente 1.576 petagramas (Pg, sendo que 1 Pg = 10<sup>15</sup> g) de carbono, distribuídos em 12,8 bilhões de hectares de solos continentais (EDWARDS, 1975). Desse montante, a maior parte é encontrada nos solos com florestas, que contribuem com 787 Pg de carbono (aproximadamente 50%) (DIXON *et al.*, 1994).

A MOS é formada por resíduos de animais e plantas em diferentes fases de decomposição, mediada por microrganismos, na grande maioria, bactérias e fungos, os quais controlam a disponibilidade de nutrientes e liberação ou acúmulo de carbono no solo. Outros fatores inerentes ao balanço de entrada e saída de carbono no solo são decomposição, erosão e lixiviação (SIX et al., 2006).

Durante a decomposição da MOS, os microrganismos utilizam o carbono que necessitam para a síntese de biomassa e o restante é perdido por respiração em forma de CO<sub>2</sub>.

Esses microrganismos liberam carbono ao solo como produto de seu metabolismo e também com a sua morte. A quantidade desses produtos que se acumulam no solo depende da composição química assim como do grau com que esses estão fisicamente protegidos dentro do solo (SIX et al., 2006).

Apesar dos microrganismos contribuírem bastante na respiração do solo, a respiração das raízes é responsável pela maioria da respiração total, correspondendo a 30 – 80% (SOTTA, 1998).

As trocas de gases entre o solo e a atmosfera, ou seja, o fluxo de carbono, são mediados por dois processos: difusão, que é o movimento de gás de uma zona de maior concentração para outra de menor, e fluxo de massa, ocasionado pelo movimento conjunto do ar do interior dos solos misturado ao gás, respondendo a um gradiente de pressão, o qual varia em função de textura, estrutura e teor de umidade do solo (MOITINHO, 2013).

O processo de respiração e do fluxo do CO<sub>2</sub> no solo depende grandemente de fatores ambientais como a temperatura e umidade, os quais afetam o transporte dos gases no solo e entre o solo e a atmosfera, devido a fração de poros do solo preenchidos com ar ou com água (SOTTA, 1998).

### 3.5 TEMPERATURA E ÁGUA NO SOLO

A respiração do solo está associada com a variabilidade temporal e espacial de temperatura e umidade do solo que exercem forte influência no processo de decomposição microbiana (DIAS, 2006).

Em escala global, a taxa de respiração do solo tem correlação significativa com a medida anual de temperatura do ar e com a medida anual de precipitação e principalmente com a interação destas duas variáveis (DIAS, 2006).

Estudos citados por Coelho (2005) têm mostrado que a taxa de respiração do solo pela atividade microbiológica, tem aumentando exponencialmente com a temperatura. Beki et al (2003) consideraram que a produção de CO<sub>2</sub> dentro do solo responde fortemente às variações de temperatura do solo, sendo que isto pode mudar com a idade de matéria orgânica do solo e também com disponibilidade de água para as reações bioquímicas relevantes. Fang e Moncrief (2001) observaram que a altas temperaturas, as enzimas mediadoras dos processos no solo podem ser desativadas ou mortas, reduzindo a respiração do solo. Tang et al (2003)

também relataram em seu estudo que a decomposição microbiana pode ser afetada pelo aumento de temperatura e diminuição da umidade.

Zanchi et al. (2003) observaram que ocorre um grande aumento de emissão de CO<sub>2</sub> do solo logo após um evento de chuva, devido ao fato que a água quando drenada para o solo força a saída do CO<sub>2</sub> presente nos poros. Após algumas horas da chuva, há uma queda brusca no fluxo, isto porque a água faz uma camada de proteção no solo, evitando assim a emissão do CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Esta emissão vai se tornando maior à medida que a água vai evaporando e drenando para o lençol freático, pois assim os poros ficam livres. E há um restabelecimento das condições aeróbicas, proporcionando um ambiente favorável as atividades microbianas do solo.

No Brasil, foi registrada uma variação das médias mensais do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo em florestas com mata nativa e plantadas com eucalipto, apresentando um aumento das emissões nos meses mais quentes do ano (de outubro a fevereiro), onde a atividade microbiana é mais intensa. A precipitação pluviométrica também causou interferências no padrão das emissões de CO<sub>2</sub> do solo (LIRA et al., 1999).

### 3.6 METODOLOGIAS DE MEDIDA DO FLUXO DE CO<sub>2</sub> DO SOLO

O fluxo do CO<sub>2</sub> do solo pode ser medido de diversas maneiras, entre elas, armadilhas de álcalis, covariância de vórtices turbulentos, e câmaras fechadas que absorvem CO<sub>2</sub> por infravermelho (IRGAs); com diferenças na exatidão, na resolução espacial e temporal, e aplicabilidade (DIAS, 2006).

O uso de câmaras, com analisadores de gás infravermelho (IRGA), colocadas sobre o solo é o caminho mais direto de medida da respiração que ocorre entre o solo e a camada de serapilheira. O uso de uma metodologia com câmaras juntamente com o IRGA oferece a vantagem de que os fluxos podem ser medidos rapidamente (tempo  $\leq$  5 minutos) e de que os numerosos pontos de dados de concentrações do CO<sub>2</sub> podem ser registrados a cada minuto, rendendo um monitoramento quase contínuo das concentrações crescentes do CO<sub>2</sub> (DIAS, 2006).

Existem diferentes formas e dimensões de câmaras, sendo as mais comumente utilizadas de formato cilíndrico com tamanho variado. Seu funcionamento pode ser estático ou dinâmico em função da circulação interna de ar promovida por ventiladores e da existência de um fluxo conhecido de ar passando através das câmaras (FREIJER & BOUTEN, 1991).

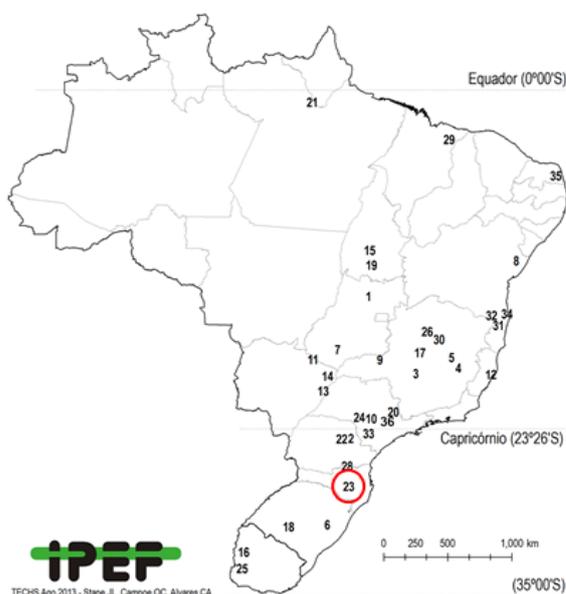
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento em estudo faz parte do programa cooperativo TECHS – Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídricos, Térmicos e Bióticos ([www.ipef.br/techs](http://www.ipef.br/techs)), em parceria com o IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos e Florestais, e 26 empresas do setor florestal. O TECHS é composto por 36 sítios experimentais, distribuídos desde o estado do Pará até o Uruguai, e por 18 clones diferentes do gênero *Eucalyptus*.

O sítio onde o experimento está implantado pertence à empresa Klabin, localizada no município de Otacílio Costa – SC, com latitude 27° 31' 68" Sul e longitude 50° 06' 09" Oeste. A Figura 1 demonstra os 36 sítios em estudo pelo TECHS, e com um círculo, o sítio estudado pelo presente trabalho, denominado como 23-KLO (Klabin Otacílio Costa).

**Figura 1** - Sítios experimentais do TECHS no Brasil e Uruguai, evidenciando a localização da área experimental com um círculo.



**Fonte:** Stape et al., 2014

Segundo a classificação Köppen, o município apresenta um clima Cfb, mesotérmico úmido e verão ameno, com pluviosidade significativa ao longo do ano, com média anual de 1519 mm, e temperatura média anual de 16,1 °C (Alvares et al., 2013). Para o estudo, foram

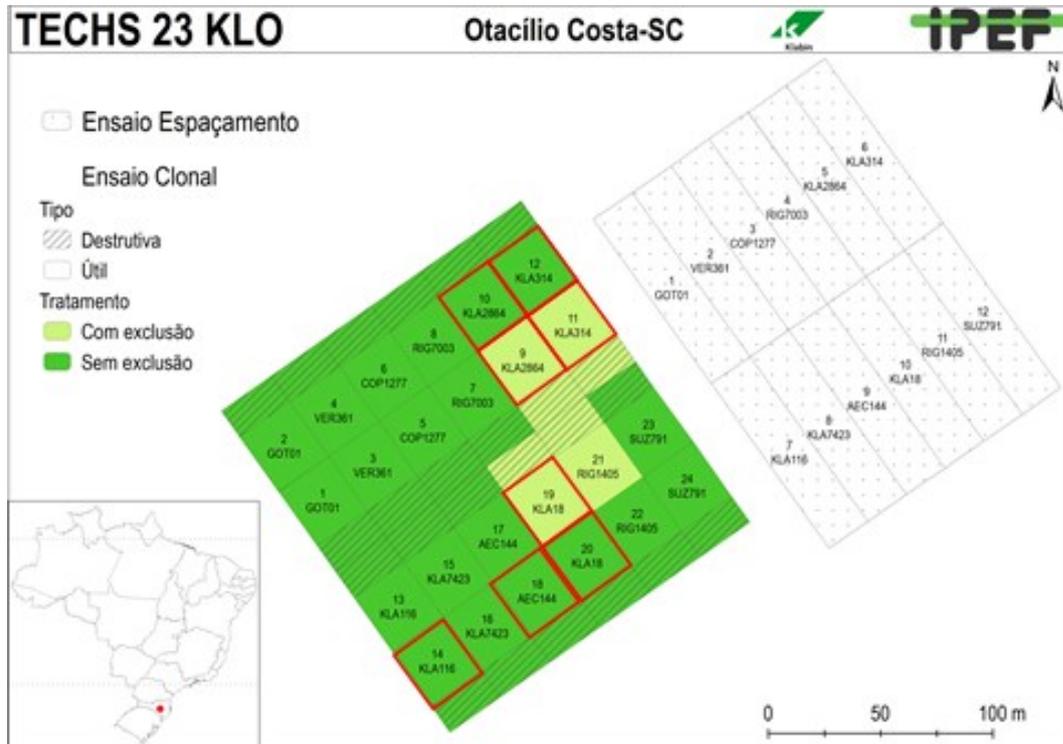
utilizados dados de temperatura e precipitação mensais históricos da região, de 1960 a 1990, fornecidos pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

O solo da área está classificado como um Cambissolo Húmico Argiloso, com 43% de argila, 28% de silte e 29% de areia.

O sítio apresenta 12 genótipos de diferentes espécies do gênero *Eucalyptus*, com distintos níveis de susceptibilidade aos estresses hídricos, térmicos e bióticos (Stape et al., 2013), sendo que cada material genético possui duas parcelas. As árvores foram plantadas em 26 de janeiro de 2012 com um espaçamento de 3m entre linhas por 3m entre plantas na linha. Durante esses anos o sítio experimental recebeu todas as manutenções necessárias para um bom desenvolvimento das plantas, controle químico de matocompetição (glifosato), combate a formigas cortadeiras (sulfloramida), e com fertilizações (incluindo a correção do solo, adubação de base, adubação de cobertura e adubação de manutenção). No total, foram aplicadas as seguintes quantidades de fertilizantes: 112 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha; 130 kg K<sub>2</sub>O/ha; 95 kg N/ha; 580 kg Ca/ha; 110 kg Mg/ha; 3 kg B/ha).

A Figura 2 mostra o croqui do ensaio clonal utilizado no experimento, sendo que as parcelas marcadas em vermelho foram as usadas para esse trabalho.

**Figura 2** – Sítio 23 KLO. O estudo foi realizado nas parcelas marcadas em vermelho, no Ensaio Clonal.



**Fonte** – Stape et al., 2014.

#### 4.2 DESCRIÇÃO DOS CLONES ESTUDADOS

Como os 36 sítios experimentais estão espalhados por uma grande amplitude climática do Brasil, os 18 clones foram classificados em 4 grupos, sendo eles: clones tropicais e de regiões mais úmidas (tipo U); clones tropicais e de regiões mais secas (tipo S); clones de regiões subtropicais mais frias (tipo F); e clones intermediários e mais plásticos (tipo P). Como o sítio 23 KLO pertence a uma região subtropical, ele recebeu 4 clones do tipo P e 7 clones do tipo F, e mais um clone da escolha da empresa, totalizando, portanto, 12 clones, representados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Clones implantados.

<b>Clones</b>	<b>Espécies</b>	<b>Tipo do Clone</b>
A1	<i>E. urophylla x sp</i>	<i>P</i>
C3	<i>E. grandis x camaldulensis</i>	<i>P</i>
Q8	<i>E. grandis x sp</i>	<i>P</i>
K2	<i>E. saligna</i>	<i>P</i>
I9	<i>E. dunnii</i>	<i>F</i>
J1	<i>E. benthamii</i>	<i>F</i>
L3	<i>E. urophylla x globulus</i>	<i>F</i>
M4	<i>E. dunnii</i>	<i>F</i>
N5	<i>E. dunnii</i>	<i>F</i>
O6	<i>E. grandis</i>	<i>F</i>
F6	<i>E. benthamii</i>	<i>F</i>
S1	<i>E. benthamii</i>	<i>F</i>

Para esse estudo, foram utilizados os clones K2, J1, I9, A1 e S1, sendo esse último o escolhido pela empresa. Esses clones foram escolhidos devido ao fato de já possuírem um histórico de plantios na região, tendo uma melhor adaptabilidade a climas frios.

#### 4.3 SISTEMA DE EXCLUSÃO DE CHUVA

Para a manipulação da disponibilidade hídrica foi utilizada a técnica da “exclusão de chuva” (Figura 3) em três parcelas estudadas. A técnica se baseia em uma cobertura feita entre as linhas de plantio cobrindo 30% da superfície da parcela, estimando assim uma redução da água da chuva que chega ao solo para 70% da precipitação total. A cobertura foi feita um ano após o plantio das árvores, com palanques de eucalipto e lonas plásticas, com uma inclinação que leva a água para fora da parcela.

**Figura 3** – Parcela experimental com o sistema de exclusão de chuva (a); parcela sem o sistema de exclusão de chuva (b).



**Fonte** – A autora.

#### 4.4 MEDIÇÕES DENDROMÉTRICAS

Desde a instalação do experimento foram realizadas medições semestrais de altura total, altura do início da copa e diâmetro a altura do peito (DAP, 1,30 m acima do solo), nos meses de abril e outubro. A altura total é a distância do nível do solo até a folha mais alta presente na copa, e a altura do início da copa é a distância do nível do solo até a primeira folha viva presente na base da copa. Todas as alturas foram medidas através com clinômetro (Haglof), e de DAP com fita diamétrica. Com os dados das medições dendrométricas, calculou-se o volume e a produtividade de cada parcela utilizando equações de volume desenvolvida por Mattos (2015), específicas para cada clone estudado.

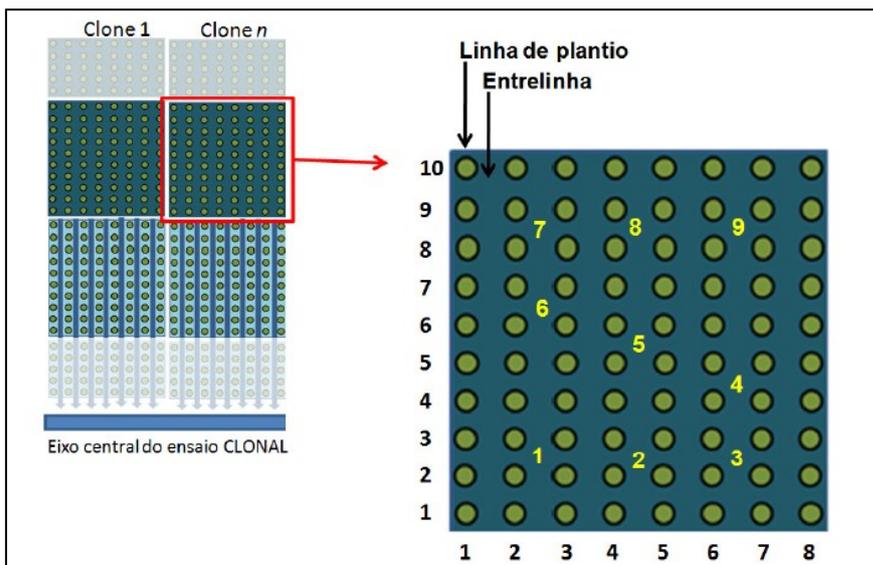
O volume total de madeira foi calculado como a soma do volume de madeira de todas as árvores da parcela, extrapolado para o hectare. O incremento médio anual (IMA) foi calculado pela divisão entre o volume de madeira por hectare dividido pela idade. Para o presente trabalho foram usados os dados de abril de 2016.

#### 4.5 MEDIÇÕES DE FLUXO DE CO<sub>2</sub> DO SOLO

Em cada parcela foram instalados anéis de PVC para a medição do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo (Fs). Foram amostradas 3 posições com 3 repetições, totalizando 9 pontos amostrais por parcela, ou seja, 9 anéis, distribuídos nos quadrantes entre as linhas de plantio, conforme a

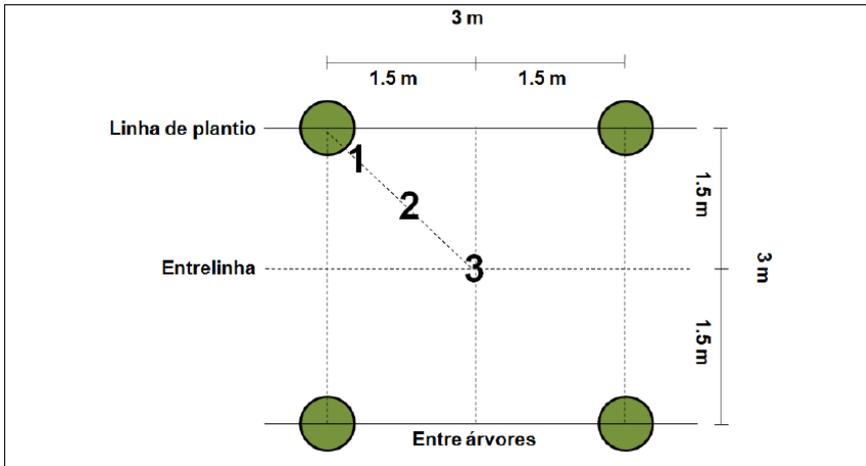
Figura 4. As posições dentro do quadrante foram sorteadas aleatoriamente, podendo ser 1 (mais próximo a árvore), 2 (intermediário) e 3 (entre a linha de plantio), com aproximadamente 50 cm de distancia entre os pontos. (Figura 5). Os pontos são distribuídos dessa forma visando amostrar a variação espacial do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo. Os anéis possuem um diâmetro de 20 cm e altura de 12 cm, sendo fixados ao solo cerca de 5 cm de profundidade com pelo menos 48 horas antecedente as medições. Toda a serapilheira depositada no solo foi mantida dentro do anel. As medições foram realizadas com o equipamento Li-8100, (LI-COR, Lincoln, NE, EUA) (Figura 6) uma vez por mês durante os meses de março, abril e junho de 2017, durante o período da manhã e da tarde. Os dados gerados pelo equipamento são em  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e foram posteriormente convertidos em  $\text{g de CO}_2 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ .

**Figura 4** – Posição dos anéis nas parcelas.



**Fonte** – Stape et al., 2014.

**Figura 5** – Posição dos pontos de amostragem em relação às árvores.



**Fonte** – Stape et al., 2014.

**Figura 6** – Equipamento de medição de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo Li-8100, LI-COR.



**Fonte** – A autora.

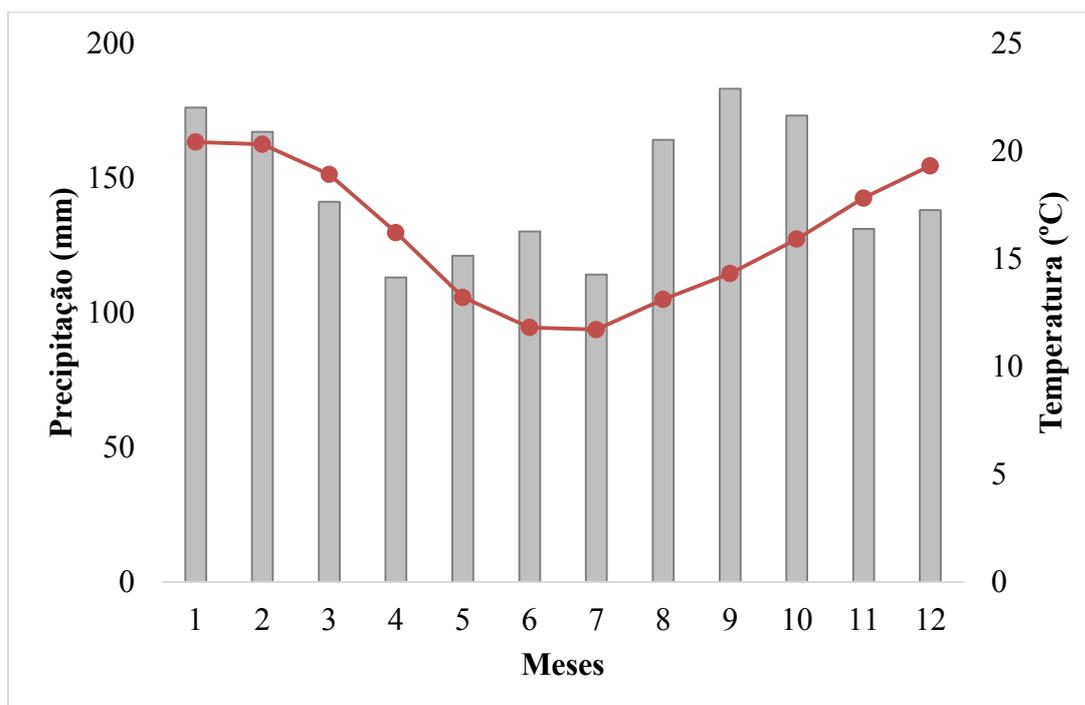
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DADOS DE CLIMA

Historicamente, os meses mais chuvosos são Janeiro, Fevereiro, Agosto, Setembro e Outubro, com precipitação acumulada acima de 160 mm. Os meses menos chuvosos são Abril e Julho com precipitação acumulada próxima de 100 mm. A região não apresenta déficit hídrico, com precipitações mensais superiores a 100 mm o ano todo, variando 70 mm entre o mês mais seco e o mais chuvoso (Figura 7).

Já a temperatura apresenta uma maior variação durante o ano, sendo os meses mais quentes Janeiro, Fevereiro e Dezembro, com 20,4 °C, 20,3 °C e 19,3 °C, e os mais frios, Junho, Julho e Agosto, com 11,8°C, 11,7°C e 13,1°C, com invernos rigorosos com várias geadas durante o ano. A amplitude entre o mês mais quente e o mais frio é de 8,7°C, que resulta em impacto significativo na adaptabilidade dos diferentes clones ao clima subtropical. Nesse tipo de clima, onde há disponibilidade hídrica o ano todo, a variabilidade de temperatura tem maior impacto sobre a produtividade (Figura 7).

**Figura 7** – Dados médios históricos (1960 a 1990) de temperatura (linha contínua) e precipitação (barras) de Otacílio Costa, SC.

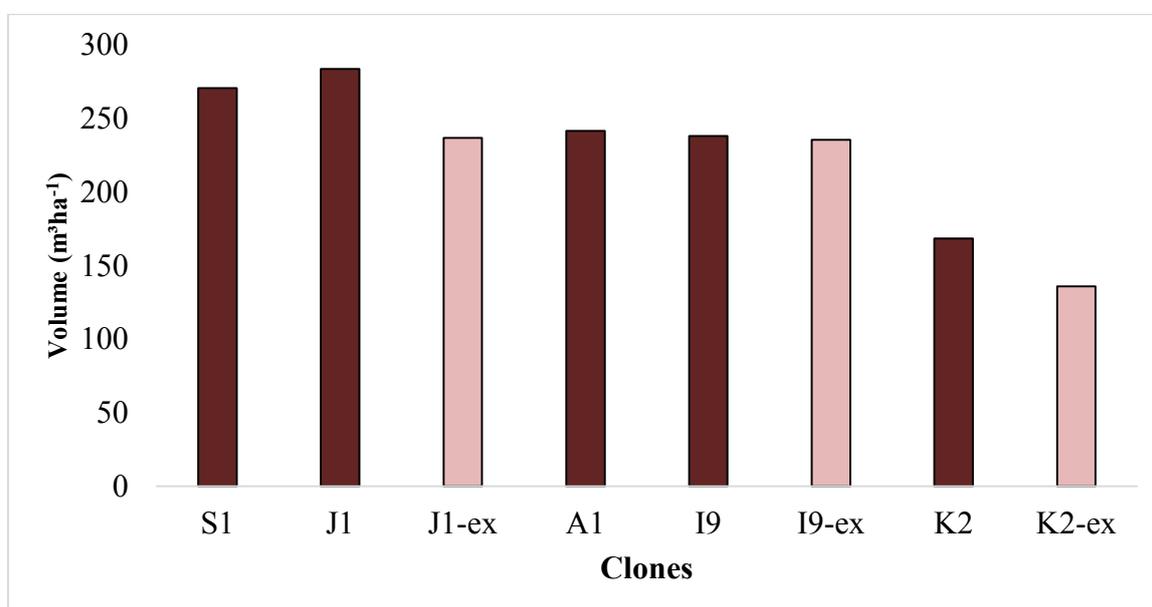


Fonte – INMET.

## 5.2 PRODUTIVIDADE DE MADEIRA

Os clones apresentaram diferenças de produtividade, tanto em volume total de madeira quanto em incremento médio anual. O sistema de exclusão de chuva reduziu a produção de madeira em dois dos três clones submetidos a essa restrição. A Figura 8 apresenta o volume total dos clones estudados com e sem exclusão de chuva, com aproximadamente cinco anos e três meses de idade.

**Figura 8** – Volume de madeira dos aos quatro anos de idade. Os clones com o sufixo “ex” apresentam sistema de exclusão de chuva.



Na média geral, os clones sem exclusão de chuva apresentaram um maior volume de madeira ( $241 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), cerca de 6% acima das parcelas com exclusão ( $203 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). O maior volume foi do J1 sem exclusão de chuva, representando o *E. benthamii*, com  $284 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , e o com exclusão,  $237 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , sendo uma diferença entre ambos de 20%. Em seguida o S1 apresentou um volume de  $271 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . O A1, *E. urophylla X sp*, foi o terceiro mais produtivo, com  $242 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de volume. A menor diferença entre as parcelas sem e com exclusão de chuva, foram do clone I9 (*E. dunnii*) com  $238 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e  $236 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , apresentando apenas 1,1% de variação entre eles. Por fim, o K2 (*E. saligna*) sem exclusão de chuva com  $168 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e com exclusão de chuva com  $136 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , apresentaram um maior ganho em produtividade, com 24%.

Avaliando os dados de volume de madeira, é possível afirmar que a maior diferença entre a produtividade não se deve à redução de 30% na precipitação proporcionado pelo sistema de exclusão de chuva, e sim a diferença de adaptação dos clones ao ambiente. Por apresentar alta precipitação e distribuição regular, com mais de 100 mm todos os meses do ano, mantendo assim o solo sempre úmido.

Na média geral a produtividade dos clones foi de  $162 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ , variando de  $217 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  com *E. benthamii* a  $99 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  com *E. saligna*, apresentando uma diferença de 119% entre ambos.

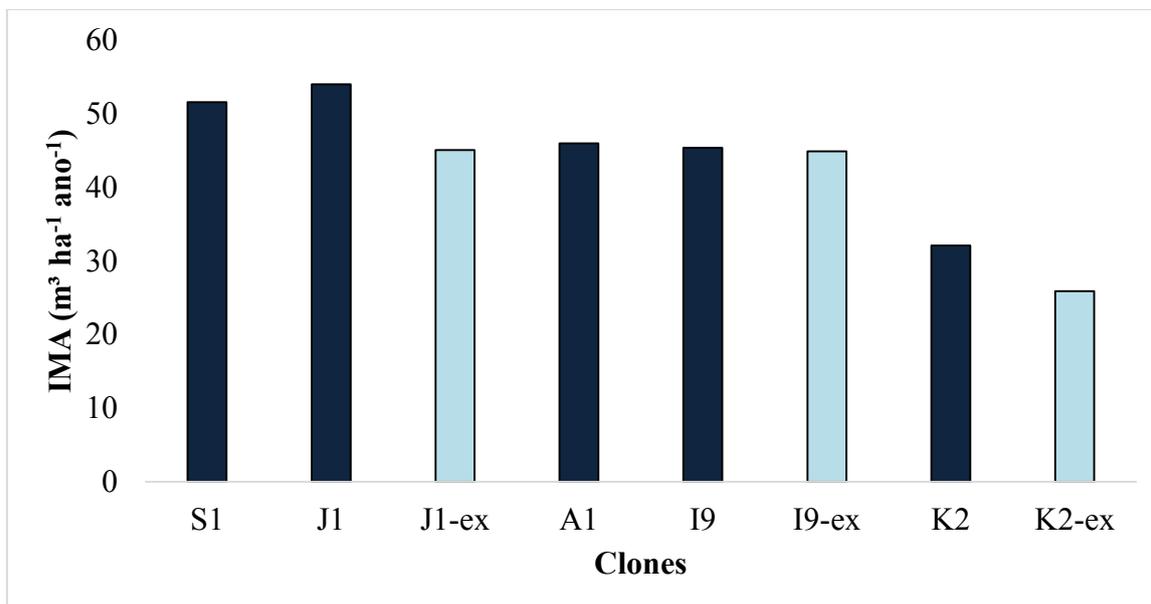
O S1, *E. benthamii*, foi o clone fornecido pela empresa, ou seja, teve seu melhoramento genético realizado para a região, isso justifica sua maior produção perante os demais. Segundo Graça et al. (1999) a espécie tem elevada resistência a geadas frequentes e severas e um ótimo crescimento em climas frios como os do Sul do Brasil, com alta homogeneidade de talhões. Para a FAO (1981) o *E. benthamii* suporta até 25 geadas anuais e temperaturas até  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  negativos. O clone J1, representa a mesma espécie e apresenta características bem semelhantes ao S1.

Já o clone A1, *E. urophylla*, foi melhorado no estado de Minas Gerais, posteriormente sendo plantado em todo o país, devido a sua alta qualidade genética. *E. urophylla* em relação à maioria das espécies de eucaliptos introduzidas no Brasil, é a que apresenta a maior estabilidade genética em todas as áreas onde foi testada. É considerada como uma das espécies de maior potencial para reflorestamento devido a seu bom crescimento em quase todo o Brasil, tolerando geadas e temperaturas baixas (MOURA, 2004).

O *E. dunnii*, clone I9, também é uma espécie tolerante ao frio, sendo indicado para plantios em regiões com temperaturas mínimas absolutas de até  $-5^\circ\text{C}$  e suportando até 22 geadas anuais, contra oito geadas anuais de *E. saligna* (FAO, 1981).

A Figura 9 apresenta o IMA dos clones.

**Figura 9** – Relação dos clones com o Incremento Médio Anual (IMA). Os clones com o sufixo “ex” apresentam sistema de exclusão de chuva.



O IMA médio obteve uma variação de 50% do clone com melhor desempenho para o de menor desempenho. Os clones J1, sem e com exclusão de chuva e S1, que representam o *E. benthamii*, apresentaram um IMA de, respectivamente, 54,0 m³ha⁻¹ano⁻¹, 45,1 m³ha⁻¹ano⁻¹ e 51,6 m³ha⁻¹ano⁻¹. Esses valores condizem com os encontrados por Serpe (2015) para a espécie aos seis anos de idade, que apresentou um IMA de 43,5 m³ha⁻¹ano⁻¹, em Irati, no Paraná.

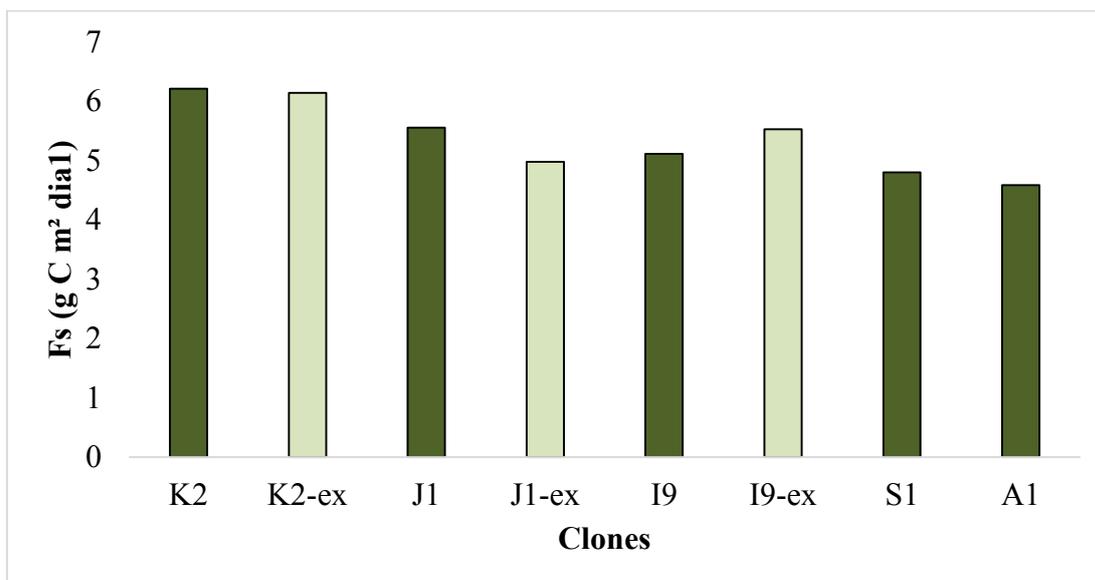
Em seguida, o A1, *E. urophylla X sp*, obteve um IMA de 46,0 m³ha⁻¹ano⁻¹, e o I9, *E. dunnii*, sem e com exclusão de chuva, 45,4 e 44,9m³ha⁻¹ano⁻¹.

O menor IMA foi do K2, *E. saligna*, onde a parcela sem exclusiva de chuva obteve o valor de 32,1 m³ha⁻¹ano⁻¹ e a com exclusão de chuva de 25,9m³ha⁻¹ano⁻¹.

### 5.3 FLUXO DE CO<sub>2</sub> DO SOLO

A figura 10 apresenta o fluxo de CO<sub>2</sub> (Fs) média para os diferentes clones e disponibilidade hídrica.

**Figura 10** – Relação dos clones com as médias de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo de três meses.

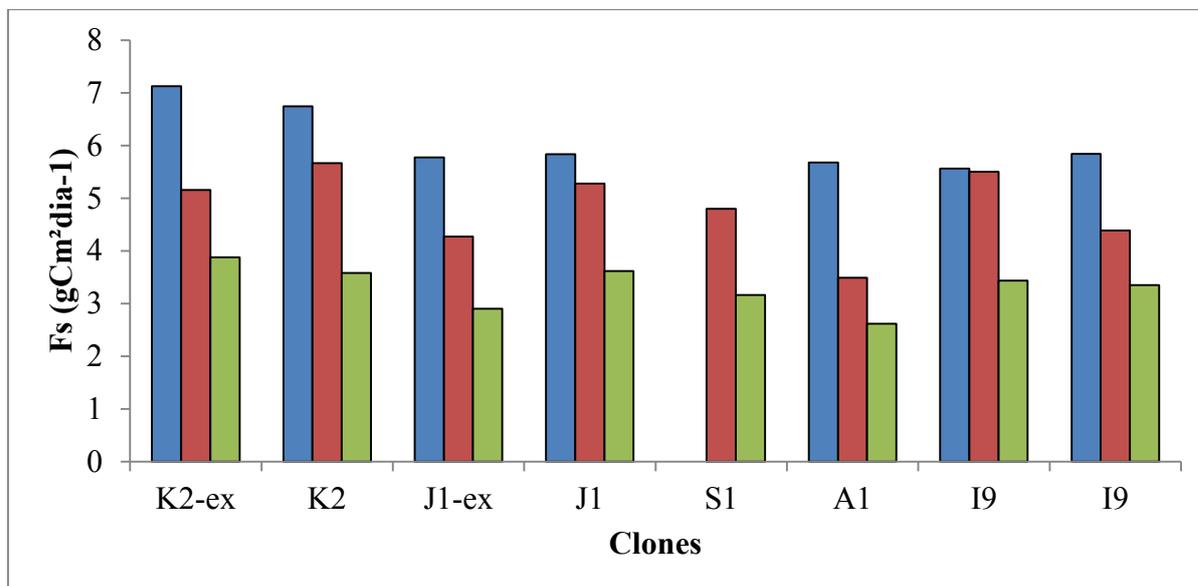


Os maiores valores foram o *E. saligna*, clone K2, com 6,21 gCm<sup>2</sup>dia<sup>-1</sup> na parcela sem exclusão de chuva e, 6,14 gCm<sup>2</sup>dia<sup>-1</sup> na com exclusão. A diferença entre ambos foi de apenas 1,1%. Em seguida, o J1, *E. benthamii*, apresentou uma diferença mais significativa entre as parcelas, com 11,6%, sendo a parcela sem exclusão com 5,56 gCm<sup>2</sup>dia<sup>-1</sup> e 5,98 gCm<sup>2</sup>dia<sup>-1</sup> na com exclusão. O clone I9, *E. dunnii*, apresentou um fluxo de 5,11 gCm<sup>2</sup>dia<sup>-1</sup> na parcela sem exclusão de chuva, sendo inferior a com exclusão, com 5,53 gCm<sup>2</sup>dia<sup>-1</sup>, resposta contrária com a exclusão de chuva em relação aos demais, com uma diferença de 7,5%. Por fim, os clones S1, *E. benthamii*, e A1, *E. urophylla*, apresentaram fluxos de, 4,8 gCm<sup>2</sup>dia<sup>-1</sup> e 4,58 gCm<sup>2</sup>dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

A Fs do solo apresentou variação entre os clones estudados, entre as posições em relação às árvores, e também entre os meses de medição.

A figura 11 apresenta a redução da Fs ao longo dos meses de medição.

**Figura 11** – Fluxo de CO<sub>2</sub> do solo dos clones durante os três meses avaliados. As cores representam os meses: azul = Março; vermelho = Abril; verde = Junho.

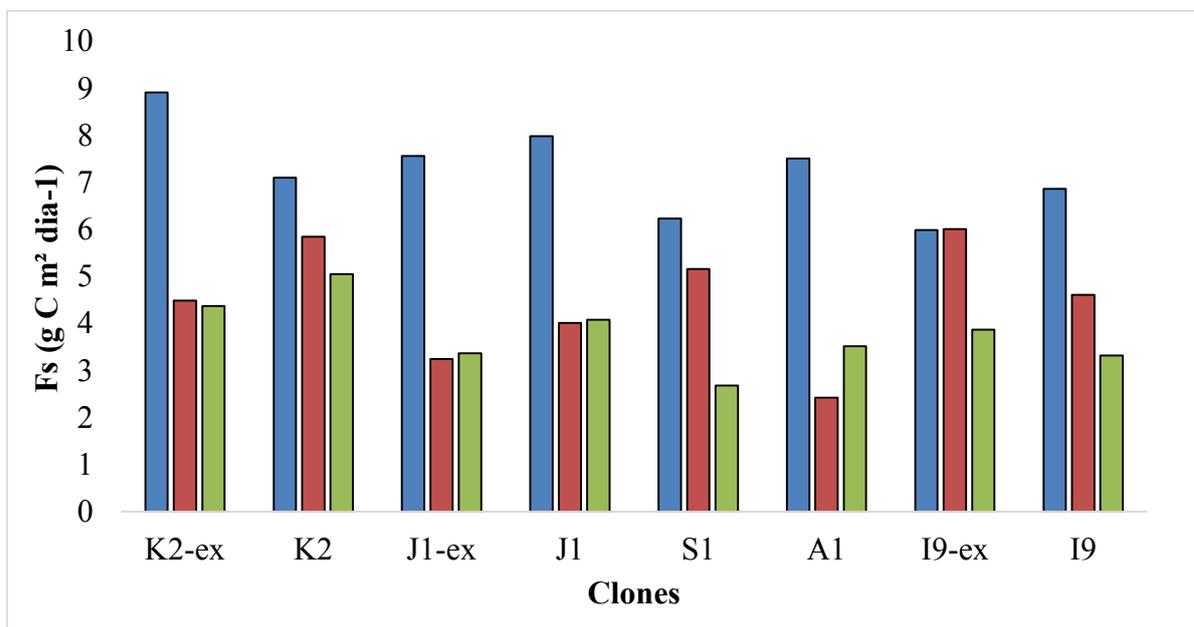


O Fs apresentou uma queda gradativa com a queda da temperatura durante os meses de medições, com uma diferença de 54,6% entre as médias. Março apresentou uma média de fluxo de 6,1 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, Abril, 4,8 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, e Junho 3,3 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Esse fato é explicado pela mudança de estação e consequente queda de temperatura entre os meses, diminuindo a atividade de microrganismos do solo e também a atividade de raízes finas.

O solo, além de armazenar e permitir os processos de transferência de água, solutos e gases, também armazena e transfere calor através de suas propriedades térmicas e pelas condições meteorológicas que, por sua vez, influenciam todos os processos químicos, físicos e biológicos do solo (DIAS, 2006).

O fluxo de carbono do solo é altamente sensível as mudanças de temperatura, portanto, pequenas mudanças da temperatura na superfície do solo já influenciam em grande magnitude a respiração do mesmo. Estudos indicam que a atividade microbiológica do solo aumenta linearmente com a temperatura (DIAS, 2006).

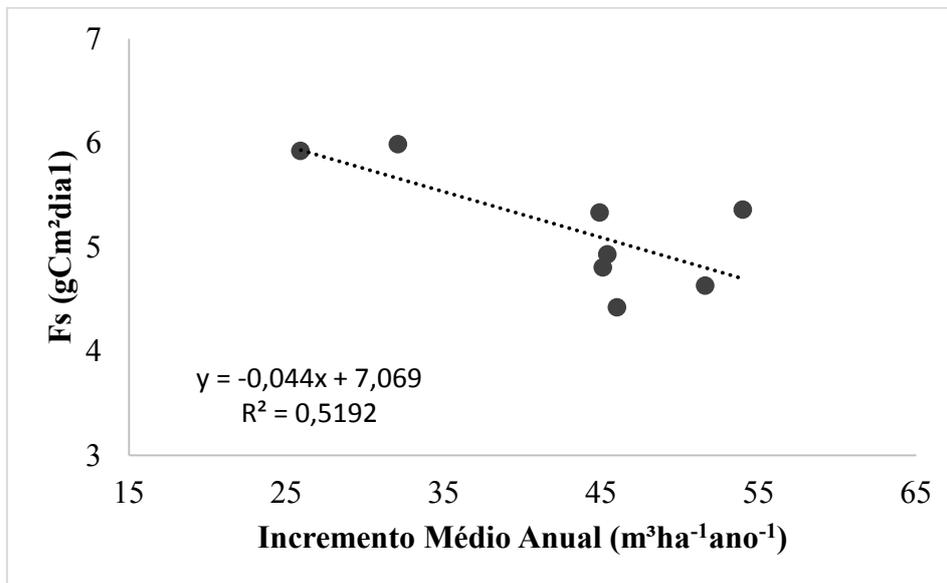
**Figura 12** – Relação dos clones com as médias de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo em três posições diferentes. Posição 1 (próximo a árvore) em azul. Posição 2 (intermediária) em vermelho. Posição 3 (no meio da entrelinha de plantio) em verde.



As posições em que a  $F_s$  foi medida obtiveram resultados distintos, sendo que a posição 1 em todas as parcelas apresentou um maior valor, com uma média de todos os clones de  $7,27 \text{ gCm}^2\text{dia}^{-1}$ . A posição 2 obteve uma média de fluxo de  $4,47 \text{ gCm}^2\text{dia}^{-1}$  e a posição 3 de  $3,78 \text{ gCm}^2\text{dia}^{-1}$ . A diferença entre a posição 1 e a posição 3 foi de 52%.

Como ilustrado, a posição 1 se localiza mais próxima das árvores, lugar onde há uma maior quantidade de raízes finas. Conforme as posições vão se afastando da árvore, a quantidade de raízes vai diminuindo, diminuindo também o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo (MAURICE et al., 2010, LACLAU et al., 2013, PINHEIRO et al., 2016).

**Figura 13** – Relação da respiração do solo com o incremento médio anual.



O Fs apresentou uma queda gradativa com o aumento do IMA. Esse dado mostra que quanto maior é o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, processo principalmente dominado pela atividade de raízes finas, a planta deixa de investir na sua produtividade primária líquida acima do solo, que é a soma da produção de folhas, galhos, casca e lenho, e passa a investir em raízes (RYAN et al., 2010).

Apesar de resultados representativos, estudos de longo prazo são necessários para entender os processos de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo e sua relação com a produtividade de madeira de clones de *Eucalyptus*.

## 6 CONCLUSÃO

Embora ainda estudos a longo prazo sejam importantes para entender os efeitos climáticos sobre o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, com esse trabalho podemos chegar a algumas conclusões:

O efeito da redução da disponibilidade hídrica apresentou diferenças sobre a produtividade quanto aos clones estudados. O clone K2 (*E. saligna*) apresentou um maior ganho em volume com o sistema de exclusão de chuva, sendo superior em 24% a parcela que recebeu mais água. Já o I9 (*E. dunnii*) apresentou apenas 1,1% de variação entre os sistemas.

A produtividade dos clones é fortemente afetada pelas suas diferenças genéticas, sendo a diferença entre o clone mais produtivo e o menos de 119%.

Existe grande variabilidade de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo em plantios florestais, tanto entre clones, especialmente e com forte efeito da sazonalidade climática.

Plantios com clones mais produtivos em sua parte aérea, e consequentemente menores taxas de emissão de CO<sub>2</sub> do solo, maximizam o sequestro de carbono.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. 2013.

**Associação Catarinense de Empresas Florestais. Anuário estatístico base florestal para o estado de Santa Catarina**, ano base 2013. Lages-SC, 2014.

BATISTA, K. M. **Análise do crescimento e do desempenho econômico-financeiro de povoamentos de *Eucalyptus dunnii* em diferentes sítios no planalto catarinense**. 2014. 56f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba SC.

BONAN, G. B. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. **Science**, v. 320, n.1444, p. 32-37, 2008.

BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny**, v. 54, n. 1, p. 382-389, 1999.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.C. & VOLKOFF, B. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: Emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem. Brasília, **Ministério da Ciência e Tecnologia**, 2001. 41p.

COELHO, M. M. **Estudo da respiração do solo em floresta de transição no sudoeste da Amazônia**. 2005. 51p. Dissertação (Mestre em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso, CUIABÁ – MT.

DIAS, J. D. **Fluxo de CO<sub>2</sub> proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**. 2006. 88p. Dissertação (Mestre em Ecologia de Agroecossistemas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DIXON, R.; BROWN, S.; HOUGHTON, R.; SOLOMON, A.; TREXLER, M.; WISNIEWSKI, J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science**, v. 263, p. 185–191, 1994.

Eucalyptus. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Junho de 2000. Disponível em: <[https://dendro.cnptia.embrapa.br/recursos/folder\\_eucalyptus\\_junho2000ID-pEiTdesAUE.PDF](https://dendro.cnptia.embrapa.br/recursos/folder_eucalyptus_junho2000ID-pEiTdesAUE.PDF)> . Acesso em: 6 de Junho de 2017.

EDWARDS, N. T. Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 39, n. 2, p. 361 - 365, 1975.

FALLOON, P.; JONES, C.D.; CERRI, C.E.; AL-ADAMAT, R.; KAMONI, P.; BHATTACHARYYA, T.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K. & MILNE, E. Climate change and its impact on soil and vegetation carbon storage in Kenya, Jordan, India and Brazil. **Agric. Ecosyst. Environ.**, 122:114-124, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **EI eucalipto en la repoblacion forestal**. Roma, 1981.723p.

FONSECA, S. **Propriedades físicas, químicas e microbiológicas de um Latossolo vermelho-amarelo sob eucalipto, mata natural e pastagem**. 1984. 78p. Tese de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

FREIJER, J.I.; BOUTN, W. A comparison of field methods for measuring soil carbon dioxide evolution: experiments and simulation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 135, p. 133-142, 1991.

GARRETT, A. T. A. **Influência da mancha foliar de *Mycosphaerella* no desenvolvimento de *Eucalyptus dunnii* na região serrana de Santa Catarina**. 2015. 70p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati-PR.

GRAÇA M.E.C.; CARAMORI, P.H.; BOOTSMA, A.; OLIVEIRA, D.; GOMES, J. Capacidade de rebrota de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 135-138, jul./dez. 1999.

GRACE, J.; MALHI, Y.; LLOYD, J.; MCINTYR, J; MIRANDA, A.; MEIER, P. The use of eddy covariance to infer the net carbon dioxide uptake of Brazilian rain forest, **Global Change Biology**, v.2, p.209-2001.

HOUGHTON, R.A. 1989. Is Carbon Accumulating in the Northern Temperate Zone. **Global Biogeochemical Cycles**, 7: 611:617.

HOUGHTON, R.A. Workshop emissão versus sequestro, uma nova oportunidade de negocio para o Brasil, 1994,. Rio de Janeiro, **Ed. Campus**,1994. p.12 - 13.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES- IBÁ. **Relatório Anual de 2016**. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2016\\_.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf)>. Acesso em: 26 de abril de 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS – IPEF. **Programa Cooperativo sobre Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídrico e Térmico**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/techs>>. Acesso em: 26 de abril de 2017.

IPCC, 2001 (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change**. 2001.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996p, 2007.

LACLAU, J. P.; SILVA, E.; LAMBAIS, G. R.; BERNOUX, M.; MAIRE, G. L.; STAPE, J.; BOUILLET, J. P.; et al. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m throughout the entire rotation in *Eucalyptus grandis* plantations. **Frontiers in Plant Science**, v.4, 2013.

LIRA, A. C. S. de; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. de. Respiração do solo sob eucalipto e cerradão. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 56, p. 15 - 28, 1999.

LUNDEGÅRDH, H. Carbon dioxide evolution and crop growth. **Soil Science**, v.23, p.417-453, 1927.

MACHADO, L. M.; MAGISTRALI, I. C.; ARALDI, D. B. Temperatura de secagem sobre a concentração de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.5, n.1, p.92-97, Jan./Mar. 2014

MATTOS, E. M. **Caracterização da sazonalidade do crescimento do lenho, da copa e da eficiência do uso da luz em clones do gênero *Eucalyptus***. 2015. 130p. Dissertação (Mestrado em Silvicultura e Manejo Florestal) – Universidade de São Paulo. Piracicaba/SP.

MURICE, J.; LACLAU, J. P.; SCORZONI, D.; GONÇALVEZ, L. M.; NOUVELLOM, Y.; BOUILLET, J. P.; et al. Fine root isotropy in *Eucalyptus grandis* plantations. Towards the prediction of root length densities from root counts on trench walls. **Plant Soil**, p.261–275, 2010.

MOITINHO, M. R. **Emissão de CO<sub>2</sub> e sua relação com propriedades, manejo do solo e palha em áreas de cana-de-açúcar.** 2013. 68p. Dissertação (Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal – SP.

MOURA, V. P. G. O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Brasil. Comunicado Técnico 11, **Embrapa**, 2004.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. **Earth System Research Laboratory.** Disponível em <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>> Acesso em 07/04/2017.

PACHECO, M. R. P. S.; HELENE, M. E. M. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO<sub>2</sub> **Estud. av.**, São Paulo, v.4, n.9, 1990

PINHEIRO, R. C.; DEUS JR, J. C.; NOUVELLON, Y.; CAMPOE, O. C.; STAPE, J. L.; ALÓ, L. L.; et al. A fast exploration of very deep soil layers by Eucalyptus seedlings and clones in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.366, p. 143–152, 2016.

PIRES, P. P. **Influência das oscilações climáticas na miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* X *E. dunnii*.** 2015. 108f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília-DF.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; FERRONATO, M. L.; MENEGASSI, A. D. **Desenvolvimento de *Eucalyptus dunnii* Maiden em diferentes espaçamentos de plantio em Pato Branco – Paraná.** 2012. Disponível em: <[http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Trabalhos/04-Manejo\\_Plantadas/MFPlantadas-Artigo-09.pdf](http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Trabalhos/04-Manejo_Plantadas/MFPlantadas-Artigo-09.pdf)> Acesso em: 15 de abril de 2017.

ROBERTS, J. M. Effects of temperature on soil respiration: a brief overview. Wallingford: **Center for Ecology and Hydrology**, 2000. 45 p.

ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Qualidade de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 314-321, Out./Dez. 2006

RYAN, M. G.; STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; et al. Forest Ecology and Management. **Elsevier**, v. 25, p. 1695–1703, 2010.

SCHLESINGER, W. H. Carbon and Agriculture – Carbon sequestration in soils. **Science**, 284: 2095, 1999.

SERPE, E. L. **Efeitos de diferentes dosagens de adubação no crescimento inicial de *Eucalyptus benthamii* na região sul do estado do Paraná**. 2015. 100p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Estadual do Centro Oeste. Irati-PR.

SIX, J.; FREY, S.D.; THIES, R.K.; BATTEN, K.M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society American Journal**, 70, p. 555-569, 2006.

SOTTA, E. D. **Fluxo de CO<sub>2</sub> entre solo e atmosfera em Floresta Tropical Úmida da Amazônia Central**. 1998. 99p. Dissertação (Mestre em Ciências Biológicas, área de concentração em Ciências de Florestas Tropicais.) - Universidade do Amazonas – UA, Manaus – AM.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; GRATTAPAGLIA, D.; CAMPOE, O.; ALVARES, C.; GOMES, F.; MATTOS, E.; OTTO, M.; HAKAMADA, R.; MORAES, M. T. Fatores hídricos e as decisões de silvicultura, de melhoramento e de proteção na eucaliptocultura. In: Encontro Brasileiro De Silvicultura, 3., 2014, Campinas. **Anais...Curitiba: Embrapa Florestas**, 2014. p. 81-98

WATSON, R.T.; RODHE, H.; DESCHGER, H.; SIEGENTHALER, U. 1990. Greenhouse Gases and Aerosols. In: J. T. Houghton, G.J. Jenkins, J.J. Ephraums (eds.) **Climate Change. The IPCC Scientific Assessment, Cambridge: Cambridge University Press, p. 1-40.**

WAGAI, R.; BRYE, K. R.; GOWER, S. T.; NORMAN, J. M.; BUNDY, L. G. Land use and environmental factors influencing soil surface CO<sub>2</sub> flux and microbial biomass in natural and managed ecosystems in southern Wisconsin. **Soil Biology & Biochemistry, Oxford**, v.30, n.12, p.1501-1509, Oct. 1998.

ZANCHI, F. B.; ROCHA, H. R.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F. L.; DEUS, J. A.; AGUIAR, L. J. G. Medição do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo: monitoramento com câmaras automáticas sobre floresta e pastagem em Rondônia. Congresso de Ecologia do Brasil, 2003, Fortaleza. **Anais**. Ed. Betania, 2003. p. 631-632.