

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

GABRIEL RIBEIRO CASTELLANO

Emissão de CO₂ do Solo em Áreas de Restauração na Mata Atlântica

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Didier Gastmans

Rio Claro – SP
2015

551.41 Castellano, Gabriel Ribeiro
C348e Emissão de CO2 do solo em áreas de restauração na Mata Atlântica / Gabriel Ribeiro Castellano. - Rio Claro, 2015
86 f. : il., figs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Centro de Estudos Ambientais de Rio Claro
Orientador: Didier Gastmans

1. Ciência do solo. 2. Fluxo de CO2 do solo. 3. Regressão linear múltipla. I. Título.

RESUMO

Para o entendimento do balanço de carbono no bioma da Mata Atlântica é prioritária a caracterização das emissões de gás carbônico (CO₂) pelo solo, bem como sua correlação com as variáveis ambientais e as características químicas, físicas e biológicas do solo. O presente estudo teve como objetivo principal caracterizar as taxas de emissão de CO₂ no solo, em duas áreas florestais, sobre Argissolo vermelho, dentro do domínio morfoclimático da Mata Atlântica, na Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA), situada no município de Rio Claro – SP. Acrescenta-se ainda a correlação dessas emissões com parâmetros atmosféricos e do solo: pressão, temperatura do ar e do solo, umidade do ar e do solo, condutividade térmica do solo, e a relação C/N, que permitiram a elaboração de um modelo estatístico de regressão linear múltipla para predição da respiração do solo nestas condições. A mensuração dos fluxos de CO₂ foi realizada em duas áreas na FEENA localizadas no talhão 23, implantado no ano de 1916, e no talhão 15 reflorestado no ano de 2014. Para as medições foi utilizado um analisador de gás infravermelho (IRGA), modelo Li-840 da marca Li-Cor, acoplado a câmara dinâmica, por meio de bomba de circulação. Em cada área foi instalada uma parcela amostral de 900 m², e dentro delas foram instalados 17 pontos de medição. As emissões de CO₂ na área recém reflorestada do talhão 15 variaram entre 0,51 e 2,59 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (média de 1,38 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), apresentando correlação linear positiva com a condutividade térmica ($r=0,56$, $p<0,0001$), a relação C/N ($r=0,28$, $p<0,05$) e o com o horário da coleta ($r=0,33$, $p<0,05$). Já no talhão 23, as emissões variaram de 0,61 a 3,86 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (média de 1,91 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), apresentando correlação linear significativa com a umidade do solo ($r=0,55$, $p<0,0001$) e a do ar ($r=0,28$, $p<0,05$). Considerando as duas áreas mensuradas, a média das emissões foi de 1,63 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, com uma correlação linear positiva significativa com umidade do solo ($r=0,55$, $p<0,0001$), a umidade do ar ($r=0,34$, $p<0,0001$), a pressão ($r=0,25$, $p<0,05$) e o horário ($r=0,33$, $p<0,01$), e uma correlação linear negativa significativa com a temperatura do ar ($r=-0,34$, $p<0,0001$). O modelo de regressão linear múltipla elaborado pelos métodos estatísticos robustos reproduziu de maneira satisfatória os fluxos de CO₂ medidos no talhão 15 ($R^2 = 0,82$), enquanto no 23 ($R^2 = 0,19$). Os resultados indicaram que as variáveis independentes selecionadas neste projeto são mais eficientes para a previsão da emissão de CO₂ pelo solo em áreas recém-reflorestada do que em áreas já restauradas, onde as emissões são mais variáveis.

Palavras chave: Fluxo de CO₂ do solo, regressão linear múltipla, Ciência do solo.

ABSTRACT

In order to improve the knowledge about the carbon balance in the Atlantic Forest biome, the characterization of soil carbon dioxide (CO₂) emissions is a priority associated to its correlation with environmental variables, and the soil chemistry, physical and biological properties. This study aims to quantify the CO₂ emission rates from the soil in two forested areas, established over Red Ultisol, located in the morphoclimatic domain of Atlantic Forest, in the municipality of Rio Claro-SP. The CO₂ emission rates were correlated to atmospheric variables and physical and chemical parameters of the soil, such as air pressure, air and soil temperature and humidity, soil thermal conductivity, and the C/N ratio. Finally develop a statistical model of multiple linear regression for prediction of soil respiration under these conditions. The study area is located in a sustainable conservation area, the State Forest Edmundo Navarro de Andrade (FEENA). The measurement of CO₂ emissions was performed using an infrared gas analyzer (IRGA), Li-840 model of Li-Cor brand, coupled to a dynamic chamber by means of a circulation pump, in two areas under different regeneration levels, located in FEENA: plot 23 was planted in 1916, and plot 15 planted in 2014. To measure the CO₂ emissions a portion up to 900 m² were demarcated, and within each study area installed 17 measuring points. The soil CO₂ emission in plot 15, during summer 2014, ranged from 0,51 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹ up 2,59 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹ (average 1.38 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹) with a significant positive linear correlation with the thermal conductivity ($r=0.56$, $p<0.0001$), the C/N ratio ($r=0.28$, $p<0.05$), and with the time ($r=0.33$, $p<0.05$). Plot 23 soil respiration range between 0.61 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹ and 3.86 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹ (average 1.91 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹), presenting a significant linear correlation with soil moisture ($r=0.55$, $p<0.0001$) and air humidity ($r=0.28$, $p<0.05$). The average emissions, considering all the measured data was 1,63 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹, with a significant positive linear correlation with soil moisture ($r=0.55$, $p<0.0001$), the air humidity ($r=0.34$, $p<0.0001$), the pressure ($r=0.25$, $p<0.05$) and the time ($0.33 r = p<0.01$), and a significant negative linear correlation with the air temperature ($r=-0.34$, $p<0.0001$). The multiple linear regression model developed by robust statistical methods showed a positive linear relationship between observed x referred to in plot 15 ($R^2 = 0.82$) and in plot 23 ($R^2 = 0.19$). The variables selected in this project are more efficient for predicting CO₂ emissions by soil newly reforested areas than in areas already restored.

Key Word: Soil CO₂ emissions, multiple linear regression, Soil Science.

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	7
1.1. Objetivos	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 Ciclo Biogeoquímico do Carbono	10
2.2 Estoques e Fixação de Carbono em Solos Tropicais	12
2.3 Emissões de CO ₂ no Solo	17
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
3.1 Caracterização do meio físico na FEENA	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 Seleção das áreas e delineamento experimental	28
4.2 Medições do Fluxo de CO ₂	31
4.3 Umidade do Solo	35
4.4 Temperatura e condutividade térmica do solo	36
4.5 Fatores Climáticos	37
4.6 Determinação do conteúdo de Carbono e Nitrogênio no solo	37
4.7 Tratamento dos dados	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 Calibração do aparelho de umidade	39
5.2 Taxas de Emissão de CO ₂ e Parâmetros de Campo	40
5.3 Avaliação das Flutuações Diárias das Emissões	51
5.4 Emissão de CO ₂ e as Variáveis Ambientais	53
5.5 Regressão linear múltipla	56
6. Considerações finais e conclusões	64
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principais estoques e fluxos anuais de carbono (em PgC). Fonte: adaptado de Schlesinger (1997) e Dias (2006).	12
Figura 2. Relação entre o aporte de carbono por sistemas agrícolas em Argissolo submetido ao sistema de Plantio Direto (PD) e Plantio Convencional (PC) FONTE: Bayer et al. (2011). ...	13
Figura 3. Modelo teórico representando as respostas de solos com diferentes níveis de degradação. Fonte: Bayer et al. (2011).	14
Figura 4. Localização da FEENA e dos talhões (15 e 23), áreas em que foram realizados os levantamentos das emissões de CO ₂	21
Figura 5. Mapa de Zoneamento da FEENA com destaque para os talhões do projeto, 23 e 15. modificado de IF (2005).	22
Figura 6. Mapa geológico da FEENA. modificado de IF (2005).	24
Figura 7. Mapa de solos da FEENA. modificado de IF(2005).	25
Figura 8. Normais climatológicas para as medidas de chuva e precipitação no período de 1954 a 1997. FONTE: IF (2005).	26
Figura 9. Representação gráfica do balanço hídrico e climatológico de 1954 a 1997. Fonte: IF (2005).	27
Figura 10. Vista do talhão 23 da estrada de acesso.	28
Figura 11. Detalhe da parcela experimental instalada no talhão 15.	29
Figura 12. Distribuição dos pontos amostrais nas parcelas de estudo.	30
Figura 13. Anel de coleta instalado no talhão 15, câmara sendo fixada no anel no talhão 23.	31
Figura 14. Câmara dinâmica em conjunto com um analisador de gás infravermelho (IRGA) e uma bomba (B), para forçar a circulação de gás pelo IRGA. Fonte: MORENO (2012).	31
Figura 15. Equipamento instalado, componentes interligados: computador, bateria, maleta e câmara.	32
Figura 16. Composição básica do IRGA. 1. Fonte de infravermelho, 2. Detector duplo, 3. Celula de amostra (caminho óptico), 4. Filtro. Fonte: MORENO (2012).	33
Figura 17: Ponto 17 do talhão 15.	34
Figura 18. Medidor de umidade do solo tipo Speed.	35
Figura 19. Equipamento KD2 - PRO acoplado ao sensor TH1 em coleta de dados no talhão 15.	37
Figura 20. Correlação entre a umidade medida em estufa e pelo medidor “Speed”	40

Figura 21. Emissões de CO ₂	48
Figura 22. Temperatura do solo e do ar durante o período de coleta.....	49
Figura 23. Umidade do solo e do ar durante o período de coleta.....	49
Figura 24. Condutividade térmica durante o período de coleta.....	50
Figura 25. Relação C/N mensuradas.....	50
Figura 26. Relação entre a média diária de CO ₂ e da umidade do solo.....	52
Figura 27. Relação entre as médias diárias de emissão e de temperatura do ar.....	52
Figura 28. Gráfico de comparação dos valores medidos (em azul) X valores calculados (em laranja).....	58
Figura 29. Valores ajustados <i>versus</i> resíduos. A distribuição dos resíduos mostra um aumento da dispersão com o aumento das emissões, indicando heteroscedasticidade.....	59
Figura 30. Leverage vs resíduos, observa-se a presença de <i>outliers</i>	59
Figura 31. Ajustados vs resíduos para regressão robusta.....	61
Figura 32. Gráfico de comparação dos valores observados X regressões (Observado – valores medidos, Calculado – regressão linear múltipla, Hubber-White – regressão Hubber-White e Robusta – regressão robusta).....	62
Figura 33. Relação entre observados e previstos pela regressão linear robusta para o talhão 15.	63
Figura 34. Relação entre observados e previstos pela regressão linear robusta para o talhão 23.	63
Figura 35. Relação entre observados e previstos pela regressão linear robusta para todos os dados.....	64

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Umidades medidas nas amostras preparadas no aparelho “Speed” e gravimétrica das amostras.....	39
Tabela 2. Emissão de CO ₂ , média dos parâmetros atmosféricos e parâmetros físico-químicos do solo do talhão 23.....	41
Tabela 3. Emissão de CO ₂ , média dos parâmetros atmosféricos e parâmetros físico-químicos do solo do talhão 15.....	44
Tabela 4. Estatística descritiva dos parâmetros estudados no projeto.....	47

Tabela 5. Estatística descritiva da emissão de co ₂ , temperatura do solo, e umidade do solo para todos os dias do estudo no biênio de 2014/2015.	51
Tabela 6. Matriz de correlações da área plantada em 2014.	53
Tabela 7. Matriz de correlações da área plantada em 1918.	54
Tabela 8. Matriz de correlação dos dados totais do projeto.	55
Tabela 9. Regressão linear múltipla com todos os dados coletados.	57
Tabela 10. Regressão pelo método de erros robustos Hubber-White (GREENDE, 2008).	60
Tabela 11. Resultados da regressão robusta para as duas áreas.	61

1. INTRODUÇÃO

As emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa (CO₂, CH₄, N₂, entre outros presentes na atmosfera) tornaram-se uma das principais preocupações ambientais em tempos atuais (KUNTORO e WAHYU, 2009). Dentre esses gases, o dióxido de carbono (CO₂) é responsável por cerca de 60% da intensificação do efeito de estufa (FERNANDES, 2003), uma vez que desde o início da revolução industrial as concentrações desse gás na atmosfera passaram de 280 ppm para cerca de 390 ppm (DENMAN et al., 2007).

Uma das principais causas do aumento das concentrações de CO₂ está relacionada à intensificação das atividades antropogênicas, como a mudança do uso e cobertura do solo. Isto é, a substituição de biomas nativos, por meio do corte e da queima da vegetação retirada, promovendo a substituição de espécies e comunidades vegetais locais por atividades agrícolas com fins econômicos. Estima-se que estas mudanças no uso do solo, que ocorrem preferencialmente em ambientes savânicos e florestais, pois as condições edafoclimáticas destes biomas são ideais para a produção agrícola de alto rendimento, sejam responsáveis por cerca 30% das emissões totais de CO₂ para a atmosfera (SABINE et al., 2004).

As emissões de gás carbônico nestes ambientes ocorrem tanto pela queima da vegetação nativa, quanto pela agricultura convencional, que é menos eficiente em acumular carbono orgânico e microbiano no solo do que áreas implantadas com agricultura conservacionista ou floresta (CARDOSO et al., 2010).

Durante as décadas de 1980 e 1990, as emissões causadas pelo desmatamento e pela remoção da biomassa florestal foram estimadas em cerca de 10⁹ toneladas de carbono por ano (WATSON et al., 2000). Se as mudanças climáticas previstas se materializarem, os impactos sobre as florestas serão profundos e de longa duração variando de região para região, afetando tanto a distribuição quanto a composição das florestas (IPCC, 2001; FAO, 2001)

Neste contexto, novas demandas em pesquisa a respeito de restauração florestal surgiram, especialmente àquelas relacionadas a quantificação dos serviços ambientais prestados por reflorestamentos, com espécies nativas na fixação de carbono e a discussão da eficácia desta estratégia na redução dos níveis de CO₂ atmosférico (FOSTER e MELLO, 2007).

Em função dos ecossistemas tropicais (solo e vegetação) representarem entre 20 e 25% do carbono terrestre mundial, associado ao seu enorme estoque de carbono armazenado no solo (SCHLESINGER, 1997) e do seu papel nos ciclos biogeoquímicos que levam a regulação do aquecimento global (FERNANDES, 2003), estudos a respeito da dinâmica desse elemento no solo são

tratados com destaque, assim como modelagens sobre mudanças climáticas. Nesse contexto, Kutsch et al. (2010) apresentam algumas questões relativas a capacidade de sequestro de CO₂ pelos ecossistemas, como:

1) Qual a quantidade de CO₂ que pode ser sequestrado pelo solo em cada ecossistema do globo terrestre? E qual é o tempo de permanência deste carbono no solo?

2) O aumento da produção primária líquida do ecossistema, devido ao aumento da concentração de CO₂ atmosférico, associado a ação antrópica, como a fertilização nitrogenada, irão aumentar a produção de serapilheira, e conseqüentemente aumentar a o estoque de carbono nos solos?

Os biomas florestais são eficientes armazenadores de carbono e as florestas possuem aproximadamente metade do carbono total armazenado pela vegetação terrestre. As florestas boreais contam com 26% do total dos estoques terrestres de carbono, enquanto as florestas tropicais e temperadas contêm 20% e 7%, respectivamente (DIXON et al., 1994).

O Brasil é o quinto maior país em extensão territorial, com aproximadamente 5,7% da superfície emersa do Planeta e 47,3% da área da América do Sul. Também detém impressionante patrimônio natural, que o põe no topo da lista dos países megadiversos, os que possuem maior número de espécies de plantas e animais (CAMPANILI e SCHAFFER, 2010).

Dentre os principais biomas brasileiros, a Mata Atlântica, que abrangia originalmente uma área de 1.300.000 Km², se estendendo por 17 estados brasileiros, hoje possui apenas 27% do seu território original. É constituída por um conjunto de formações florestais, além dos ecossistemas associados: campos naturais, restingas e manguezais, com remanescentes distribuídos em milhares de fragmentos de vegetação, que ainda guardam altos índices de fauna e flora e prestam inestimáveis serviços ambientais pela proteção de mananciais hídricos, contenção de encostas e regulação do clima (CAMPANILI e SCHAFFER, 2010).

Por estar localizada em regiões do território brasileiro que sofreram grandes transformações econômicas dependentes de processos de produção agrícolas e pecuários, a Floresta Estacional Semidecidual, é dentre as diversas formações de Mata Atlântica do estado de São Paulo, uma das mais degradadas e fragmentadas. Gêneros de origem amazônica dominam está floresta, destacando-se: *Parapiptadenia*, *Peltophorum*, *Cariniana*, *Lecythis*, *Tabebuia* e *Astronium* (VELOSO et al., 1991). As formações arbóreas que revestem solos basálticos eutróficos são raras de se encontrar, devido ao solo ser muito valorizado para a produção agrícola.

A retirada de madeira das formações da Floresta Estacional Semidecidual, principalmente no estrato superior, foi tamanha, principalmente durante o século XX, que hoje

se duvida da existência de algum remanescente que não tenha sofrido fortes pressões antrópicas no passado (RODRIGUES, 1999).

A recuperação da Mata Atlântica, portanto, possui importante papel, não só em relação à biodiversidade e demais atributos relacionados, razão pela qual foi criado o Pacto pela Restauração da Mata Atlântica, mas também como um importante regulador ecossistêmico de CO₂. Segundo o protocolo estabelecido nesse pacto, prevê-se o plantio e a restauração de 15 milhões de hectares em todo o Brasil até o ano de 2050, distribuídos em planos anuais. Esse processo irá provocar uma mudança regional no uso e ocupação do solo, o que deve alterar os balanços de CO₂ de maneira regional e global. Dentre as prioridades do protocolo, destaca-se a valoração dos serviços ambientais ou ecossistêmicos oferecidos para a sociedade, pelas áreas remanescentes e em restauração, reforçando sua importância para a qualidade de vida e os meios de produção, aproveitando oportunidades nos mercados de carbono e água.

Para que esses serviços sejam devidamente valorados, entretanto, é necessário um amplo estudo dos ciclos biogeoquímicos do carbono na Mata Atlântica, tornando-se necessária e prioritária, a avaliação e caracterização das emissões de CO₂ em áreas com diferentes tipos de solos e fisionomias florestais deste bioma. Essas emissões podem ser importante indicador da qualidade ambiental do solo, além de orientar os planos de plantio e restauração.

1.1.Objetivos

Este estudo teve como objetivo principal a caracterização das taxas de emissão de CO₂ no solo em duas áreas florestais nativas dentro do domínio morfoclimático da Mata Atlântica, localizadas na Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA), plantadas em 1918 e em 2014. Como objetivos secundários pode-se destacar:

- Correlacionar essas emissões com fatores atmosféricos e físico-químicos do solo: pressão, temperatura do ar, umidade do ar, temperatura do ar, umidade do ar, coeficiente de resistividade térmica, conteúdo de carbono no solo e a relação C/N;
- Construir modelo estatístico robusto a partir das correlações observadas, capaz de prever as taxas de emissões para a área estudada;
- Avaliar o funcionamento, em condições de campo, do sistema operacional de câmara de fluxo acoplada ao medidor de gás infravermelho, desenvolvido por Moreno (2012).

2. REVISÃO DE LITERATURA

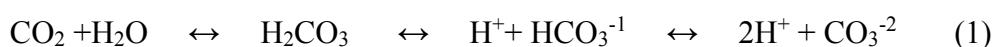
2.1 Ciclo Biogeoquímico do Carbono

O carbono é um elemento essencial para a vida no planeta, constituinte das moléculas e tecidos orgânicos de organismos vivos. É incorporado a partir da atmosfera pelas plantas por meio da fotossíntese, para formar a glicose (C₆H₁₂O₆), constituinte da matéria orgânica. A sua devolução para a atmosfera é feita pela respiração dos organismos produtores, consumidores e decompositores (CALIJURI et al, 2013).

Uma de suas principais formas de ocorrência é combinado ao oxigênio, formando moléculas de gás carbônico, que estão presentes na atmosfera (maior reservatório), ou dissolvidas nas águas dos mares, rios e lagos ou mesmo incorporado ao solo na forma de matéria orgânica (DIAS, 2006).

O ciclo do carbono vem sendo alterado pela atividade antrópica nos últimos anos, seja pela queima de combustíveis fósseis, mudanças no uso e ocupação da terra pelo corte de floresta e queima de biomassa, assim como pela atividade vulcânica. Estima-se que atualmente as atividades antrópicas contribuem anualmente com emissões de sete bilhões de toneladas de CO₂ para a atmosfera. Metade deste carbono permanece na atmosfera, e o restante é dissolvido nos oceanos ou sequestrado pela atividade fotossintética, retido na biomassa ou adicionado na matéria orgânica do solo (SCHLESINGER, 1997; GRACE, 2001).

No ambiente aquático, o CO₂ atmosférico, por meio de difusão, combina-se com água e forma o ácido carbônico (H₂CO₃), que é rapidamente dissociado em íons H⁺, bicarbonato (HCO₃⁻¹) e carbonato (CO₃⁻²), segundo a reação a seguir:



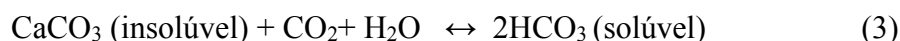
Esta reação é reversível e ocorre sempre no sentido do componente com maior concentração para o de menor concentração, tanto na água como no ar, ou seja, a reação indica que, quando houver aumento de concentração de CO₂ na atmosfera, os oceanos absorverão mais CO₂ que ficara dissolvido na água sob a forma de bicarbonato ou carbonato (CALIJURI et al, 2013).

Se houver disponibilidade de íons de cálcio na água, estes também poderão reagir com os íons carbonato e bicarbonato, formando o carbonato de cálcio, que irá precipitar, devido a sua baixa solubilidade, acumulando-se em sedimentos, de acordo com a equação abaixo:



Em condições de pH ácido, a formação de ácido carbônico proporciona a remoção de carbono do sistema. Essa remoção reduz a quantidade de CaCO₃, o que por sua vez aumenta a taxa de dissolução de rochas calcárias. Quando essas águas ligeiramente acidadas carregadas de cálcio encontram as águas de pH mais elevado do oceano, o CaCO₃ pode precipitar novamente e se acumular no sedimento (CALIJURI, 2013).

No ambiente marinho, sob condições neutras, o sistema carbonático mantém-se em situação de equilíbrio, conforme a reação abaixo:



A atividade dos organismos pode afetar essa reação. A remoção de CO₂ pela fotossíntese desloca o equilíbrio para a esquerda, favorecendo a formação e a precipitação de carbonato de cálcio (CALIJURI, 2013).

Em áreas continentais o maior reservatório de carbono é representado pelos solos, que armazenam cerca de 40x10¹⁸ g de carbono, enquanto a cobertura vegetal possui estoque carbono estimado em 56x10¹⁶ g (SCHLESINGER, 1997; GRACE, 2001). Os solos das florestas tropicais atuam como fonte, e sorvedouro de diversos gases, inclusive o CO₂, tendo participação significativa nos processos físico-químicos da atmosfera (KELLER et al., 1986).

Por meio da fotossíntese, estima-se que anualmente cerca de 60x10¹⁵ g de carbono são fixados nos tecidos vegetais, e quase a totalidade retorna a atmosfera pela respiração dos tecidos vivos e do solo. (SCHLESINGER, 1997). Os processos naturais e cíclicos chamados de ciclo do carbono compreendem: a fotossíntese, a respiração e a dissolução (Figura 1).

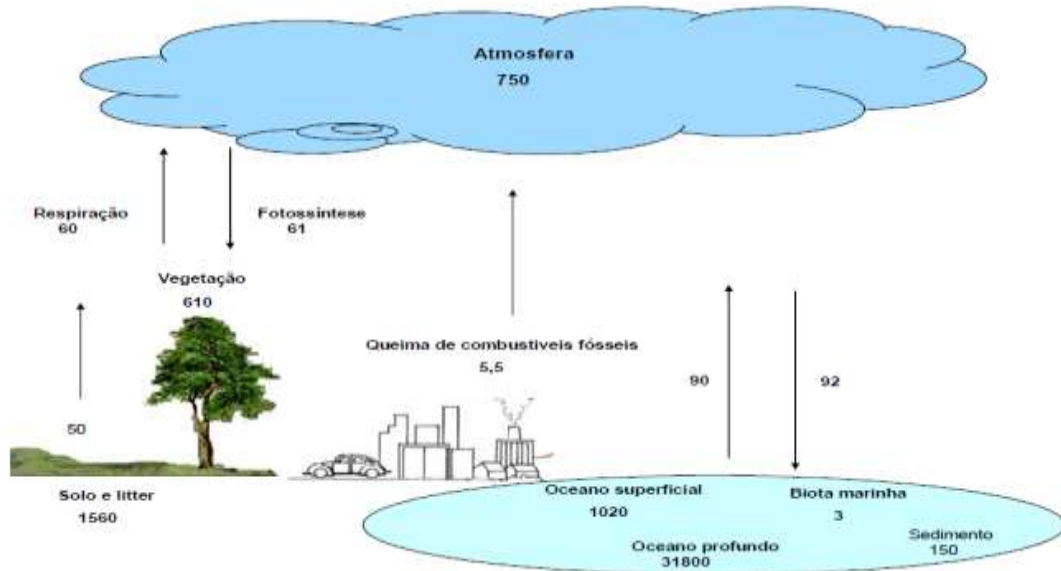


FIGURA 1. PRINCIPAIS ESTOQUES E FLUXOS ANUAIS DE CARBONO (EM PgC). FONTE: ADAPTADO DE SCHLESINGER (1997) E DIAS (2006).

2.2 Estoques e Fixação de Carbono em Solos Tropicais

As quantidades dinâmicas dos húmus, ou carbono no solo, são determinadas pelo conjunto de fatores edafoclimáticos e de manejo do sistema solo-planta, que controlam as taxas de deposição, incorporação e decomposição do carbono no solo. Em um solo em equilíbrio com vegetação, o teor de carbono (C) é dado pela fórmula:

$$C = A/K, \quad \text{sendo } A = b \cdot M \quad (4)$$

Onde: C, representa o teor (%) ou quantidade (t.ha⁻¹) de carbono no solo que, se multiplicado pelo valor de 1,724, corresponde a matéria orgânica (MO) do solo; A é a adição anual de carbono no solo (t.ha⁻¹); K representa a taxa anual de decomposição do carbono orgânico do solo; b é a quantidade (t.ha⁻¹) de MO-matéria orgânica fresca (galhos, folhas e raízes mortas) e m é a taxa de conversão (SIQUEIRA e FRANCO, 1988).

Quando áreas são restauradas com florestas nativas, existe um aporte de resíduos vegetais sobre o solo resultando em um acúmulo de carbono. Experimentos de longa duração demonstram que existe uma relação linear positiva entre o aporte de resíduos vegetais (BAYER, 1996; LOVATO et al., 2004), ou outras fontes de carbono (NICOLOSO, 2009), com o incremento das concentrações de carbono nos centímetros superficiais do solo em áreas agrícolas, mostrando que os solos tropicais e subtropicais cultivados são eficientes acumuladores de carbono (Figura 2).

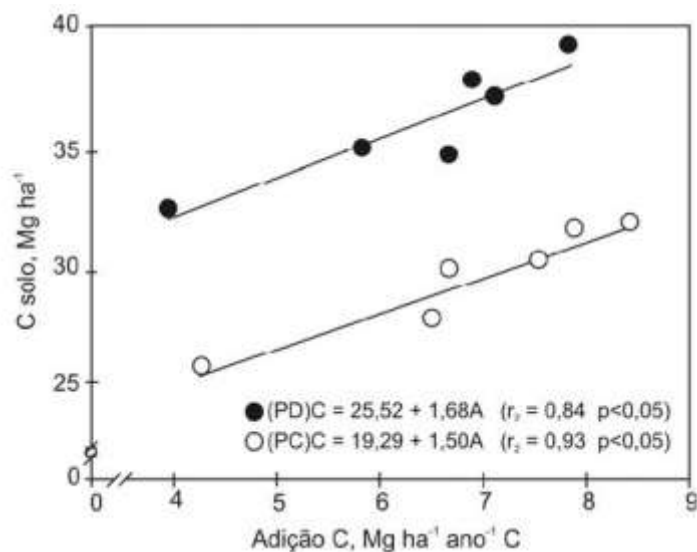


FIGURA 2. RELAÇÃO ENTRE O APORTE DE CARBONO POR SISTEMAS AGRÍCOLAS EM ARGISSOLO SUBMETIDO AO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO (PD) E PLANTIO CONVENCIONAL (PC) FONTE: BAYER ET AL. (2011).

A matéria orgânica tem uma elevada capacidade de troca de cátions (CTC), que varia de 300 a 1400 meq.100g⁻¹, além de exercer efeito tampão no solo, que está relacionado à capacidade do solo em manter seu pH inalterado quando tratado com ácido (adubação) ou base (calagem). Atua como reservatório de cátions (Ca⁺², Mg⁺², K⁺ e micronutrientes) e ânions (PO₄⁻³ e SO₄⁻²), favorecendo as condições físicas, como agregação e estabilidade dos agregados, a aeração, a capacidade de retenção de água e permeabilidade do solo, diminuindo a susceptibilidade a erosão (SIQUEIRA e FRANCO, 1998).

Muitos modelos conceituais separam a matéria orgânica em função de sua estabilidade e velocidade de decomposição, pela ação dos microrganismos do solo, o que resulta na emissão de CO₂ e em uma mudança da composição química dos solos. A atividade biológica converte a serapilheira, ou a palhada, em húmus estável, melhorando a aeração e os aspectos físicos do solo, incorporando a matéria orgânica em camadas mais profundas (KUTSCH et al., 2010).

Desta forma a matéria orgânica adicionada, além de influir na respiração do solo diretamente pela sua decomposição, também cria condições ideais para os microrganismos do solo, para as plantas, melhorando as condições físicas do solo, determinando suas propriedades, e conseqüentemente outras variáveis ambientais correlacionadas com os efluxos de CO₂ do solo.

A saturação do carbono no solo tem sido reportada em diversos tipos de solo, com texturas diversas e sob climas distintos (STEWART et al, 2009). O processo ocorre principalmente nas camadas superficiais, devido ao acúmulo gerado pelas folhas, galhos e

raízes superficiais (NICOLOSO, 2009), sendo representado por um modelo assintótico (Figura 3), para a relação estoque de carbono, adição de carbono, ao invés de um modelo linear (SIX et al., 2002).

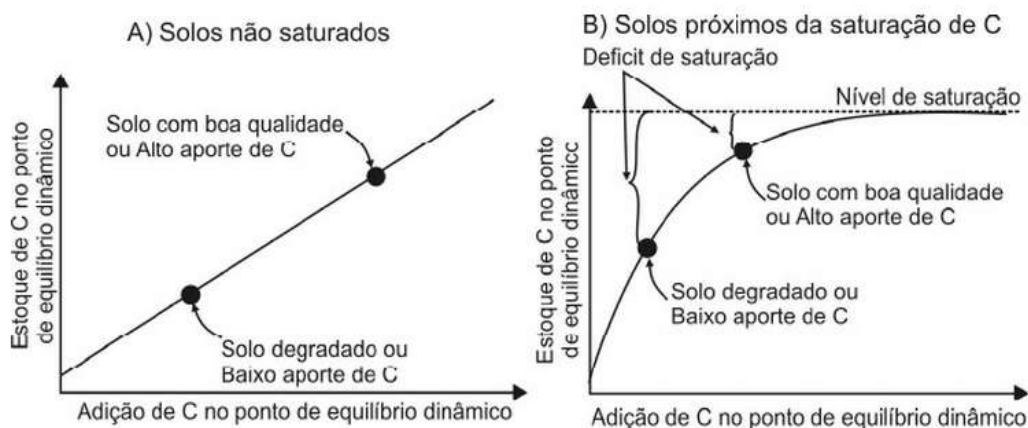


FIGURA 3. MODELO TEÓRICO REPRESENTANDO AS RESPOSTAS DE SOLOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO. FONTE: BAYER ET AL. (2011).

Modelos cinéticos, que consideram o acúmulo de MO no solo como linear, podem superestimar a capacidade de retenção de matéria orgânica pelo solo, e desconsideram o processo de saturação (Figura 3) (NICOLOSO, 2009). A saturação ocorre nos mecanismos de proteção do carbono (CHUNG et al., 2008). O modelo linear é eficiente para representar a adição de carbono em solos degradados. Já nos solos saturados o modelo assintótico representa adequadamente os acúmulos de MO.

Solos com baixos teores de carbono e degradados são aqueles que apresentam a maior capacidade e eficiência para armazenamento de carbono (Figura 3), pois estão distantes do seu nível de saturação. Ensaios com Carbono-13 demonstraram que quanto maior o déficit maior é a capacidade de estabilizar o carbono adicionado, e que a eficiência da estabilização diminui com o incremento de carbono no solo (STEWART et al., 2008).

Verifica-se que a adição de carbono é máxima nas florestas tropicais e nos solos cultivados, onde a produção de biomassa é maior em comparação com a floresta temperada e savana tropical, que apresentam limitações climáticas ou nutricionais. A taxa de decomposição (K) sofre grande influência dos fatores ambientais tais como temperatura, umidade e aeração, variando consideravelmente entre os ecossistemas e sendo maior em solos cultivado ou sob florestas tropicais (SIQUEIRA e FRANCO, 1988).

As principais alterações físicas ocorridas no solo de áreas cultivadas em comparação com o solo de matas nativas são as diminuições da macroporosidade, porosidade total e

condutividade hidráulica saturada além do aumento na densidade do solo (ZALAMENA, 2008). Uma alta densidade do solo, limita a quantidade de oxigênio disponível para os microrganismos. Em contraste, uma alta porosidade favorece a oxigenação do solo, promovendo a atividade microbiana, conseqüentemente o aumento das emissões (FANG et al., 1998).

A capacidade de proteger e estabilizar o carbono no solo, além das práticas de manejo adotadas, depende de características intrínsecas do solo. Solos argilosos são mais eficientes na estabilização e na conservação do carbono quando comparados aos arenosos (GREGORICH et al., 1995; BOLINDER et al., 1999). Um balanço positivo de nitrogênio também é primordial para que solos tropicais e subtropicais sejam eficientes em acumular a matéria orgânica (URQUIAGA et al., 2010).

O estoque de carbono vai depender do tipo de vegetação presente no local, da qualidade e a quantidade de material vegetal que cada espécie produz e deposita sobre o solo, além disso o clima irá determinar a velocidade de decomposição, conseqüentemente as emissões de CO₂ da camada mais superficial do solo para a atmosfera. As espécies tropicais e subtropicais são eficientes produtores de biomassa.

Espécies gramíneas, como a braquiária, possuem enorme capacidade de produção de carbono, produzindo mais de 26 t ha⁻¹ de matéria seca comparativamente maior que outras culturas. O milho, por exemplo, produz 8 t ha⁻¹ de matéria seca (KLUTHCOUSKI e AIDAR, 2003; KLUTHCOUSKI e STONE, 2003). Uma floresta nativa semidecidual no estado de São Paulo produz 12,2 toneladas por hectare ano de matéria seca, entre folhas e galhos (HORA et al., 2008).

Em florestas estacionais semidecíduais, a porcentagem de árvores caducifólias, ou seja, aquelas que perdem todas as folhas no inverno depositando matéria orgânica no solo, situa-se entre 20 e 50% do total de indivíduos. (VELOSO et al., 1991). Na região de Limeira - SP, em uma área reflorestada, a produção de serapilheira foi maior no inverno (697 kg/ha) do que no verão (407 kg/ha), apresentando uma forte variação sazonal, sendo um forte indicativo do grau de crescimento de do equilíbrio ecológico da nova floresta (MOREIRA e SILVA, 2004). Espera-se, portanto, que a emissão de CO₂ seja um dos indicadores de qualidade ambiental de sistemas florestais.

As raízes das plantas são mais eficientes em acumular carbono no solo do que as folhas, galhos e demais componentes da parte aérea. Isso explica por que muitas vezes espécies gramíneas são tão eficientes quanto florestas para acumular carbono no solo. Em um estudo

comparativo, as raízes converteram 21% da sua produção de biomassa, enquanto a parte aérea converteu apenas 12 % (BOLINDER et al., 1999).

As raízes, durante seu crescimento e após sua senescência contribuem para formação e a estabilização dos agregados do solo, aumentando as taxas de acúmulo de carbono, pela proteção física da matéria orgânica -M.O. (DENEFF e SIX, 2006), além disso, o tipo de sistema radicular das plantas influi na formação e estabilização de macroagregados (GALE et al., 2000).

Solos com horizontes superficiais argilosos são mais eficientes na estabilização e na conservação do carbono no solo, quando comparados a solos arenosos (GREGORICH et al., 1995; BOLINDER et al., 1999), apresentando menores taxas de degradação da M.O. Assim um Latossolo Bruno (com 620 g kg⁻¹ de argila), avaliado tanto no plantio convencional como no direto, teve uma taxa de decomposição de 1,4% e 1,2 % para cada um dos tipos de plantio, respectivamente (BAYER et al., 2006). Argissolos de textura franca, apresentaram uma taxa de decomposição de 3,14% para o plantio convencional, e de 1,82% para plantio direto (LOVATO et al., 2004).

A M.O., nos solos argilosos tropicais, geralmente está associada à óxidos de ferro, devido a elevada estabilidade química da reação organomineral, enquanto solos com elevados teores de argila, apresentam baixas taxas de degradação, mesmo após o revolvimento das camadas superficiais (OADES et al., 1989).

Pelo uso da microscopia comprovou-se que o carbono, quando aderido na fração coloidal da argila, fica protegido da decomposição por microrganismos (RAZAFIMBELO et al., 2008). Consequentemente, a estabilização da M.O. no solo, depende de sua textura e mineralogia, assim os teores de silte e argila são parâmetros confiáveis para determinar a capacidade estabilização da M.O. no solo (HASSINK, 1997)

A qualidade do solo pode ser dividida em dinâmica e inerente. São inatas ao solo atributos como textura, mineralogia, sendo determinados pelo tempo de exposição ao clima, o material de origem e o relevo. Esses fatores definem a qualidade do solo. As atividades antrópicas alteram as características físicas, químicas e biológicas do solo, definindo sua qualidade dinâmica (PEIXOTO, 2008). Não é fácil de selecionar um conjunto de propriedades que atendam a todas as condições para avaliar adequadamente o solo (LI e LINDSTROM, 2001).

2.3 Emissões de CO₂ no Solo

O efluxo de CO₂ do solo começou a ser chamado de “respiração do solo” na década de 1920, pelo pesquisador sueco Henrik Lundegårdh, responsável pelas primeiras mensurações, utilizando “câmara fechada estática” (KUTSCH et al., 2010). A respiração do solo corresponde ao CO₂ produzido pela respiração das raízes, dos microrganismos do solo e pela decomposição aeróbica de M.O., sendo um processo que varia com a vegetação e o tipo de solo (DAVIDSON et al., 2002), resultado de processos físicos, químicos e biológicos, influenciados pela umidade e temperatura do solo (EPON et al., 2006; OHASHI e GYOKUSEN, 2007) temperatura do ar, umidade do ar, radiação fotossinteticamente ativa (LLOYD e TAYLOR, 1994; DAVIDSON et al., 1998). Os outros fatores que afetam a respiração do solo são: a atividade bacteriana (LLOYD e TAYLOR, 1994), conteúdo de fósforo (DUAH-YENTUMI et al., 1998), a relação C/N (ALLAIRE et al., 2012) e pH (FUENTES et al., 2006).

O carbono produzido pela respiração das raízes é chamado de carbono “autotrófico”, enquanto o produzido pela decomposição da serapilheira é chamado de “heterotrófico” (KUTSCH et al., 2010).

A respiração “autotrófica” pode ser separada em respiração das raízes das plantas, respiração das micorrizas simbióticas e da microbiota da rizosfera (KUTSCH et al., 2010). Estima-se que essa respiração “autotrófica” seja responsável por 40%-70% do total do efluxo de CO₂ do solo para a atmosfera (HANSON et al., 2000; BOND-LAMBERTY et al., 2004; SUBKE et al., 2006).

Mecanismos físicos também influenciam o efluxo de carbono do solo. Rommel no ano de 1922 observou que a difusão, por conta do gradiente de CO₂, é a força motriz que leva a massa de ar das camadas do solo para a atmosfera. Albertsen (1977) listou outros fatores e aspectos físicos que influenciam os efluxos de CO₂ pelo solo, como: a temperatura, que induz diferenças na densidade e na difusividade entre o ar do solo e da atmosfera; mudanças na pressão barométrica; deslocamento de ar no solo devido a percolação de água (chuva, irrigação); alterações na altura do lençol freático; dissolução e transporte de gases originados de efluentes líquidos; e mudanças de pressão induzidas pela velocidade do vento (KUTSCH et al., 2010).

A informação sobre a influência da umidade e temperatura na atividade da biota do solo, bem como o pH e a disponibilidade de nutrientes são conhecidas desde a metade do século dezenove (KUTSCH et al., 2010). Sotta (1998) citou cinco fatores que podem controlar a taxa de emissão de CO₂ do solo para a atmosfera: sua taxa de produção no solo, os gradientes de

temperatura, a concentração na interface solo-atmosfera, as propriedades físico-químicas do solo e as flutuações da pressão atmosférica.

Relações empíricas entre os fluxos de CO₂ e as variáveis ambientais mostram que quanto não existem fatores limitantes, como: umidade do solo, relação silte/areia/argila, densidade e demais propriedades físicas do solo; a emissão de carbono aumenta exponencialmente com temperatura (RAICH e SCHLESINGER, 1992). Sob condições de altas temperaturas, a respiração do solo é reduzida pela restrição da atividade microbiana, a temperatura também afeta a velocidade das reações enzimáticas da microbiota do solo (KANG et al., 2003).

Dentre os fatores físicos que influenciam as emissões a difusão é o principal deles (VAN BAVEL, 1951, 1952). Alguns estudos evidenciam a influência da velocidade do vento nas emissões, no entanto, falta aprofundamento e sistematização sobre o tema (KUTSCH et al., 2010). Assim, a troca de CO₂ em sistemas solo-vegetação-atmosfera é direta e indiretamente associada a eventos meteorológicos, o que sugere que os dados meteorológicos, por si só, poderiam explicar uma parte significativa da variabilidade temporal na emissão de CO₂ de solos (LA SCALA et al., 2003).

Diversos estudos e levantamentos foram efetuados nos últimos anos buscando caracterizar os efluxos de CO₂ pelo solo nos mais diversos biomas do globo terrestre, esse esforço busca o entendimento dos processos que influenciam o balanço global de carbono, consequentemente o aquecimento global.

Medições de emissões de CO₂ na província de Shannxi, China, em área situada a 1353 metros de altitude, com precipitação anual de 504 mm e temperatura média de 10,1 °C, mostraram valores anuais médios de 3,23 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, para uma floresta dominada por carvalho de Liaodong (*Quercus liaotungensis*), 2,29 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ para uma floresta de plátano-oriental (*P. orientalis*), 2,35 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ em uma plantação de acácia-bastarda (*R.pseudoacacia*) e de 2,03 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ para uma área deflorestada (SHI et al., 2014).

Em condições de clima temperado, na Eslováquia, os valores das emissões variaram durante as estações do ano, indo de 0,92 no inverno até 15,20 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ no verão, para áreas florestais, e de 0,96 até 12,92 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ em áreas cobertas por gramíneas (PRIWITZER, 2013). Outros ecossistemas florestais de clima temperado também apresentaram durante o inverno valores de emissão menores do que durante o verão, 0,64 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ no inverno austríaco (SCHINDLBACHER et al., 2007) e 0,67 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ na estação fria no estado de Washington, Estados Unidos (MCDOWELL et al., 2000).

Ainda em clima temperado, na Croácia, um estudo das correlações entre as variáveis meteorológicas e as emissões de CO₂, registrou uma correlação positiva com a temperatura do solo ($r=0,42$) e a temperatura do ar ($r=0,45$) e uma forte correlação negativa com a umidade do ar ($r=-0,55$) (BILANDZIJA et al., 2014).

No Brasil em florestas nativas no bioma Amazônico encontraram valores médios de emissão de 6,4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ na cidade de Manaus – AM, (SOTTA et al., 2004) e 6,1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no município de Paragominas – PA (TRUMBORE et al., 2006). Alguns autores encontraram valores menores para a região Norte do país, 3,2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em Manaus (CHAMBERS et al., 2004) e 4,25 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em Juruena, estado do Mato Grosso (NUNES, 2003).

Na floresta Amazônica foram encontradas relações significativas $p<0,05$ entre a emissão de CO₂ e a umidade do solo, em Sinop-MT durante a estação seca ($R^2=0,76$) e chuvosa ($R^2=0,78$), em Caxiuanã também foi encontrada relação significativa entre as variáveis na estação seca ($R^2=0,82$) e na chuvosa ($R^2=0,82$). O mesmo ocorreu em Manaus-PA valores significativos para a estação seca ($R^2=0,68$) e chuvosa ($R^2=0,60$) (DIAS, 2006).

A correlação entre a umidade do solo e as emissões de CO₂ pelo solo já foi evidenciada por diversos autores, para Dias (2006) de forma geral os fluxos de carbono para a atmosfera são maiores durante a estação chuvosa do que durante a estação seca, sendo a umidade do solo e a temperatura os principais condicionadores da produção desse gás pelo solo.

Em Florestas tropicais diversos autores encontraram correlação linear positiva significativa entre a respiração do solo e a temperatura do solo (EPRON et al., 2006; DIAS, 2006). Em uma área cultivada com cana de açúcar no interior de São Paulo, as emissões não apresentaram correlação significativa com a temperatura do solo (BICALHO et al., 2014), o que pode ser explicado pela baixa variabilidade da variável durante o período de coleta (DIAS, 2006).

No estado de São Paulo, infelizmente não existem estudos sobre a Mata Atlântica, os registros existentes foram obtidos em áreas de cultivo de cana de açúcar, e os valores médios medidos são de: 1,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ após colheita mecanizada (BICALHO et al., 2014). Brito et al. (2010) apontaram que as emissões de CO₂ na cultura da cana podem variar em função da topografia e dos tipos de manejo empregado, conforme observado anteriormente por Panosso et al. (2009). Esses autores mediram emissões de 2,16 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em áreas em que a colheita era mecanizada e de 5,29 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para áreas com colheita manual, precedida pela queimada da cana.

Em uma área implantada com cana de açúcar se encontraram medias diárias entre 1,26 até 1,77 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ durante o mês de julho na cidade de Guariba no interior de São Paulo. Encontrando coeficientes de variação entre 38% até 90%. E uma correlação linear positiva significativa ($p < 0,05$) com a macroporosidade ($r = 0,21$) e negativa com a microporosidade ($r = -0,18$) e a densidade do solo ($r = -0,32$) (BICALHO et al., 2014).

As correlações lineares significativas entre a emissão de CO₂ e atributos do solo como a macroporosidade, microporosidade e a densidade foram citadas por diversos autores (EPRON et al., 2006; PANOSSO et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2013; BICALHO et al., 2014), sugerindo a importância destes atributos como reguladores da atividade microbiana, conseqüentemente as emissões de CO₂ pelo solo.

As propriedades térmicas dos solos também já foram correlacionadas com as emissões, em um monitoramento da emissão de CO₂ em um pasto no estado de Missouri –EUA foi encontrada correlação significativa ($r = 0,62$, $p < 0,0001$) entre a respiração do solo e a condutividade térmica (NKONGOLO et al., 2010).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Estima-se que o estado de São Paulo originalmente possuía 81,8% de sua área coberta por florestas (20.450.000 ha). Estudos sobre a evolução da cobertura florestal demonstraram que, em 1990, restavam apenas 1.731.472 ha, ou seja, 4,16% do território do estado. Desse total, 45,77% (792.448,57 ha) estão inseridos em Unidades de Conservação (UCs) sob responsabilidade da Secretaria do Meio Ambiente (SÃO PAULO, 1998).

A área de estudo, a Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, constitui uma UCs de uso sustentável, conforme dispõe a lei 9.985/00 que institui o Sistema Nacional de UCs, criada pelo Decreto Estadual 46.819, situada no município de Rio Claro localizado a 173 km a noroeste da capital do Estado de São Paulo. O município, que possui dois distritos, Assistência e Ajapi (Figura 4), apresenta área total de 499,9 km², e está inserido no aglomerado urbano de Piracicaba e na bacia do hidrográfica do Rio Corumbataí, podendo ser acessado pelo sistema Anhanguera/Bandeirantes e Rodovia Washington Luiz (SP 310).

A Floresta, localizada no limite leste da zona urbana da cidade de Rio Claro, foi criada em 1909, e possui área 2.230,5 hectares, constituindo a maior variedade de espécies de eucalipto concentradas em uma única área em território brasileiro, o que a torna referência no cultivo, pesquisa e produção florestal, sendo conhecida internacionalmente como o “berço do eucalipto” (IF, 2005).

Originalmente pertencia à CPEF-Companhia. Paulista de Estradas de Ferro, sendo transferida para a FEPASA-Ferrovia Paulista S.A. durante a década de 70, época da estatização das vias férreas. A partir de 1998 passou a ser administrada pela SMASP-Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, sendo a FF-Fundação Florestal responsável pela gestão da unidade (IF, 2005).

Estima-se que ainda existam mais de sessenta espécies de eucaliptos na FEENA, além de espécies híbridas espontâneas e induzidas. Toda essa área constitui um importante banco genético, com valor estratégico no caso da introdução de alguma nova praga ou doença desconhecida da silvicultura brasileira. Edmundo Navarro de Andrade, o idealizador da FEENA, foi muito criticado pelos nacionalistas, que não concordavam que com a introdução do eucalipto, seria possível obter uma qualidade de madeira superior e crescimento mais rápido do que as espécies locais (IF, 2005).

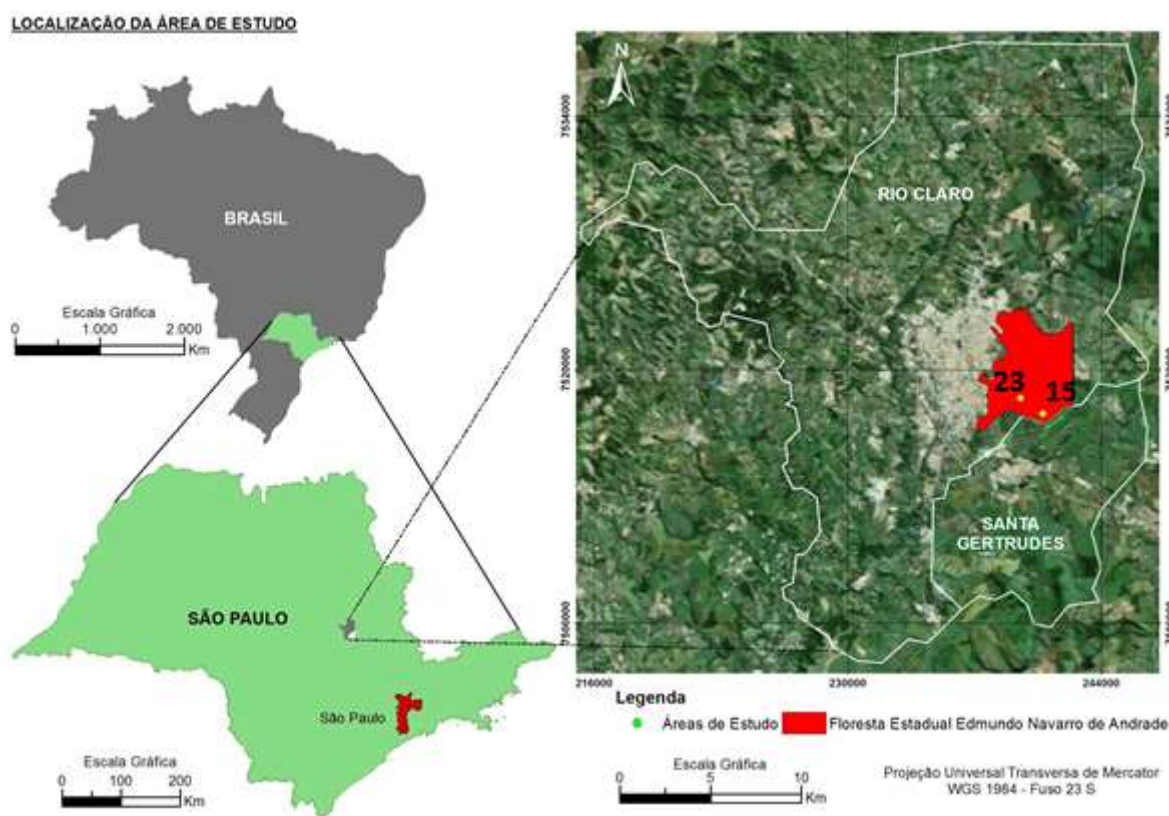


FIGURA 4. LOCALIZAÇÃO DA FEENA E DOS TALHÕES (15 E 23), ÁREAS EM QUE FORAM REALIZADOS OS LEVANTAMENTOS DAS EMISSÕES DE CO₂.

Para compatibilizar a conservação da base genética do eucalipto, a vegetação nativa e o uso público, a UCs foi organizada espacialmente em zonas e em talhões (Figura 5), em função

dos distintos usos e graus de proteção necessários (IF, 2005). Do cruzamento dos levantamentos básicos com os dados de trabalhos de campo e demais informações disponíveis, os talhões da FEENA foram classificados em zonas denominadas: Histórico-cultural, Recuperação, Manejo Florestal, Conflitante, Uso Público, Uso Especial, Conservação. Cada qual com diferentes regras para o uso, determinando as funções, sejam elas sociais, administrativas, ecológicas, de manejo ou de proteção diferenciadas.

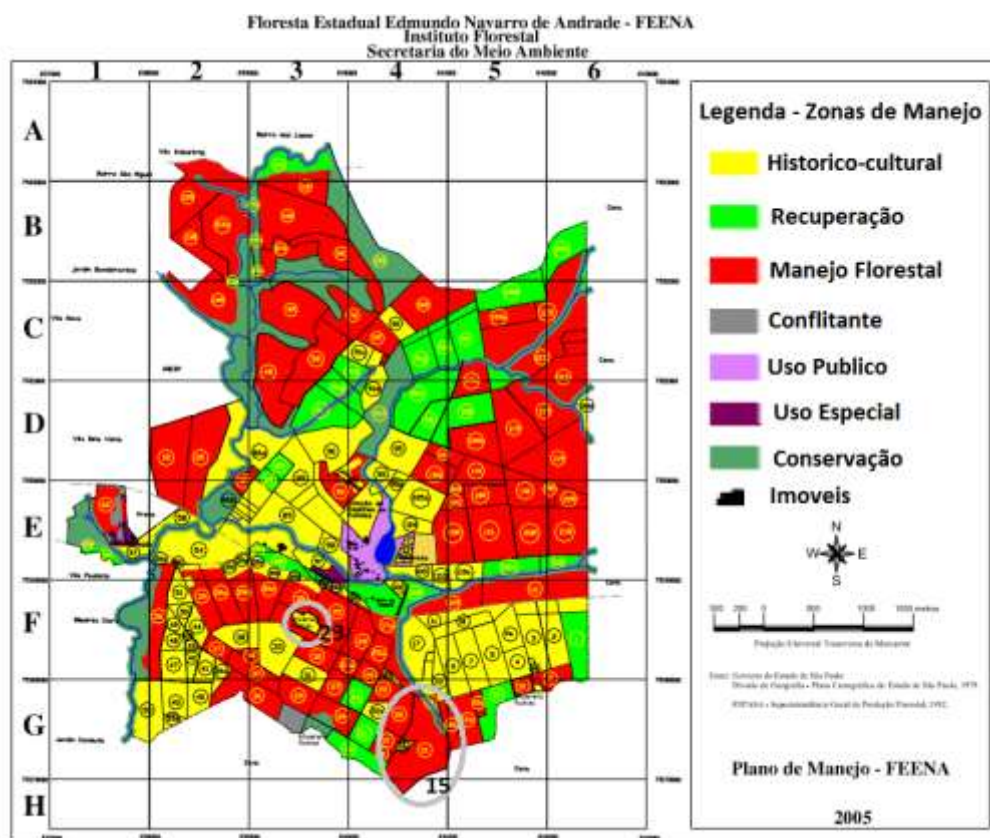


FIGURA 5. MAPA DE ZONEAMENTO DA FEENA COM DESTAQUE PARA OS TALHÕES DO PROJETO, 23 E 15. MODIFICADO DE IF (2005).

Na Zona Histórico-cultural são encontradas amostras históricas, científicas, culturais, arqueológicas que devem ser conservadas e interpretadas para o público. Seu objetivo é proteger sítios históricos e arqueológicos, em harmonia com o meio ambiente, promover a pesquisa científica, educação ambiental e interpretação. Nesta zona estão inseridos os antigos talhões, que marcam o início dos plantios (IF, 2005).

A maior área da unidade está inserida na Zona de Manejo Florestal que compreende as florestas nativas ou plantadas, com potencial econômico para o manejo múltiplos e sustentáveis dos recursos. Objetivando a geração de tecnologia e de modelos de manejo florestal, com

atividades de pesquisa, educação ambiental e interpretação. A Zona de Uso Público tem como objetivo a recreação intensiva, o lazer e a educação ambiental em harmonia com o meio (IF, 2005).

São denominadas Zona de Recuperação as áreas degradadas, que uma vez recuperadas serão incorporadas novamente a uma das outras zonas permanentes. Seu objetivo é deter a degradação dos recursos, podendo incluir ainda ocorrer atividades de pesquisa, educação ambiental e interpretação (IF, 2005). Inseridas na Zona de Uso Especial estão as áreas necessárias à administração como a sede, moradias de funcionários nas colônias e o canil da Polícia Militar (IF, 2005).

Áreas ocupadas por empreendimentos de utilidade pública, como gasodutos, oleodutos, linhas de transmissão, antenas, captação de águas, barragens, estradas, cabos óticos são denominadas de Zonas de Uso Especial (IF, 2005).

As áreas objetos deste experimento, os talhões 23 e 15 (Figura 1), estão situados, respectivamente, nas Zonas Histórico-Cultural e de Manejo Florestal. O talhão 23 está corretamente inserido na Zona Histórico-cultural pois é uma amostra histórica, científica e cultural, um dos primeiros talhões plantado com espécies nativas no Brasil. Já o talhão 15 fica na Zona de Manejo Florestal, seu atual uso, a recuperação e a conservação ambiental é conflitante com o estabelecido no plano.

3.1 Caracterização do meio físico na FEENA

A FEENA está inserida na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, que tem como principais afluentes os rios Passa Cinco, Cabeça e o Ribeirão Claro. As cabeceiras encontram-se nas escarpas da linha de cuestas basálticas da Serra dos Padres, suas águas afluem para o Rio Piracicaba. O conjunto de corpos hídricos superficiais da UC é constituído por pequenos cursos d'água, como o córrego do Ibitinga e o Santo Antônio, e o principal deles o Ribeirão Claro é utilizado na captação de água para o município (IF, 2005).

A área em que se encontra a Bacia do Ribeirão Claro caracteriza-se pela presença de interflúvios tabuliformes, terraços escalonados e várzeas, entre altitudes de 550 a 650 metros (PENTEADO, 1968). O aspecto levemente dissecado existente na Bacia deve-se, aos córregos que entalham seus vales, gerando vertentes suaves que delimitam os interflúvios subtabulares dominantes na região (PENTEADO, 1981).

O Ribeirão Claro atravessa a UC no sentido norte-sul, estabelecendo em alguns trechos, o limite entre a FEENA e a área urbana de Rio Claro. Este fluxo fluvial flui por um vale aberto

de fundo achatado, onde se encontram planícies fluviais bem desenvolvidas e meandros abandonados, formando depósitos aluvionares de areia e argila (IF, 2005).

A Floresta está localizada no compartimento de relevo do estado denominado Depressão Periférica Paulista, unidade geomorfológica que tem sua origem vinculada ao estabelecimento de uma zona de fraqueza estrutural no contato entre as litologias sedimentares vinculadas à Bacia Sedimentar do Paraná, e pré-cambrianas, associadas ao Planalto Atlântico (IF, 2005).

Geologicamente as duas áreas selecionadas para os levantamentos de campo, estão assentadas sobre rochas intrusivas básicas – diabásio (Figura 6), associadas a Província Magmática do Paraná (PMP), considerada uma das maiores manifestações vulcânicas de caráter básico em área continental da Terra, envolvendo, em território brasileiro, os estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, São Paulo, sudoeste de Minas Gerais, sudeste do Mato Grosso do Sul. Os basaltos ocorrem sob a forma de derrames e rochas intrusivas (sills e diques) (MACHADO et al., 2007).

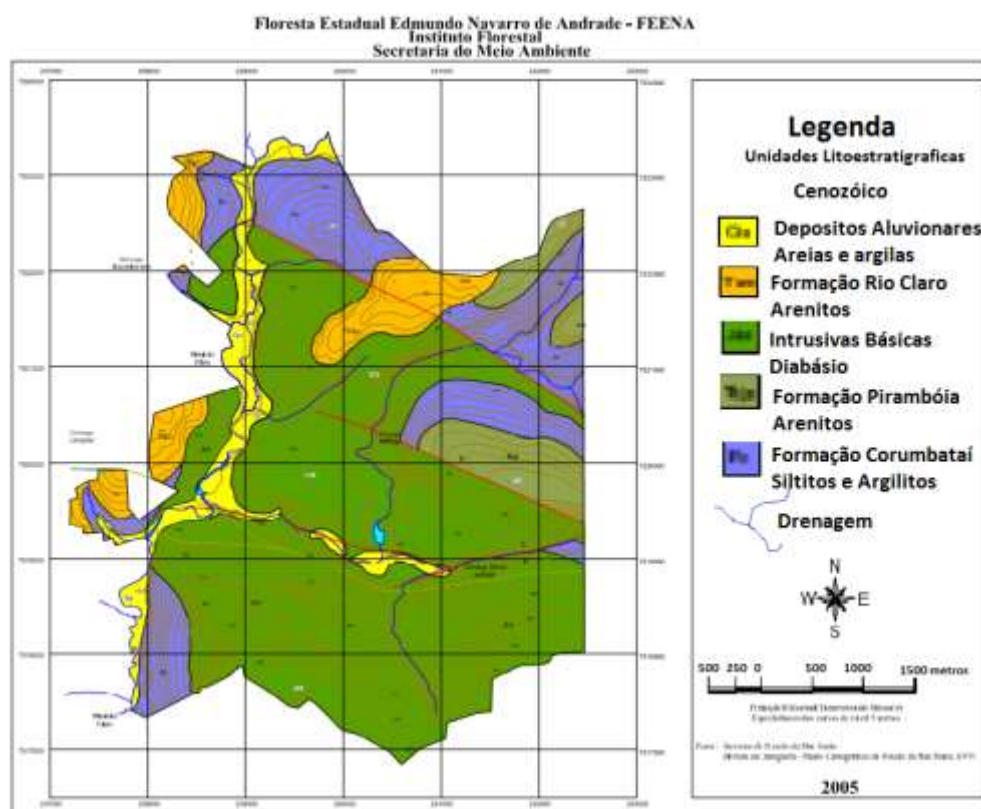


FIGURA 6. MAPA GEOLÓGICO DA FEENA. MODIFICADO DE IF (2005).

Os solos das áreas de estudo são chamados de Argissolos Vermelhos devido a cor dada pelos altos teores e à natureza dos óxidos de ferro, presentes no material originário, ocorrem

em relevos ondulados bem drenados (Figura 7). Apresentam fertilidade natural dependente do material de origem. Por ser classificado como Eutrófico, é um solo de boa fertilidade. O teor de argila no horizonte subsuperficial (de cor vermelha) é bem maior do que no horizonte superficial, sendo esse incremento de argila percebido sem dificuldade quando se faz o exame de textura, no campo (EMBRAPA, 2006).

Por ser classificado como típico, no quarto nível de classificação trófica, os solos das áreas de estudo não apresentam nenhuma característica restritiva, o que que poderia limitar a atividades agrícolas, tais como os abruptos, em que a diferença textural entre os horizontes superficiais torna o solo suscetível a erosão, ou os saprolíticos que apresentam restrição a penetração de raízes na superfície (EMBRAPA, 2006). A formação vegetal nativa no local é a Floresta Estacional Semidecidual que recobre solos basálticos eutróficos bem drenados no interior do estado de São Paulo (RODRIGUES, 1999).

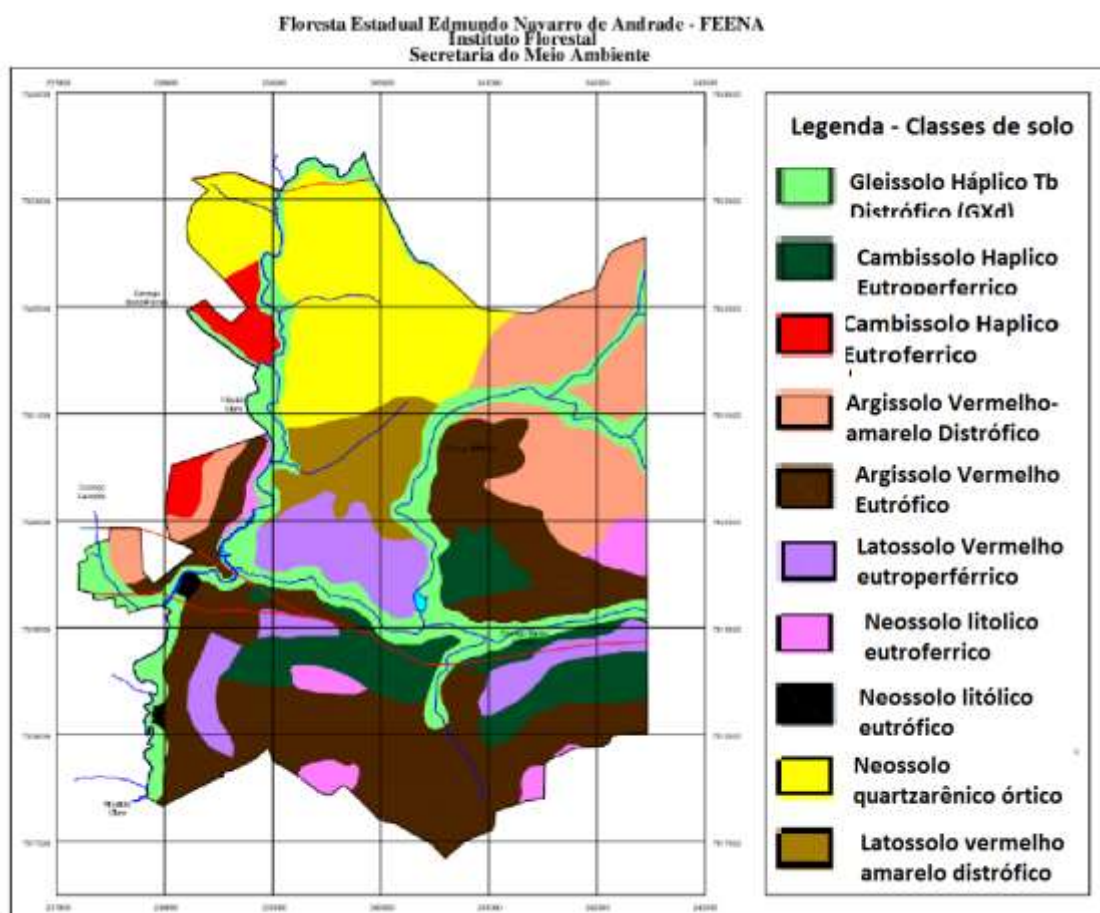


FIGURA 7. MAPA DE SOLOS DA FEENA. MODIFICADO DE IF(2005).

A área de estudo integra o bioma da Mata Atlântica, sendo domínio das Florestas Estacionais, também denominadas Matas Mesófilas. Diferentemente do que se observa nas

Florestas Ombrófilas (úmidas e perenes), as Florestas Estacionais são regidas por uma estacionalidade climática marcante, tendo a porcentagem de árvores caducifólias chega a 50%. Em Rio Claro as matas estacionais frequentemente encontram-se intercaladas com formações de Cerrados, domínio que nesta região é determinado por solos arenosos com baixa capacidade de retenção de água (IF, 2005).

A classificação do clima na área da FEENA é do tipo Cwa de Köppen: *mesotérmico* (com temperatura média do mês mais frio entre -3 °C e 18 °C) e *tropical de altitude* (com inverno seco e temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C). A temperatura média anual é 20,6 °C (Figura 8) e pode-se diferenciar o período mais quente (setembro a abril), sendo que entre dezembro e março a média fica acima de 22 °C, atingindo 23 °C em fevereiro; e o período menos quente (maio a agosto), com temperaturas abaixo de 19 °C, sendo junho e julho os meses mais frios (17,1 °C) (IF, 2005).

A precipitação anual é de 1534 mm, diferenciando-se duas estações bem marcadas, um período chuvoso, que se estende de outubro a março, em que a precipitação alcança 1188 mm (77% do total); e outro período mais seco, que se estende de abril a setembro, com precipitação média de 346 mm (23% do total). Ainda se distinguem os meses mais chuvosos (dezembro, janeiro e fevereiro) respectivamente: 248, 252 e 210 mm; e os meses menos chuvosos (junho, julho e agosto), respectivamente 48, 34 e 34 mm (IF, 2005) (Figura 10).

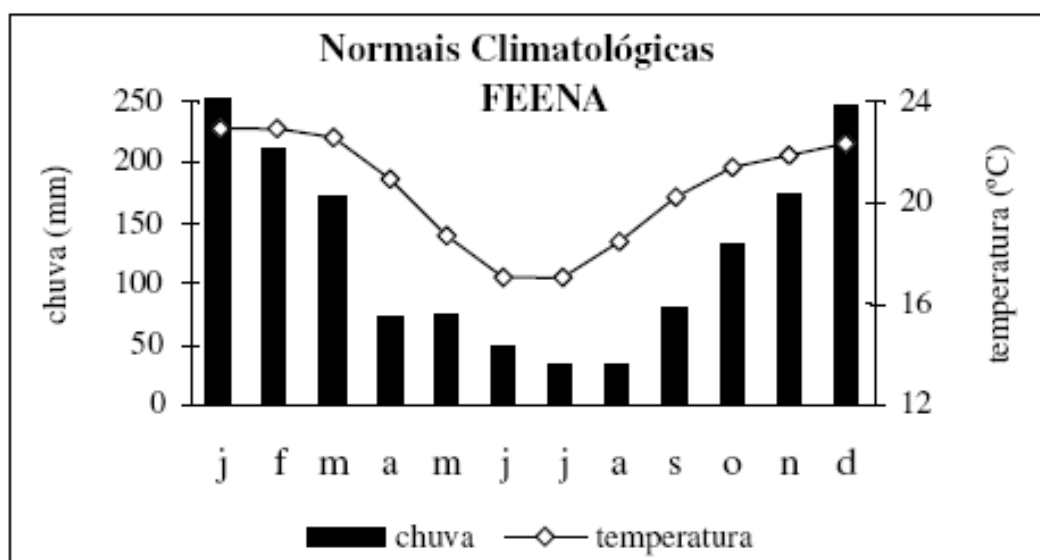


FIGURA 8. NORMAIS CLIMATOLÓGICAS PARA AS MEDIDAS DE CHUVA E PRECIPITAÇÃO NO PERÍODO DE 1954 A 1997. FONTE: IF (2005).

O regime de chuvas é influenciado pelas massas Tropicais Atlântica e Equatorial Continental, que trazem umidade para o continente. Elevadas temperaturas causam ascensão de

ar quente e úmido, ocasionando chuvas. O relevo de cuestas causa chuvas orográficas, também contribuindo à elevada precipitação. No inverno as baixas temperaturas são influenciadas pela massa Polar Atlântica (MONTEIRO, 1967).

De acordo com o balanço hídrico climatológico (THORNTHWAITE e MATHER, 1955) (Figura 9) a deficiência hídrica anual é de apenas 7 mm, concentrada nos meses de julho e agosto. Enquanto o excedente hídrico anual é 572 mm, com maior concentração entre outubro e março. Nos outros meses não há excedente ou ele é quase nulo (IF, 2005).

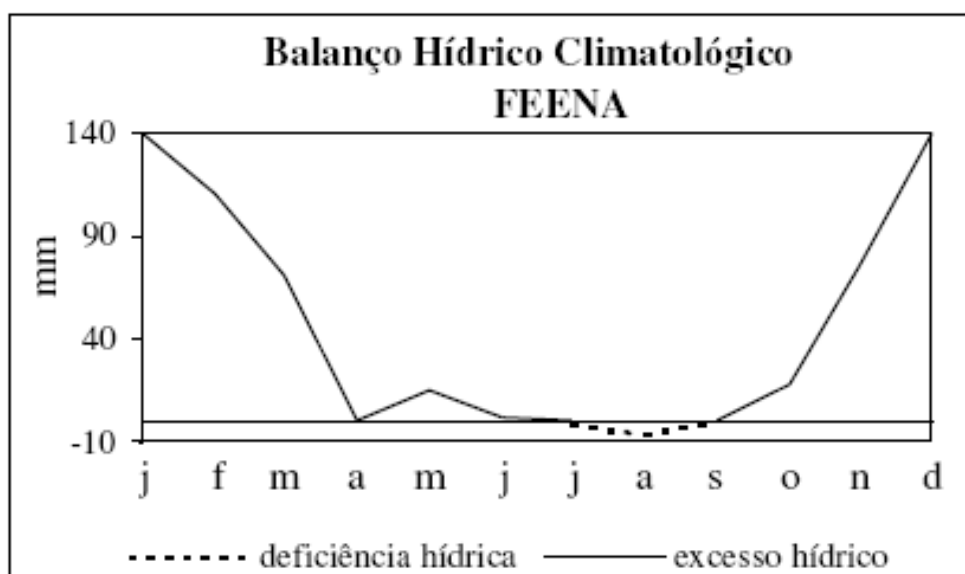


FIGURA 9. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO BALANÇO HÍDRICO E CLIMATOLÓGICO DE 1954 A 1997.

FONTE: IF (2005).

Deve ser considerado, que a deficiência hídrica nos solos varia de acordo com a quantidade de argila, a macroestrutura e o relevo, esses fatores determinam a quantidade de água disponível para as plantas, conseqüentemente a vegetação. Dessa forma em solos arenosos, com deficiência hídrica pronunciada, ocorre a vegetação de cerrado, em áreas com solos argilosos a Floresta Estacional Semidecidual, em solos rasos (litolíticos ou regolíticos) a Floresta Estacional Decidual, que perde 100% de suas folhas durante o inverno.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Seleção das áreas e delineamento experimental

Com o objetivo de avaliar e caracterizar as diferenças entre a emissão de carbono pelo solo de áreas já restauradas e em processo de restauração dentro do domínio morfoclimático da Mata Atlântica, foram selecionadas uma área recém implantada, o talhão 15, plantado em 2014, e uma área quase centenária.

O talhão 23 (Figura 10) foi implantado em 1916 com o intuito de comparar o crescimento dessas árvores indígenas com o eucalipto. Pretendeu-se demonstrar que a espécie australiana crescia mais rápido e possuía qualidade de madeira superior para a produção de carvão, lenha e dormentes. Mudanças de 70 espécies de 25 famílias diferentes, muitas de interesse comercial, foram plantadas nesse talhão, no espaçamento de 2 por 2 m em uma área de 1,1 hectare. Neste ensaio, observou-se que a espécie exótica era a mais adequada para os plantios em larga escala pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro (IF, 2005).



FIGURA 10. VISTA DO TALHÃO 23 DA ESTRADA DE ACESSO.

Como quase a totalidade da FEENA foi reflorestada com eucalipto, ou outras espécies exóticas, áreas com vegetação nativa existem como resultantes de processos de manejo florestal restrito ou inexistente (coleções históricas e talhões de interesse para melhoramento genético), ou de ausência de ocupação de áreas antes florestadas (talhões abandonados,). Nestes casos, seja por formação de um sub-bosque nos talhões mais antigos, ou por regeneração, infestação

ou chuva de sementes de áreas florestadas vizinhas, é que pode ser encontrada uma *vegetação nativa* (IF, 2005).

Recentemente, alguns destes talhões abandonados na FEENA foram incluídos em um termo de compromisso de recuperação ambiental e plantios de restauração foram efetuados, no ano de 2014 e o talhão 15 (Figura 11) foi replantado com mais de 80 espécies diferentes, em consonância com a Resolução SMA - 8, de 31-01-2008, que fixou a orientação para o reflorestamento heterogêneo de áreas degradadas, o plantio tem o acompanhamento da CETESB, por tratar-se de compensação ambiental.



FIGURA 11. DETALHE DA PARCELA EXPERIMENTAL INSTALADA NO TALHÃO 15.

A ocupação do solo no talhão 15, inserido na Zona de Manejo Florestal, desde o início do século foi com o plantio de eucalipto, após o último corte, há aproximadamente 10 anos atrás, o local foi abandonado e vinha sendo ocupado por espécies gramíneas, como o capim colônia.

Recentemente, incluída em um termo de compromisso de recuperação ambiental e replantada, sua destinação está em conflito com o Plano de Manejo. Apresenta condições mais próximas a de uma área cultivada com cana-de açúcar do que a uma florestal, devido a palhada das gramíneas recém dessecadas sobre o solo, e ao histórico de transito de maquinas, durante a colheita dos diversos ciclos do eucalipto

Com o objetivo de se avaliar as emissões de CO₂ do solo nessas duas áreas, foram instaladas parcelas amostrais de 900 m². Dentro dessas parcelas foram instalados 17 pontos de coleta, distribuídos de acordo com a figura 12. A distância entre os pontos foi fixada em 10 metros (doze pontos), enquanto na porção central a distância entre os pontos foi de 5 metros.

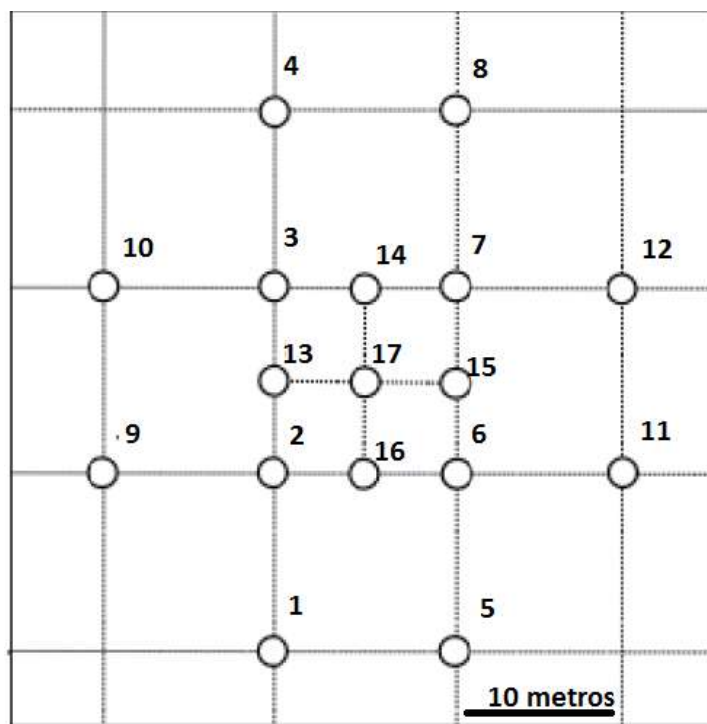


FIGURA 12. DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS AMOSTRAIS NAS PARCELAS DE ESTUDO.

Para a fixação do equipamento com o qual foram efetuadas as medições, em cada um dos pontos foi fixado um anel de PVC de 10 a 15 cm de altura no solo (Figura 13). A fixação desses anéis no solo buscou minimizar alterações na estruturação da serapilheira e da superfície do solo.

As medições foram realizadas entre os meses de setembro de 2014 e maio de 2015 entre 08h00 e 17h00 horas, de maneira a aproveitar o horário de maior incidência de luz solar, aumentando a segurança dos trabalhos e das pessoas envolvidas. Em cada ponto foram efetuadas cinco medidas de fluxo, conjuntamente com a coleta dos dados das variáveis ambientais: pressão e a temperatura e umidade do ar. As propriedades físicas do solo foram mensuradas uma única vez em cada ponto, concomitantemente da coleta de dados de fluxo. As variáveis medidas foram: umidade, temperatura e o coeficiente de resistividade térmica do solo. O solo para a determinação da relação C/N, foi coletado em setembro de 2014.



FIGURA 13. ANEL DE COLETA INSTALADO NO TALHÃO 15, CÂMARA SENDO FIXADA NO ANEL NO TALHÃO 23.

4.2 Medições do Fluxo de CO₂

As medições do fluxo de CO₂ foram realizadas com equipamento desenvolvido por Moreno (2012) na UNESP-Rio Claro, constituído por um analisador de gás infravermelho (IRGA), modelo LI-840, da marca Li-Cor, acoplado a uma câmara dinâmica, por meio de uma bomba circulação (Figuras 14 e 15).

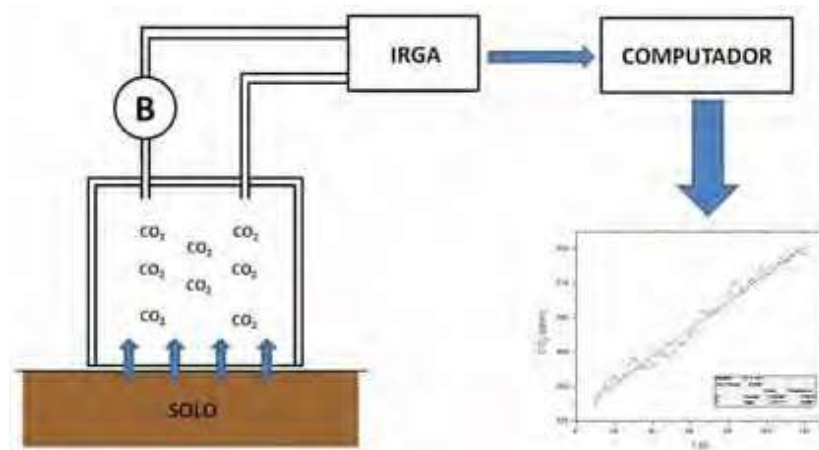


FIGURA 14. CÂMARA DINÂMICA EM CONJUNTO COM UM ANALISADOR DE GÁS INFRAVERMELHO (IRGA) E UMA BOMBA (B), PARA FORÇAR A CIRCULAÇÃO DE GÁS PELO IRGA. FONTE: MORENO (2012).



FIGURA 15. EQUIPAMENTO INSTALADO, COMPONENTES INTERLIGADOS: COMPUTADOR, BATERIA, MALETA E CÂMARA.

Este sistema representa com vantagens, uma alternativa em relação aos diversos sistemas comerciais disponíveis para este fim. Dentre estas vantagens destacam-se: o baixo custo total e de manutenção do sistema, a possibilidade de controle automático ou remoto via internet, a possibilidade de troca do detector para medidas de outros gases e de medida simultânea de outros parâmetros como, por exemplo, umidade, temperatura, pressão e velocidade do ar no local da amostragem (MORENO, 2012).

O fluxo devido a respiração do solo é calculado com a taxa de variação de concentração de CO₂, dentro do volume da câmara por unidade de tempo, segundo a equação (5) apresentada abaixo:

$$R_s = (C_n - C_{n1}) / \Delta t * (V/A) * (P/RT), \quad (5)$$

Onde,

R_s = Fluxo de CO₂ referente (umol m⁻² s⁻¹)

C_n = concentração de CO₂ (ppm)

P = Pressão do ar (Pa)

T = Temperatura do ar (K)

R = constante específica dos gases (8,314 J mol⁻¹ K⁻¹)

V = Volume da câmara (m³)

A = área de cobertura horizontal da câmara (m²)

A espectroscopia no infravermelho, método analítico empregado pelo equipamento na determinação das concentrações de CO₂, utiliza a absorção da radiação para mensurar a concentração dos compostos químicos, sendo usualmente utilizada para determinar as concentrações de compostos formados por hidrogênio, carbono ou oxigênio e nitrogênio (MORENO, 2012).

O analisador de gás infravermelho (IRGAS) (Figura 16) é composto por um emissor infravermelho, uma célula de medição (chamada de caminho ótico), um filtro ótico e um detector. O sinal infravermelho proveniente da fonte atravessa a célula de medição onde se encontra a amostra de gás, a ser analisada. Antes de incidir na amostra, a luz passa por um monocromador (que pode ser um prisma, uma rede de dispersão ou um filtro), que transforma a luz policromática em monocromática. (ROMANO, 2006, apud MORENO, 2012).

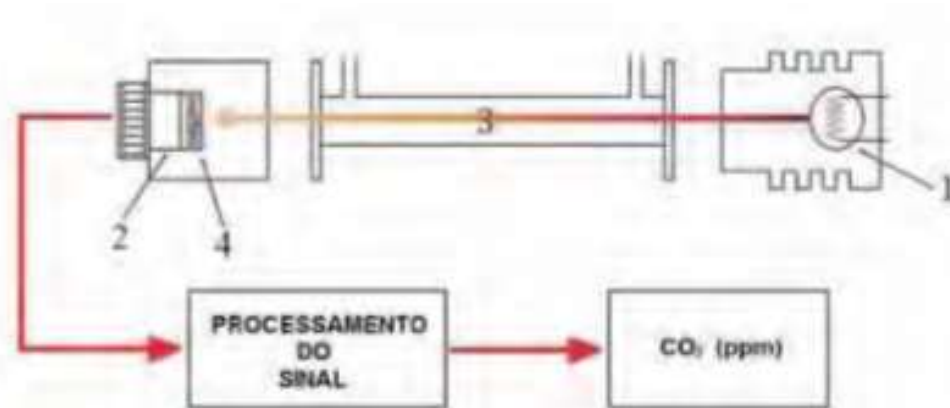


FIGURA 16. COMPOSIÇÃO BÁSICA DO IRGA. 1. FONTE DE INFRAVERMELHO, 2. DETECTOR DUPLO, 3. CELULA DE AMOSTRA (CAMINHO ÓPTICO), 4. FILTRO. FONTE: MORENO (2012).

A amostra de ar ao passar pelo analisador, no caso o Li-840, é irradiada por um feixe de luz de intensidade conhecida (P_0). Os fótons irradiados entram em contato com as moléculas da amostra, e quando estas apresentam energia vibracional incompatível com a energia dos fótons, nenhuma energia é absorvida e todos os fótons passam pela amostra. O feixe irradiado que sai da amostra terá a mesma intensidade do feixe incidente $P_0 = P$. Da mesma forma, se a energia dos fótons da luz irradiada for compatível com a energia vibracional das moléculas, estas irão absorver os fótons, aumentando o seu movimento vibracional, e consequentemente, a intensidade do feixe incidente será reduzida. A intensidade do feixe de fótons que deixa a amostra terá uma intensidade menor do que a intensidade incidente inicial ($P_0 > P$) (HARRIS, 1999 apud MORENO, 2012).

Previamente as leituras de campo o equipamento foi calibrado no Departamento de Física da UNESP Rio Claro. Para tanto foram utilizadas duas misturas de gases com concentrações conhecidas, e aplicado os polinômios de calibração disponíveis no software do aparelho. As calibrações foram feitas com uma mistura contendo apenas nitrogênio puro, portanto com 0 ppm de CO₂ (0% CO₂), e outro com uma concentração de 335 ppm de CO₂ (0,035% CO₂).

O software de aquisição utilizado para registro dos dados coletados pelo Li-840 também é usado para a calibração do analisador, por meio dele é possível calibrar e registrar o nível de *Zero CO₂*, e o de *Span CO₂* onde a concentração conhecida é registrada. Desta forma são necessários dois pontos com concentração conhecida para a calibração.

Após a calibração do equipamento, os dados foram coletados na FEENA, cada curva de aquisição de dados representada no gráfico (Figura 17) fornece as informações da concentração de CO₂ relacionadas ao tempo, com essas informações e a partir da equação (5) calcula-se uma medida da emissão de CO₂. Em cada ponto foram realizadas até cinco mensurações, e cada uma das curvas representadas na figura 17, foi obtida a partir do fechamento de câmara do equipamento e acúmulo de CO₂ no seu interior. Com a abertura da câmara observa-se um decréscimo abrupto nas concentrações no interior da câmara.

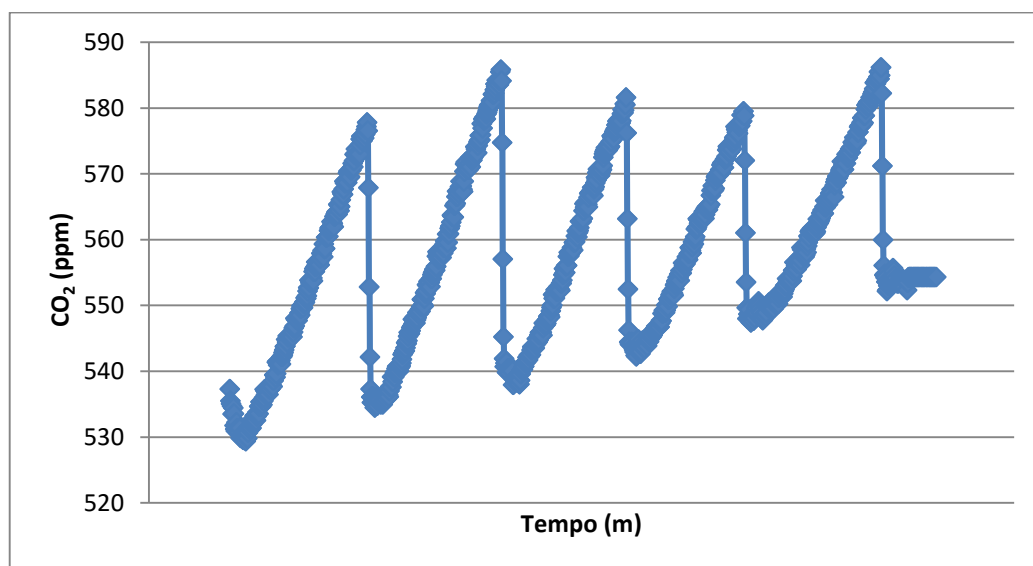


FIGURA 17: PONTO 17 DO TALHÃO 15.

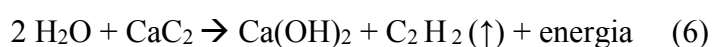
4.3 Umidade do Solo

Para as medições da umidade do solo em campo, foi utilizado um aparelho denominado “*Speed moisture tester*” (Figura 18), que segundo Garzella (2011) apresentou resultados satisfatórios na determinação da umidade em vários tipos de solos. Esse equipamento inicialmente foi utilizado para determinações rápidas de materiais de origem diversa, como sementes, fibra e carvão, baseado na reação da água com o carbureto.



FIGURA 18. MEDIDOR DE UMIDADE DO SOLO TIPO SPEED.

O princípio químico que fundamenta o medidor do tipo *Speed*, deriva do processo de formação e quantificação do acetileno a partir da reação da água com carbureto de cálcio, também conhecido como método do carbureto de cálcio. O princípio de medição consiste em misturar no interior de um cilindro, o carbureto de cálcio com o material a ser analisado, e a partir da reação com a água presente no solo, forma-se o gás acetileno. Nesse processo a água contida no material de análise promove a hidrólise do carbureto, fazendo que dois átomos de hidrogênio substituam o cálcio em sua estrutura, vindo a originar o acetileno, segundo a reação química abaixo (GARZELLA, 2011):



Estabelece-se, assim, uma relação estequiométrica entre a quantidade de água participante como reagente e a quantidade de acetileno obtido como produto. A partir desta

relação, onde cada mol de acetileno corresponde a dois mols de água, torna-se possível determinar o teor de água de uma amostra através da quantificação do acetileno formado, sendo um gás na temperatura ambiente, sua quantificação é efetuada medindo-se a pressão exercida por esse sobre o interior do cilindro, fazendo o uso de um manômetro (GARZELLA, 2011).

Com o emprego de tabelas, o valor de pressão obtido é convertido em porcentagem de água contida na amostra, comumente, durante a realização das leituras encontra-se dificuldade em obter corretamente a umidade, por problemas na leitura da pressão, ou pela frequente ausência de correspondência na tabela de conversão de pressão e umidade pressão e umidade (GARZELLA, 2011).

Inicialmente foi necessária a calibração das leituras do aparelho, realizada em abril de 2014, com o intuito de otimizar o manuseio do equipamento e obter maior precisão na determinação da umidade do solo, permitindo a correta correlação da umidade com os outros parâmetros medidos no projeto.

Para a realização da calibração, foi efetuada a coleta de um quilo de solo da camada de 0-10 cm do talhão 23, que foi destorroado e colocado em uma bandeja, exposto ao ar, de modo a perder sua umidade natural. A seguir, foram separadas 5 alíquotas de 150 gramas, acondicionadas em sacos plásticos, às quais foram adicionadas diferentes quantidades de água, de modo a serem obtidas diferentes umidades. Essas alíquotas foram armazenadas em caixas de isopor durante 3 dias, para sua homogeneização.

Após todas as alíquotas de solo terem sido homogeneizadas, três amostras de cada um dos tratamentos foram colocadas em um cadinho, previamente pesado, e o peso úmido foi mensurado, os cadinhos foram colocados em estufa a 100 °C por 24 horas e após foram novamente pesadas, a partir da diferença entre o peso úmido e o peso seco foi calculada a umidade gravimétrica do solo.

4.4 Temperatura e condutividade térmica do solo

A temperatura do solo e a condutividade térmica do solo foram medidas através do sistema de aquisição de dados KD 2Pro (*Decagon*, USA) acoplado a uma sonda KS-1 (uma agulha contendo um aquecedor e um termopar) com precisão de $\pm 5\%$ para valores de condutividade térmica entre 0,2 e 2,0 W m⁻¹ K⁻¹ e $\pm 1\%$ para valores de 0,02 até 0,2 W m⁻¹ K⁻¹. Os dados de temperatura e condutividade térmica foram coletados a 5 centímetros do ponto de coleta, inserindo-se a sonda KS-1 no solo, durante a aquisição de dados dos efluxos de CO₂ (Figura 19).



FIGURA 19. EQUIPAMENTO KD2 - PRO ACOPLADO AO SENSOR TH1 EM COLETA DE DADOS NO TALHÃO 15.

4.5 Fatores Climáticos

Os parâmetros climáticos, temperatura, umidade do ar e pressão atmosférica, foram medidos em campo com uma estação meteorológica da marca ANOVA, parte integrante do modelo DRIA-0511, colocada no solo ao lado da câmara, com registro contínuo desses parâmetros durante as medições dos fluxos de CO₂. As medidas foram anotadas em planilha no campo e posteriormente correlacionadas com a emissão de CO₂.

4.6 Determinação do conteúdo de Carbono e Nitrogênio no solo

Foram coletadas amostras de solo nos talhões 15 (17 pontos) e 23 (10 pontos), para a determinação da quantidade de carbono e nitrogênio. Esse material foi retirado com auxílio de um canivete, descartando-se a serapilheira, sendo realizada a coleta da camada superficial (0-5 cm). A seguir o material foi secado em estufa a 40 °C, destorroado manualmente com rolo de madeira, e passado por peneira de malha fina (2 mm), obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

As amostras TFSA foram maceradas e passadas por uma peneira ≤ 100 mesh. Depois cinco gramas de solo de cada ponto foram separados, ensacadas e identificados para as análises. O nitrogênio foi obtido pelo método de Kjeldahl (1883), e o carbono foi obtido pelo método de Yeomans e Bremner (1988).

4.7 Tratamento dos dados

Para a avaliação da correlação existente entre os parâmetros medidos em campo (variáveis independentes) e as emissões de CO₂ (variável dependente) foi utilizada a análise de regressão múltipla, uma técnica estatística multivariada, amplamente empregada em estudos ambientais, quando se busca avaliar o poder preditivo das variáveis independentes sobre variáveis dependentes (HAIR Jr. et al., 2005).

O modelo genérico de uma regressão múltipla é dado pela expressão abaixo, quando aplicado a uma amostra de tamanho n (HAIR Jr. et al., 2005):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} \dots + \beta_p X_{pi} + \varepsilon_i, \quad i=1,2,\dots,n \quad (7)$$

Onde,

Y_i = variável dependente ou explicada $i=1, 2 \dots n$.

β_0 = intercepto ou termo independente de variável

β_1 = inclinação de Y com relação a variável X_1 mantendo constantes X_2, X_3, \dots, X_p

β_p = inclinação de Y com relação a variável X_p mantendo constantes X_1, X_2, \dots, X_{p-1}

ε_i = erro aleatório em Y , para a observação i , $i=1,2,\dots,n$.

Para a regressão múltipla é condição que $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$, ou seja, os erros devem apresentar distribuição gaussiana, sendo independentes com média zero e variância constante.

Existem alguns pressupostos estatísticos que não podem ser violados quando são elaborados modelos utilizando a regressão linear múltipla, e que são necessários para a adequada estimação. A modelagem deve atender pelo menos os seguintes pressupostos: linearidade, homocedasticidade e heterocedasticidade, independência dos resíduos, normalidade, *outliers*, colinearidade e multicolinearidade (HAIR Jr. et al., 2005).

Para investigar a existência de alguma violação aos pressupostos estatísticos da regressão linear múltipla, a maneira mais simples e usual é através da análise de um gráfico de resíduos (HAIR Jr. et al., 2005). Dados ambientais, assim como os coletados neste projeto, frequentemente apresentam valores censurados, perdidos e/ou discrepantes (*outliers*), bem como podem não apresentar uma distribuição Normal ou Log-normal, e a relação entre os

valores medidos e estimados para a variável dependente podem apresentar erros de grande proporção, denominada de heterocedasticidade, que pode aviesar a predição da variável dependente (HAIR Jr. et al., 2005). Quando algumas das suposições estatísticas são violadas, ações corretivas devem ser tomadas, nestes casos métodos estatísticos robustos podem ser os mais adequados para corrigir as violações da relação geral (SABINO, et al., 2014).

Alguns cuidados mínimos devem ser tomados com relação a quantidade de variáveis independentes e o número de amostras da relação geral, a adição de uma variável, sempre aumenta o valor do coeficiente de relação, quando o número de amostral é pequeno, esse efeito é denominado de super-ajuste, esse impacto é minimizado sempre que a amostra possuir um mínimo de 10 a 15 observações por variável independente (HAIR Jr. et al., 2005).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Calibração do aparelho de umidade

As umidades calculadas para as amostras de solo preparadas, pelo método gravimétrico e pelo método *speed*, são apresentadas na tabela 1, abaixo, assim como o gráfico que mostra a correlação entre essas determinações (Figura 20).

TABELA 1. UMIDADES MEDIDAS NAS AMOSTRAS PREPARADAS NO APARELHO “SPEED” E GRAVIMÉTRICA DAS AMOSTRAS.

Amostra	Umidade “Speed”	Umidade Gravimétrica
1	4,00	4,81
3	7,50	8,22
2	11,50	13,73
4	15,80	20,91
5	19,80	31,90

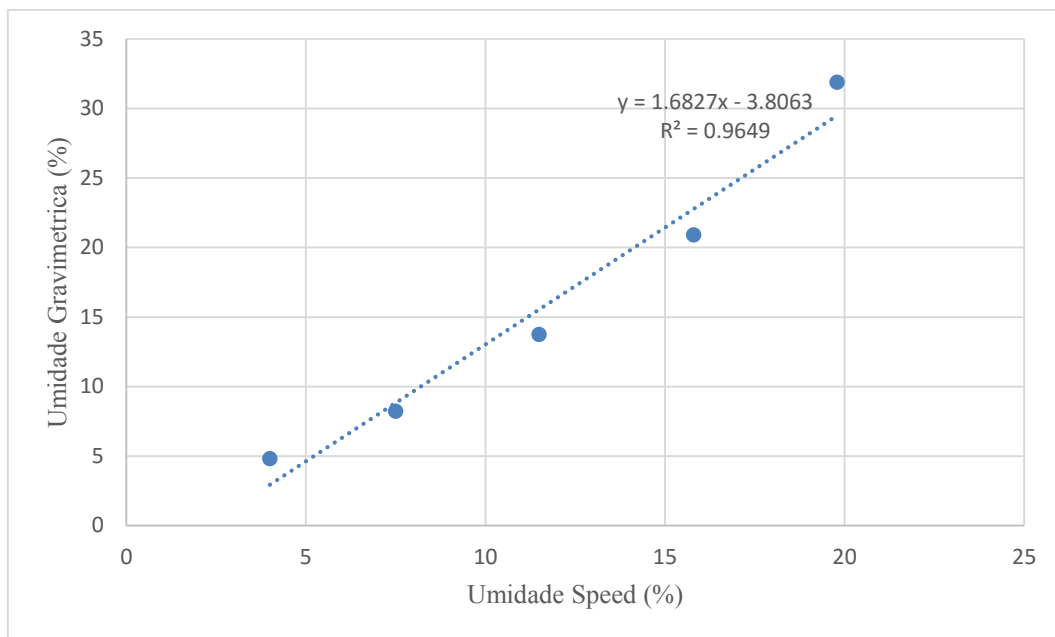


FIGURA 20. CORRELAÇÃO ENTRE A UMIDADE MEDIDA EM ESTUFA E PELO MEDIDOR “SPEED”.

A equação de correlação (equação 8) obtida, possibilitou a correção das medidas de umidade feitas em campo, e que foram utilizadas no presente estudo.

$$Y=1.68X - 3.806, \quad (8)$$

Onde,

Y= Umidade “Speed” e X = Umidade gravimétrica

5.2 Taxas de Emissão de CO₂ e Parâmetros de Campo

Os dados referentes as medições de fluxo de CO₂ realizadas são apresentadas nas tabelas 2 e 3, contendo as emissões de CO₂ registradas, a data e o horário do registro, a temperatura do ar, a umidade do ar, a pressão atmosférica, a umidade do solo, a temperatura do solo, a condutividade térmica, e a relação C/N. Na tabela 4 é apresentada uma estatística básica dos parâmetros avaliados para os talhões 15 e 23. No total realizaram-se cento e vinte medidas da emissão de CO₂ pelo solo, sendo setenta e uma no talhão 15, e quarenta e nove no talhão 23.

O tratamento estatístico dado ao conjunto de dados levantados necessita de um mesmo número de dados para as duas áreas, entretanto, isso não foi possível. Como forma de contornar esse problema de distribuição amostral, foram selecionadas apenas 49 amostras no talhão 15, utilizando o seguinte critério: a partir da média das emissões de CO₂ em cada ponto, foram selecionadas apenas aquelas que apresentaram um desvio menor em relação ao valor médio.

TABELA 2. EMISSÃO DE CO₂, MÉDIA DOS PARÂMETROS ATMOSFÉRICOS E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO DO TALHÃO 23.

Ponto	Data	Horário	Emissão ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Umi. Ar (%)	Temp. Ar (°C)	P Atm. (hPa)	Umid. Solo (%)	Temp. Solo (°C)	Cond. Térm. ($\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	C/N
1	7/10/2014	8:25	1,08	54,00	23,70	940,20	26,00	18,31	0,63	10,14
13*	10/7/2014	9:26	1,99	46,00	24,80	940,60	40,90	19,76	1,06	10,63
13	10/7/2014	9:33	2,29	41,00	24,80	940,80	40,90	19,76	1,06	10,63
13	10/7/2014	9:39	2,23	41,00	27,30	940,80	40,90	19,76	1,06	10,63
13	10/7/2014	9:45	2,01	29,00	33,30	940,80	40,90	19,76	1,06	10,63
13*	10/7/2014	9:53	2,59	33,00	33,30	940,80	40,90	19,76	1,06	10,63
3*	10/7/2014	10:11	1,99	30,00	30,00	940,60	37,70	19,41	0,97	10,27
3	10/7/2014	10:18	2,10	33,00	30,20	940,80	37,70	19,41	0,97	10,27
3	10/7/2014	10:25	2,17	35,00	28,50	940,50	37,70	19,41	0,97	10,27
3*	10/7/2014	10:32	1,92	35,00	28,50	940,50	37,70	19,41	0,97	10,27
3	10/7/2014	10:38	2,28	35,00	29,70	940,50	37,70	19,41	0,97	10,27
4*	10/7/2014	10:53	1,58	24,00	32,20	940,30	22,80	21,82	1,07	11,94
4	10/7/2014	10:59	1,79	24,00	35,80	940,10	22,80	21,82	1,07	11,94
4	10/7/2014	11:07	1,84	22,00	37,20	939,70	22,80	21,82	1,07	11,94
4	10/7/2014	11:14	1,93	24,00	35,50	939,70	22,80	21,82	1,07	11,94
4*	10/7/2014	11:21	1,98	29,00	31,30	939,60	22,80	21,82	1,07	11,94
5*	10/8/2014	14:32	1,39	32,00	37,80	940,60	21,60	33,02	0,41	12,63
5	10/8/2014	14:04	2,01	15,00	43,40	940,80	21,60	33,02	0,41	12,63
5	10/8/2014	14:48	2,06	12,00	46,20	940,50	21,60	33,02	0,41	12,63
5	10/8/2014	14:56	1,96	15,00	48,30	940,50	21,60	33,02	0,41	12,63
5*	10/8/2014	15:03	2,04	13,00	50,20	940,50	21,60	33,02	0,41	12,63
7	10/8/2014	16:04	1,61	13,00	36,30	934,60	31,90	23,45	0,92	8,57
7	10/8/2014	16:13	1,53	13,00	36,60	933,80	31,90	23,45	0,92	8,57

Ponto	Data	Horário	Emissão ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Umi. Ar (%)	Temp. Ar (°C)	P Atm. (hPa)	Umid. Solo (%)	Temp. Solo (°C)	Cond. Térm. (W $\text{m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	C/N
7	10/8/2014	16:02	1,33	13,00	36,60	934,00	31,90	23,45	0,92	8,57
8*	10/8/2014	16:45	1,53	19,00	33,80	934,00	40,90	23,49	0,96	10,01
8*	10/8/2014	16:51	1,87	21,00	32,00	934,20	40,90	23,49	0,96	10,01
8	10/8/2014	16:57	1,71	21,00	32,00	934,20	40,90	23,49	0,96	10,01
8	10/8/2014	17:04	1,71	23,00	31,10	934,20	40,90	23,49	0,96	10,01
8	10/8/2014	17:11	1,77	26,00	30,80	934,20	40,90	23,49	0,96	10,01
14*	10/9/2014	13:58	0,80	15,00	48,50	932,40	44,20	25,73	0,96	10,63
14*	10/9/2014	14:05	1,03	12,00	46,30	932,40	45,20	25,73	0,96	10,63
14	10/9/2014	14:12	0,96	13,00	45,30	932,40	46,20	25,73	0,96	10,63
14	10/9/2014	14:18	0,89	13,00	45,40	932,40	47,20	25,73	0,96	10,63
14	10/9/2014	14:25	1,01	12,00	46,90	932,20	48,20	25,73	0,96	10,63
15*	10/9/2014	14:38	1,50	13,00	45,90	932,10	27,50	35,29	0,86	13,63
15*	10/9/2014	14:44	1,69	12,00	46,50	931,90	28,50	35,29	0,86	13,63
15	10/9/2014	14:51	1,61	11,00	47,50	931,50	29,50	35,29	0,86	13,63
15	10/9/2014	14:57	1,68	12,00	46,90	931,90	30,50	35,29	0,86	13,63
15	10/9/2014	15:06	1,57	12,00	46,20	931,90	31,50	35,29	0,86	13,63
17	10/9/2014	15:13	1,15	14,00	44,30	931,90	33,20	29,14	0,73	10,63
17*	10/9/2014	15:02	1,52	12,00	46,20	931,90	34,20	29,14	0,73	10,63
17	10/9/2014	15:27	1,06	11,00	47,40	931,90	35,20	29,14	0,73	10,63
17	10/9/2014	15:32	0,98	15,00	48,00	931,90	36,20	29,14	0,73	10,63
17	10/9/2014	15:04	0,82	13,00	50,00	931,90	37,20	29,14	0,73	10,63
16*	10/9/2014	15:05	1,43	11,00	47,30	930,90	31,30	27,49	0,57	18,81
16	10/9/2014	15:57	1,61	13,00	45,00	932,40	32,30	27,49	0,57	18,81
16	10/9/2014	16:03	1,60	13,00	40,40	931,80	33,30	27,49	0,57	18,81
16*	10/9/2014	16:01	1,68	15,00	38,70	932,00	34,30	27,49	0,57	18,81

Ponto	Data	Horário	Emissão ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Umi. Ar (%)	Temp. Ar (°C)	P Atm. (hPa)	Umid. Solo (%)	Temp. Solo (°C)	Cond. Térm. (W $\text{m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	C/N
16	10/9/2014	16:16	1,61	17,00	37,10	932,00	35,30	27,49	0,57	18,81
16	10/9/2014	16:22	1,60	15,00	37,30	932,00	36,30	27,49	0,57	18,81
9	10/23/2014	7:15	0,64	64,00	23,90	939,00	28,50	22,55	0,41	9,51
9	10/24/2014	7:03	0,68	54,00	26,30	939,50	28,50	22,55	0,41	9,51
9	10/25/2014	7:04	0,65	48,00	28,00	939,00	28,50	22,55	0,41	9,51
9*	10/26/2014	7:45	0,70	45,00	29,30	940,00	28,50	22,55	0,41	9,51
9	10/27/2014	7:52	0,59	45,00	30,40	940,40	28,50	22,55	0,41	9,51
9*	10/28/2014	8:00	0,68	45,00	30,40	940,40	28,50	22,55	0,41	9,51
10	10/29/2014	8:14	0,93	40,00	34,00	940,40	26,50	23,94	0,49	9,95
10	10/30/2014	8:31	0,93	28,00	40,70	940,30	26,50	23,94	0,49	9,95
10*	10/31/2014	8:29	1,07	22,00	42,90	940,00	26,50	23,94	0,49	9,95
10	11/1/2014	8:37	0,86	14,00	44,30	940,00	26,50	23,94	0,49	9,95
10	11/2/2014	8:46	0,86	25,00	41,50	940,00	26,50	23,94	0,49	9,95
6	11/3/2014	8:59	0,61	22,00	42,40	940,20	25,20	23,32	0,34	10,69
6	11/4/2014	9:07	0,69	29,00	39,30	940,50	25,20	23,32	0,34	10,69
6	11/5/2014	9:16	0,64	25,00	40,50	940,50	25,20	23,32	0,34	10,69
6	11/6/2014	9:31	0,58	23,20	37,30	940,60	25,20	23,32	0,34	10,69
6*	11/7/2014	9:36	0,51	33,00	36,70	940,60	25,20	23,32	0,34	10,69
11	11/8/2014	9:46	0,75	31,00	37,90	940,40	30,20	25,10	0,80	9,68
11	11/9/2014	9:53	0,98	26,00	41,60	940,40	30,20	25,10	0,80	9,68
11	11/10/2014	9:59	0,93	14,00	44,80	940,40	30,20	25,10	0,80	9,68
11*	11/11/2014	10:07	1,09	13,00	45,70	940,40	30,20	25,10	0,80	9,68
11	11/12/2014	10:13	0,86	11,00	47,30	940,00	30,20	25,10	0,80	9,68

Obs: *dados não utilizados na análise estatística.

TABELA 3. EMISSÃO DE CO₂, MÉDIA DOS PARÂMETROS ATMOSFÉRICOS E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO DO TALHÃO 15.

Ponto	Data	Horário	Emissão ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Umi. Ar (%)	Temp. Ar (°C)	P Atm. (hPa)	Umid. Solo (%)	Temp. Solo (°C)	Cond. Térm. ($\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	C/N
4	11/10/2014	13:02	3,86	53,00	28,00	940,40	53,80	23,02	0,29	8,19
4	11/10/2014	13:27	2,54	56,00	28,00	940,40	53,80	23,02	0,29	8,19
4	11/10/2014	13:35	2,38	64,00	29,50	940,30	53,80	23,02	0,29	8,19
4	11/10/2014	13:42	2,30	54,00	30,10	940,30	53,80	23,02	0,29	8,19
4	11/10/2014	13:52	2,08	54,00	29,50	940,20	53,80	23,02	0,29	8,19
3	11/10/2014	14:08	1,59	47,00	30,50	940,30	47,10	23,43	0,28	9,66
3	11/10/2014	14:19	1,68	49,00	30,10	940,20	47,10	23,43	0,28	9,66
3	11/10/2014	14:34	1,56	56,00	29,50	940,30	47,10	23,43	0,28	9,66
3	11/10/2014	14:39	1,55	54,00	29,30	940,10	47,10	23,43	0,28	9,66
3	11/10/2014	14:48	1,56	66,00	28,60	939,90	47,10	23,43	0,28	9,66
2	11/10/2014	15:02	1,47	57,00	28,70	940,00	50,50	23,30	0,44	8,67
2	11/10/2014	15:08	1,03	62,00	28,70	939,70	50,50	23,30	0,44	8,67
2	11/10/2014	15:18	1,11	64,00	28,40	939,60	50,50	23,30	0,44	8,67
2	11/10/2014	15:25	0,92	66,00	28,10	939,60	50,50	23,30	0,44	8,67
2	11/10/2014	15:36	1,19	62,00	28,30	939,40	50,50	23,30	0,44	8,67
1	11/10/2014	15:53	1,32	61,00	28,70	939,50	48,80	22,95	0,32	8,42
1	10/11/1014	16:01	1,09	66,00	28,70	939,50	48,80	22,95	0,32	8,42
1	11/10/2014	16:07	1,25	65,00	28,20	939,30	48,80	22,95	0,32	8,42
1	11/10/2014	16:15	1,39	58,00	27,90	939,20	48,80	22,95	0,32	8,42
8	11/11/2014	14:00	0,85	47,00	27,00	940,20	43,80	21,42	0,48	11,39

Ponto	Data	Horário	Emissão ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Umi, Ar (%)	Temp, Ar (°C)	P Atm, (hPa)	Umid, Solo (%)	Temp, Solo (°C)	Cond, Térm, ($\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	C/N
8	11/11/2014	14:01	0,76	49,00	27,00	940,30	43,80	21,42	0,48	11,39
8	11/11/2014	14:02	0,61	48,00	27,10	940,20	43,80	21,42	0,48	11,39
8	11/11/2014	7:12	0,89	48,00	27,20	940,30	43,80	21,42	0,48	11,39
7	2/3/2015	15	3,04	80,00	26,00	939,50	65,60	22,51	0,58	10,61
7	2/3/2015	15:15	2,92	78,00	26,20	939,50	65,60	22,51	0,58	10,61
7	2/3/2015	15:22	2,76	78,00	26,50	939,30	65,60	22,51	0,58	10,61
7	2/3/2015	15:03	1,97	77,00	26,00	939,20	65,60	22,51	0,58	10,61
6	2/3/2015	15:04	1,75	70,00	26,00	939,70	60,60	22,48	0,55	10,81
6	2/3/2015	16	2,57	72,00	25,80	939,60	60,60	22,48	0,55	10,81
6	2/3/2015	16:01	1,23	70,00	25,80	939,60	60,60	22,48	0,55	10,81
6	2/3/2015	16:19	3,35	68,00	26,00	939,40	60,60	22,48	0,55	10,81
6	2/3/2015	16:03	2,73	68,00	26,00	939,50	60,60	22,48	0,55	10,81
5	2/3/2015	16:45	2,07	65,00	25,50	940,20	53,80	22,85	0,72	10,46
5	2/3/2015	17	2,57	60,00	25,50	940,30	53,80	22,85	0,72	10,46
5	2/3/2015	17:15	2,86	60,00	25,30	939,50	53,80	22,85	0,72	10,46
5	2/3/2015	17:03	3,02	60,00	25,30	939,50	53,80	22,85	0,72	10,46
9	24/03/2015	14:37	1,59	81,00	25,20	945,40	57,20	21,17	0,66	8,77
9	24/03/2015	14:45	1,95	84,00	25,20	945,40	57,20	21,17	0,66	8,77
9	24/03/2015	14:52	1,99	81,00	25,40	945,20	57,20	21,17	0,66	8,77
9	24/03/2015	15:01	1,98	80,00	25,20	945,10	57,20	21,17	0,66	8,77
13	17/04/2015	10:23	1,64	86,00	23,20	945,90	57,20	21,42	0,48	9,66
14	17/04/2015	10:04	1,73	88,00	23,30	945,60	53,80	21,42	0,48	9,66
15	17/04/2015	10:55	2,59	89,00	23,50	945,30	63,90	21,42	0,48	9,66

Ponto	Data	Horário	Emissão ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Umi. Ar (%)	Temp. Ar (°C)	P Atm. (hPa)	Umid. Solo (%)	Temp. Solo (°C)	Cond. Térm. ($\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	C/N
16	17/04/2015	11:05	2,14	89,00	24,20	945,20	50,50	21,42	0,48	9,66
10	17/04/2015	11:02	2,49	88,00	24,70	945,00	67,30	21,42	0,48	9,66
17	13/05/2015	9:05	2,10	89,00	19,40	948,60	39,90	18,00	0,48	9,66
14	13/05/2015	09:34	2,40	77	21,00	949,30	70,00	18,00	0,48	9,66
11	13/05/2015	10:05	2,03	88,00	19,60	948,80	39,90	18,00	0,48	9,66
12	13/05/2015	10:15	1,67	92,00	18,90	948,50	34,00	18,00	0,48	9,66

TABELA 4. ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS PARÂMETROS ESTUDADOS NO PROJETO.

	Talhão	Emissão (umol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	Umí. Ar (°C)	Temp. Ar (°C)	P Atm. (hPa)	Umid. Solo (%)	Temp. Solo (°C)	Cond. Térm. (W m ⁻¹ K ⁻¹)	C/N	Horario
Media	15	1,38	23,97	38,22	937,14	32,10	25,20	0,74	11,40	12,36
Máx.		2,59	64,00	50,20	940,80	48,19	35,30	1,07	18,81	17,18
Mín		0,51	11,00	23,70	930,90	21,65	18,31	0,34	8,57	7,25
DV		0,54	12,66	7,51	3,86	7,10	4,50	0,25	2,55	3,14
CV		39,13	52,82	19,65	0,41	22,12	17,86	33,78	22,37	25,40
Mediana		1,52	22,00	37,80	940,00	30,49	23,94	0,80	10,63	11,67
Media	23	1,92	67,84	26,36	941,58	53,34	22,12	0,48	9,64	14,17
Máx.		3,86	92,00	30,50	949,30	70,00	23,43	0,72	11,39	17,50
Mín		0,61	47,00	18,90	939,20	33,99	18,00	0,29	8,19	7,20
DV		0,73	13,39	2,70	3,04	7,77	1,44	0,13	1,01	2,31
CV		38,02	19,74	10,24	0,32	14,57	6,51	27,08	10,48	16,30
Mediana		1,95	66,00	26,20	940,20	53,85	22,51	0,48	9,66	14,80
Media	Total	1,63	46,08	32,18	939,45	42,54	23,56	0,60	10,45	13,16
Máx.		3,86	92,00	48,30	949,30	70,00	35,30	1,07	18,81	17,50
Mín.		0,51	11,00	18,90	931,50	21,65	18,00	0,29	8,19	7,20
CV		31,29	23,87	58,73	99,15	50,89	76,40	48,33	78,37	54,71
DV		0,70	25,47	7,97	4,03	13,07	3,50	0,24	2,10	3,00
Mediana		1,61	48,00	29,00	940,05	41,72	23,02	0,55	10,01	14,31

Em relação aos fluxos de CO₂ provenientes da emissão de carbono pelo solo, observou-se que no talhão 15 as emissões foram menores do que as observadas no talhão 23, respectivamente entre 0,51 e 2,59 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, com média de 1,38 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, desvio padrão de 0,54 e mediana de 1,52 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, contra emissões que variaram de 0,61 e 3,86 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, com média de 1,92 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, desvio padrão 0,73 e a mediana 1,95 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 3). A figura 21 apresenta essas diferenças.

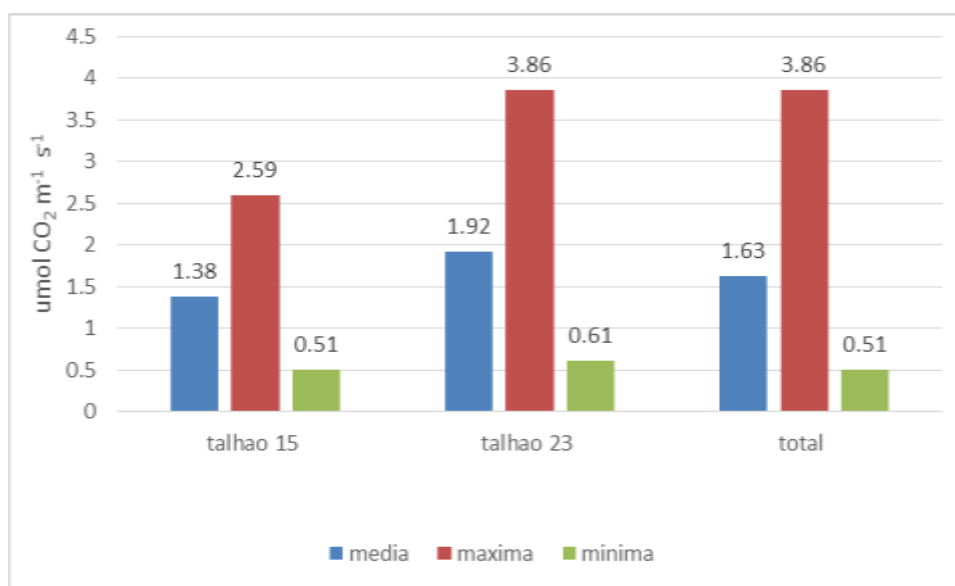


FIGURA 21. EMISSÕES DE CO₂.

Dentro do talhão 15, reflorestado em 2014 (Figura 11) registrou-se a emissão média de 1,38 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 20) esta gleba foi cultivada com eucalipto desde o início do século XX até o ano de 2003, ficando por 10 anos abandonada, ocupada basicamente por espécies gramíneas, foi reflorestada este ano e apresenta condições mais próximas a de uma área cultivada com cana-de açúcar do que de uma florestal, devido a palhada das gramíneas recém dessecadas sobre o solo, e o histórico de transito de maquinas, durante a colheita dos diversos ciclos do eucalipto.

O talhão 23, reflorestado em 1918 (Figura 10) apresentou emissão média de 1,92 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 20), e encontra-se em estado avançado de regeneração, um denso sub-bosque, indivíduos arbóreos estabelecidos no dossel da floresta e funções ecológicas reestabelecidas.

Em função do período de amostragem e o sombreamento proporcionado pelas árvores, as variações de temperaturas medidas no talhão 15 são maiores do que no talhão 23, respectivamente entre 23,7 °C até 50,2 °C (média de 38,3 °C) e 18,9 °C até 30,5 °C (média de

26,4 °C). A temperatura do solo apresenta comportamento semelhante, com variações de 18,3°C à 35,3°C (média de 25,2°C) no talhão 15, e entre 18,0 °C até 23,4 °C (média de 22,1°C) (Tabela 3 e Figura 22).

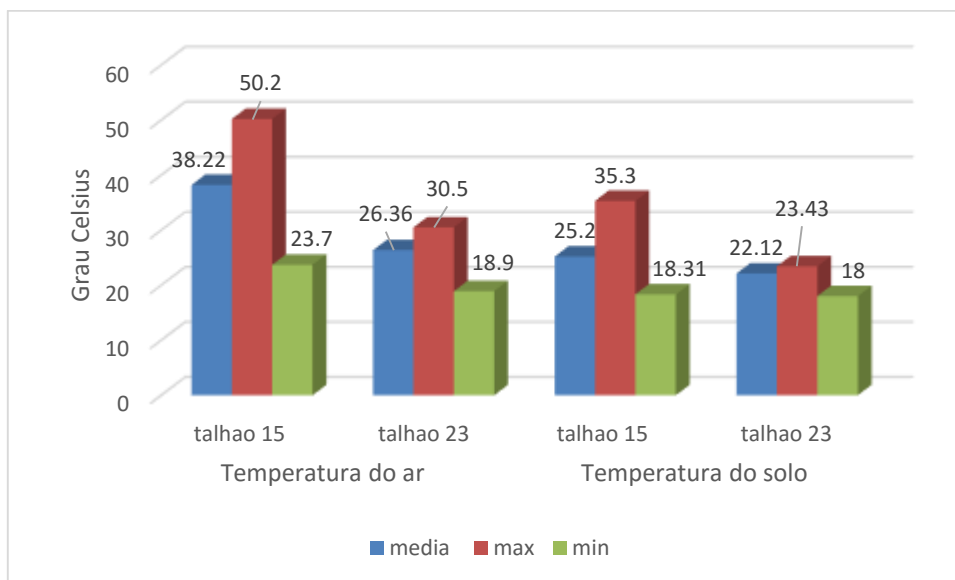


FIGURA 22. TEMPERATURA DO SOLO E DO AR DURANTE O PERÍODO DE COLETA.

A umidade relativa do ar no talhão 15 oscilou de 11,0% até 64,0% (média de 23,9%), enquanto no talhão 23, em função da presença de vegetação, a umidade do ar variou de 47,0% até 92,0% (média de 67,8%) (Figura 23). Em função dos períodos distintos de coleta de dados pequena variação nas pressões atmosféricas foram observadas, entre 930,9 hPa e 940,8 hPa no talhão 15, e entre 939,2 hPa até 949,3 hPa no talhão 23.

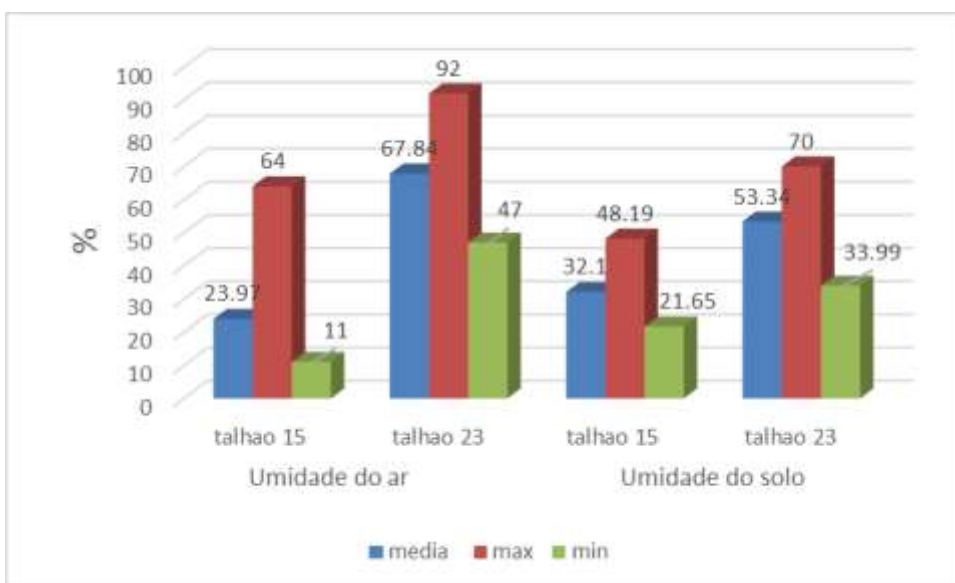


FIGURA 23. UMIDADE DO SOLO E DO AR DURANTE O PERÍODO DE COLETA.

Em função da presença de cobertura vegetal sobre o solo parâmetros físicos do solo apresentam algumas diferenças entre as áreas. A umidade do solo no talhão 15 oscilou de 21,7% até a máxima de 48,2% (média de 32,1%), enquanto no talhão 23 variou de 34,0% até 70,0% (média de 53,3%) (Figura 23). A condutividade térmica no talhão 15 é superior à do talhão 23, variando de 1,07 W m⁻¹ K⁻¹ até 0,34 W m⁻¹ K⁻¹ (média de 0.74 W m⁻¹ K⁻¹), e de 0,72 W m⁻¹ K⁻¹ até 0,29 W m⁻¹ K⁻¹ (média de 0.48 W m⁻¹ K⁻¹), respectivamente (Figura 24).

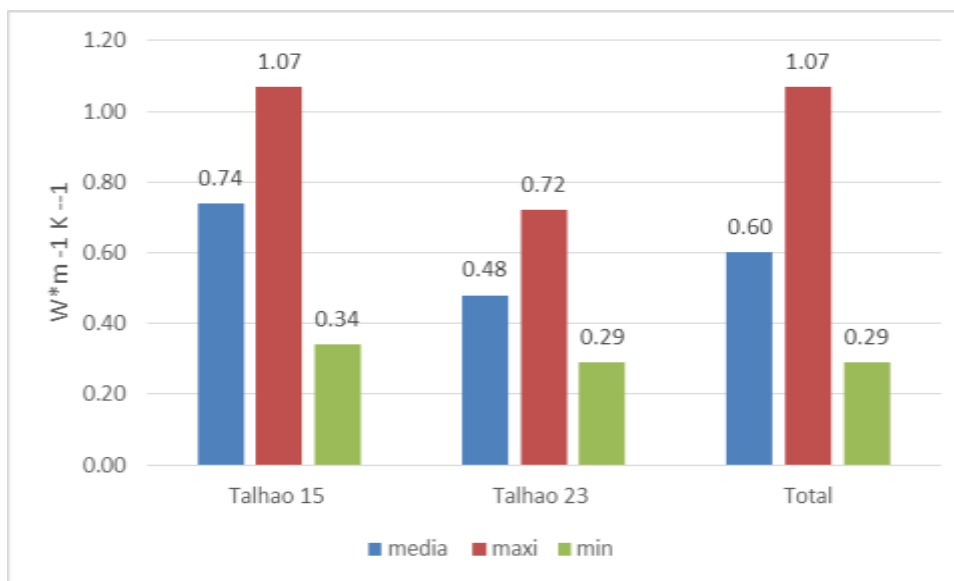


FIGURA 24. CONDUTIVIDADE TÉRMICA DURANTE O PERÍODO DE COLETA.

A relação C/N apresentou valores superiores no talhão 15, variando 18,8 até 8,6 (média de 11,44) no talhão 15, e de 11,4 até 8,2 (média de 9,6) no talhão 23 (Figura 25).

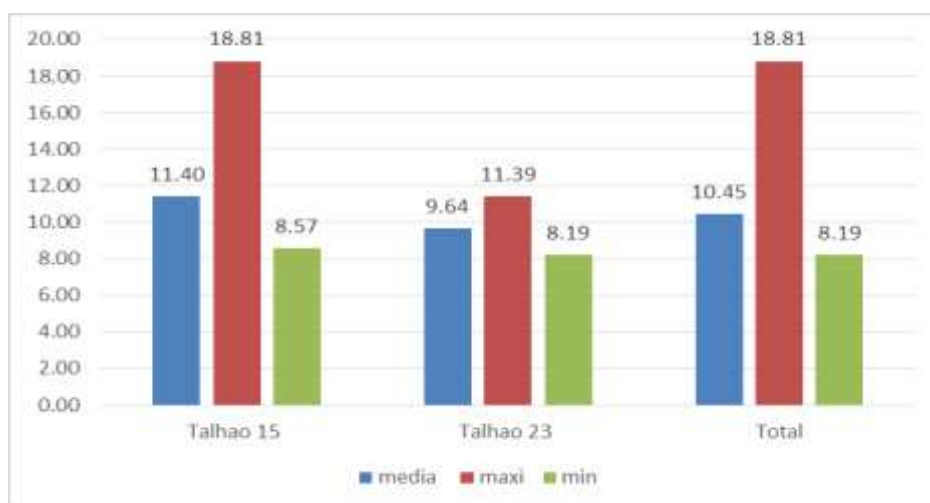


FIGURA 25. RELAÇÃO C/N MENSURADAS.

5.3 Avaliação das Flutuações Diárias das Emissões

Diversas pesquisas realizadas com emissão de CO₂ e respiração do solo indicaram que as emissões possuem oscilação diária (LA SCALA et al 2000; TEIXEIRA et al, 2011; EPRON, 2014; BICALHO et al., 2014). A coleta de informações de campo ocorreu em dias e horários distintos, e buscando compreender essas oscilações na área de estudo, foram calculados os valores médios diários das emissões medidas, assim como dos parâmetros umidade do solo e temperatura do ar, variáveis correlacionadas significativamente com a respiração do solo (DIAS, 2006; EPRON et al., 2006; OHASHI e GYOKUSEN, 2007).

TABELA 5. ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA EMISSÃO DE CO₂, TEMPERATURA DO SOLO, E UMIDADE DO SOLO PARA TODOS OS DIAS DO ESTUDO NO BIÊNIO DE 2014/2015.

Data	Emissão de CO ₂ (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)		Umidade do solo (%)		Temperatura do ar (°C)		n
	Media	CV (%)	Media	CV (%)	Media	CV (%)	
07/09/14	1,98	16,67	33,32	23,62	30,38	12,94	16
08/09/14	1,73	13,29	31,42	26,88	38,08	17,04	13
09/09/14	1,32	24,24	36,06	17,25	45,1	7,82	21
23/09/14	0,77	21,46	27,63	6,75	37,39	18,02	21
10/10/14	1,68	40,9	50,13	5,06	28,88	2,67	19
11/10/14	0,78	14,04	43,75	0	27,08	0,31	4
03/02/15	2,53	22,89	60,06	7,72	25,84	1,32	13
24/03/15	1,88	8,82	57,21	0	25,25	0,34	4
17/04/15	2,12	18,16	58,56	10,66	23,78	2,43	5
13/05/15	2,05	12,71	45,94	30,69	19,73	3,95	4

Obs: * CV- Coeficiente de Variação

As médias diárias da emissão de CO₂ pelo solo oscilaram entre 0,77 e 1,98 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, para o talhão 15 (reflorestamento em estágio de crescimento) e variaram entre 0,78 e 2,53 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ no talhão 23 (reflorestamento já estabelecido), evidenciando as maiores taxas de emissão para a área já reflorestada, como apontado anteriormente.

Os valores do coeficiente de variação ficaram entre 8% e 40%, valores baixos se comparados ao encontrado por outros autores (BICALHO et al., 2014) no estado de São Paulo, deve ser levado em consideração na análise destes valores que neste projeto cada ponto foi mensurado mais de uma vez, e em alguns dias foram efetuadas poucas mensurações.

Quando se comparam os valores da umidade média do solo e as taxas de emissão (Tabela 4), observa-se que existe uma correlação entre os valores, aumento da umidade corresponde a um aumento da emissão, entretanto, essa correlação não é estatisticamente significativa ($r=0,60$, $p<0,06$), devido principalmente ao pequeno número amostral.

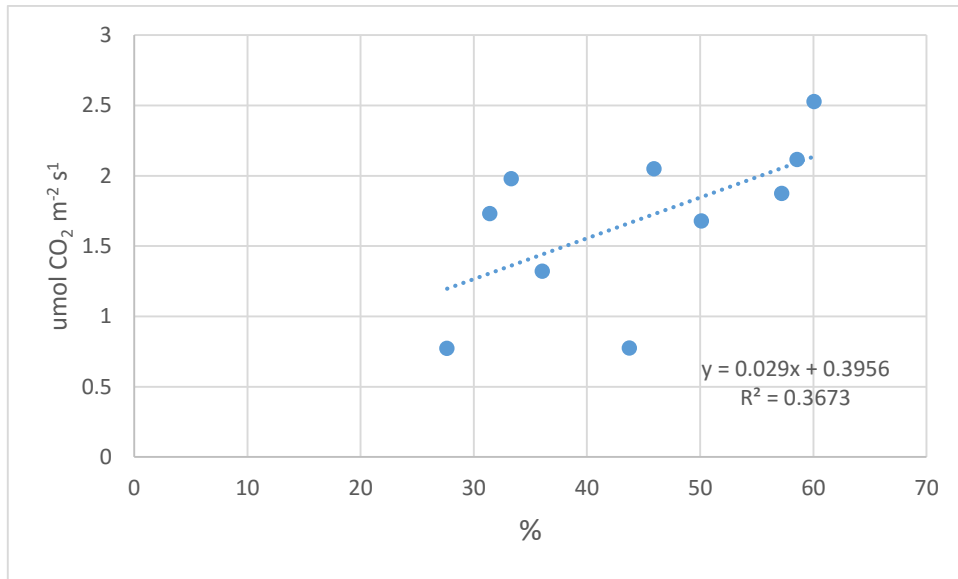


FIGURA 26. RELAÇÃO ENTRE A MÉDIA DIÁRIA DE CO₂ E DA UMIDADE DO SOLO.

Quando comparada com as temperaturas medidas, observa-se uma correlação linear negativa entre a média diária de emissão de CO₂ e a média diária de temperatura (Figura 27), novamente não significativa estatisticamente ($r=-0,49$, $p<0,2$). Apesar de não significativa, a correlação negativa pode ser explicada pela medição de maiores taxas de emissão (Figura 21) na área florestal restaurada (talhão 23), na qual as temperaturas são menores e mais constantes durante o período de amostragem (Figura 22).

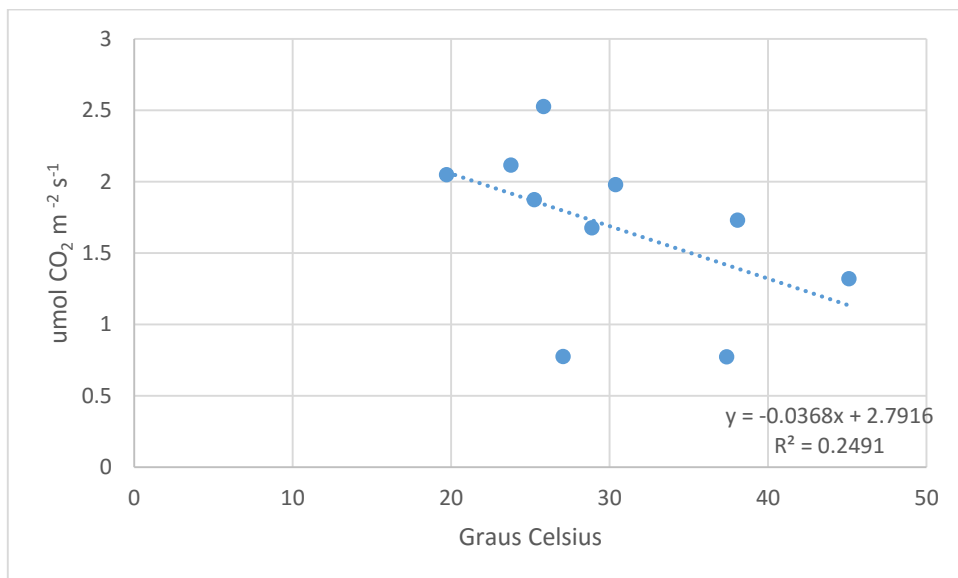


FIGURA 27. RELAÇÃO ENTRE AS MEDIAS DIÁRIAS DE EMISSÃO E DE TEMPERATURA DO AR.

5.4 Emissão de CO₂ e as Variáveis Ambientais

Com o intuito de estudar melhor as relações entre as variáveis mensuradas no projeto, elaborou-se a matriz de correlação para os dados coletados na área recém-reflorestada (Tabela 2), para que as correlações entre as variáveis independentes também sejam avaliadas. A tabela 6 apresenta a matriz de correlação dos dados coletados no talhão 15.

TABELA 6. MATRIZ DE CORRELAÇÕES DA ÁREA PLANTADA EM 2014.

	V ₁ Emissão	V ₂ Umid. Ar	V ₃ Temp.Ar	V ₄ Pressão	V ₅ U do solo	V ₆ T.Solo	V ₇ Cond. Term.	V ₈ C/N	V ₉ Horário
V ₁	1.00	---	---	---	---	---	---	---	---
V ₂	-0.11	1.00	---	---	---	---	---	---	---
V ₃	-0.21	-0.84****	1.00	---	---	---	---	---	---
V ₄	0.02	0.61****	-0.47****	1.00	---	---	---	---	---
V ₅	0.18	-0.09	-0.10	-0.46****	1.00	---	---	---	---
V ₆	-0.02	-0.62****	0.75****	-0.52****	-0.24*	1.00	---	---	---
V ₇	0.56****	-0.16	-0.16	-0.20	0.57****	-0.26*	1.00	---	---
V ₈	0.28**	-0.37**	0.29*	-0.44***	-0.08	0.46****	-0.16	1.00	---
V ₉	0.33*	-0.74****	0.47****	-0.79****	0.31**	0.58****	0.26*	0.44***	1.00

*Significantes a 0.05, ** significantes a 0.01, ***significantes a 0.001, **** significantes a 0.0001

As taxas de emissão de CO₂ do solo apresentaram uma correlação linear significativa com três das variáveis estudadas (Tabela 6): a condutividade térmica ($r=0,56$, $p<0,0001$), a relação C/N ($r=0,28$, $p<0,05$) e o Horário ($r=0,33$, $p<0,05$).

A condutividade térmica apresentou correlação positiva significativa com a emissão de CO₂ no talhão 15. Essa correlação, entre as propriedades termais do solo e a respiração, já havia sido evidenciada em estudos específicos (NKONGOLO et al., 2010).

A temperatura do ar apresentou uma correlação negativa ($r=-0,21$, $p<0,1$) não significativa com as emissões, assim como ocorreu com a correlação entre as medias diárias de respiração do solo e temperatura, entretanto, durante o período de coleta não foram registradas temperaturas abaixo de 20 °C, mas por outro lado observam-se temperaturas altas extremas de até 50 °C, segundo Kang et al. (2003) altas temperaturas acabam inibindo a atividade bacteriana.

A umidade do solo apresentou uma correlação linear não significativa ($r=0,18$, $p<0,2$) com a respiração. A correlação linear significativa positiva ($r=0,57$, $p<0,0001$) entre a condutividade térmica e a umidade do solo, bem como a correlação entre a condutividade térmica e as emissões podem estar indicando o efeito da umidade na respiração do solo.

O horário apesar de não influir diretamente nas emissões, pode estar representando a influência das variáveis ambientais que possui correlação, a variável apresenta correlação linear positiva significativa com a temperatura do ar ($r=0.47$, $p<0,0001$), a temperatura do solo ($r=0.58$, $p<0,0001$) e com a umidade do solo ($r=0.31$, $p<0,01$).

O Talhão 15 acabou de ser reflorestado, portanto as emissões possuem pouca influência da respiração das raízes das plantas, neste caso a quantidade de carbono e nitrogênio no solo podem ser determinantes para a quantidade de CO₂ emitido, já que a relação C/N apresentou correlação linear positiva com as emissões. Há de se considerar que a metodologia de amostragem da relação C/N não foi a ideal, já que foram coletadas apenas uma amostra por ponto e em data anterior a mensuração de CO₂.

O mesmo procedimento foi realizado para o talhão 23, área reflorestada em 1918, com o mesmo objetivo (Tabela 7).

TABELA 7. MATRIZ DE CORRELAÇÕES DA ÁREA PLANTADA EM 1918.

	V ₁ Emissão	V ₂ Umid. Ar	V ₃ Temp.Ar	V ₄ Pressão	V ₅ U do solo	V ₆ T.Solo	V ₇ Cond. Term.	V ₈ C/N	V ₉ Horário
V ₁	1.00	---	---	---	---	---	---	---	---
V ₂	0.28*	1.00	---	---	---	---	---	---	---
V ₃	-0.24	-0.77****	1.00	---	---	---	---	---	---
V ₄	0.07	0.72****	-0.81****	1.00	---	---	---	---	---
V ₅	0.55****	0.34*	-0.05	-0.06	1.00	---	---	---	---
V ₆	-0.02	-0.60****	0.89****	-0.88****	0.14	1.00	---	---	---
V ₇	0.27	0.41**	-0.51***	0.18	0.38**	-0.26	1.00	---	---
V ₈	0.04	-0.03	-0.28	-0.12	0.11	-0.17	0.48***	1.00	---
V ₉	0.08	-0.36*	0.51***	-0.71****	0.23	0.68****	0.22	-0.01	1.00

*Significantes a 0.05, ** significantes a 0.01, ***significantes a 0.001, **** significantes a 0.0001

O talhão 23 apresentou correlação linear significativa (Tabela 7) entre a emissão de CO₂ e a umidade do solo ($r=0,55$, $p<0,0001$), e a umidade do ar ($r=0,28$, $p<0,05$).

A correlação entre a umidade do solo e a respiração de CO₂ já foi evidenciada quando analisamos as oscilações diárias de umidade, segundo Kutsch et al., (2010) com o aumento da umidade ocorre o aumento as atividades de degradação da M.O. pelos microrganismos.

A umidade do ar no talhão 23 apresenta correlação significativa com a umidade do solo ($r=0,34$, $p<0,05$) indicando que as maiores umidades do ar estão atreladas aos eventos de chuva. Assim como ocorreu no talhão 15, a temperatura do ar apresenta uma relação linear negativa ($r=-0,24$, $p<0,11$) não significativa com as emissões.

Quando se avalia a matriz de correlação com todos os dados levantados (Tabela 8), das duas áreas conjuntamente, observa-se que a emissão de CO₂ passa a apresentar correlação positiva significativa com os seguintes parâmetros: a umidade do ar ($r=0,40$, $p < 0,0001$), a pressão atmosférica ($r=0,25$, $p < 0,05$), a umidade do solo ($r=0,55$, $p < 0,0001$) e o horário ($r=0,33$, $p < 0,01$) e negativa significativa com temperatura do ar ($r=-0,41$, $p < 0,0001$).

TABELA 8. MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS DADOS TOTAIS DO PROJETO.

	V ₁ Emissão	V ₂ Umid. Ar	V ₃ Temp.Ar	V ₄ Pressão	V ₅ U do solo	V ₆ T.Solo	V ₇ Cond. Term.	V ₈ C/N	V ₉ Horário
V ₁	1.00	---	---	---	---	---	---	---	---
V ₂	0.40****	1.00	---	---	---	---	---	---	---
V ₃	-0.41****	-0.89****	1.00	---	---	---	---	---	---
V ₄	0.25*	0.74****	-0.67****	1.00	---	---	---	---	---
V ₅	0.55****	0.74****	-0.63****	0.31**	1.00	---	---	---	---
V ₆	-0.17	-0.62****	0.79****	-0.66****	-0.38***	1.00	---	---	---
V ₇	0.09	-0.44****	0.28**	-0.36	-0.21*	0.05	1.00	---	---
V ₈	-0.01	-0.44****	0.40****	-0.46	-0.31**	0.48****	0.18	1.00	---
V ₉	0.33**	0.00	0.04**	-0.44	0.42****	0.35***	0.05	0.15	1.00

*Significantes a 0.05, ** significantes a 0.01, ***significantes a 0.001, **** significantes a 0.0001

Comparando os dados coletados, nota-se que as maiores emissões de CO₂ (Figura 21) foram registradas no talhão 15, assim como as maiores medias de umidade do solo e do ar (Figura 23), da relação C/N (Figura 25) e da pressão atmosférica (Tabela 4), enquanto que no talhão 23 foram registradas as maiores medias de temperatura do solo e do ar (Figura 22) e de condutividade térmica (Figura 24).

Isso explica, o por que, quando se analisa os dados conjuntamente observamos uma correlação mais forte entre a umidade do ar e as emissões do que avaliando as áreas isoladas, em áreas florestais restauradas ocorrem maiores umidades do ar (Figura 23) e as maiores emissões de CO₂, quando comparada a área recém reflorestada, por esse motivo os dados totais apresentaram essa correlação (Tabela 8), que já havia sido evidenciada na área plantada em 1918 (Tabela 7).

Considerando todos os dados, a temperatura do ar apresentou uma correlação negativa significativa com a respiração do solo (Tabela 8), tendência já observada na análise dos dados médios diários (Figura 26), e na análise individual de cada um dos talhões (Tabelas 6 e 7), entretanto, o esperado seria uma correlação positiva (RAICH e SCHLESINGER, 1992). Isso se deve ao fato que as menores temperaturas do ar são encontradas em áreas florestais, por conta

do microclima criado pela vegetação, onde são registradas as maiores medias de emissão de CO₂.

A temperatura do solo não apresentou correlação significativa com as emissões, assim como observado outros autores no estado de São Paulo (BICALHO et al., 2014), isso pode ser atribuído as baixas variações de temperatura durante o período de coleta.

A relação entre a umidade do solo e a respiração (Tabela 8) foi semelhante ao valor encontrado para a área reflorestada em 1918 (Tabela 7), evidenciando que a umidade é um importante controlador da emissão tanto em áreas recém reflorestadas, quanto em áreas já restauradas, sendo a correlação mais forte encontrada no nosso conjunto de variáveis.

A correlação significativa entre a umidade e a respiração do solo foi observada por outros autores, como Dias (2006) e Shi et al. (2014), que justificaram o fato da regulação da atividade microbiana ser feita pela umidade, em decorrência das reações químicas de decomposição da M.O. (KANG et al., 2003).

A umidade do ar apresentou correlação positiva significativa com a respiração do solo especialmente no talhão 23, que apresenta temperaturas mais amenas quando comparado com o talhão 15. Em clima temperado, a correlação negativa entre as variáveis foi observada (BILANDZIJA et al., 2014).

O horário da coleta apresentou uma correlação significativa com a variável respiração do solo, especialmente no talhão 15, e mostrou-se uma das variáveis independentes a serem utilizadas na predição das emissões de CO₂, tendo como característica importante a facilidade para a coleta de informações. Segundo Singh e Gupta (1978) as oscilações diárias de CO₂ podem ser explicadas pelas flutuações de temperatura, o que varia de acordo com o horário. Por outro lado, podemos observar que o horário possui correlação com diversas das variáveis mensuradas no projeto.

5.5 Regressão linear múltipla

A partir da análise da matriz de correlação com todos os dados do projeto (Tabela 8), observa-se que existem diversas variáveis correlacionadas com as emissões de CO₂, mas nenhuma delas é capaz de prever satisfatoriamente a taxa de emissão de CO₂ a partir da respiração do solo. A regressão linear múltipla é a ferramenta estatística adequada para buscar a previsão e uma variável dependente, quando esta apresenta correlação com diversas variáveis independentes.

Em função da relação entre o número de variáveis independentes e o número de amostras, a elaboração de um modelo de regressão para cada uma das áreas separadamente acarretaria em problemas de super ajuste (HAIR Jr et al., 2009), sendo recomendada a elaboração de um modelo único, já que ambas as áreas estão sobre o mesmo tipo de solo e regime climático.

Para atingir o objetivo proposto com a regressão linear múltipla que é a estimação de um modelo geral para a predição de CO₂ em áreas de reflorestamento da Mata Atlântica, foi necessário padronizar o número de amostras para ambos os talhões. O procedimento foi o mesmo utilizado anteriormente (Tabela 8), a partir da média dos valores calculado em cada ponto (Tabela 2), eliminou-se as mensurações com os maiores desvios em relação à media (Anexo 1).

Para se avaliar a capacidade das variáveis independentes selecionadas preverem a emissão de CO₂ pelo solo, estimou-se uma equação de regressão linear múltipla utilizando o software *Stata: Data Analysis and Statistical Software* a partir dos dados do Anexo 1. A tabela 9 apresenta os resultados da regressão múltipla efetuada.

TABELA 9. REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA COM TODOS OS DADOS COLETADOS.

Num. Obser.=98				SS	df	MS
F(8, 89)= 12,68			Regressão	25,94612	8	3,24326526
Prob >F = 0	Root MSE = 0,50581		residual	22,76997	89	0,25584241
R² = 0,53	R² ajustado = 0,49		total	48,7161	97	0,5022278
Variável	Coef.	Erro Padr.	t	P> t 	(Interv. Conf. 95%)	
Temp, ar	-0,64313	0,0207775	-3,10	0,003	-0,1056	-0,0230282
Umid, Ar	-0,01890	0,0077692	-2,43	0,017	-0,0343	0,0034645
Temp, solo	0,09957	0,0328228	3,03	0,003	-0,0343	0,1647882
Umid, Solo	0,03462	0,008346	4,15	0,000	0,0180	0,512001
Pressão	0,11100	0,0264199	4,20	0,000	0,0585	1,634966
Cod. Term,	0,89699	0,2648216	3,39	0,001	0,3708	1,423190
C/N	0,05652	0,0293649	1,92	0,057	-0,0018	0,1148726
Horario	0,03800	0,0281285	1,35	0,18	0,0179	0,0938250
cons	-105,1550	24,930580	-4,22	0,000	-154,6910	-55,618220

A análise dos resultados indica que se pode rejeitar a hipótese de não haver regressão, isto é o modelo é significativo a um nível de significância de 0,05, uma vez que o valor de F (12,68) é maior que o valor crítico (Fs \cong 2,126) e que o valor-p = 0,0000 < 0,05, conclui-se que pelo menos uma das variáveis explanatórias está relacionada com emissão de CO₂.

O valor de relação do modelo é satisfatório ($R^2 = 0,53$), e representa a proporção da variação da emissão de CO₂ que é explicada através do conjunto de variáveis explanatórias selecionadas, conforme pode ser observado na figura 28, que mostra os valores medidos *versus* valores calculados pela regressão linear múltipla. Observa-se que os valores calculados (serie 2) estão mais ajustados aos valores observados (serie 1) no talhão 15 (recém-reflorestado – pontos 1 a 49), do que no talhão 23 (reflorestado em 1918 – pontos 50 a 98).

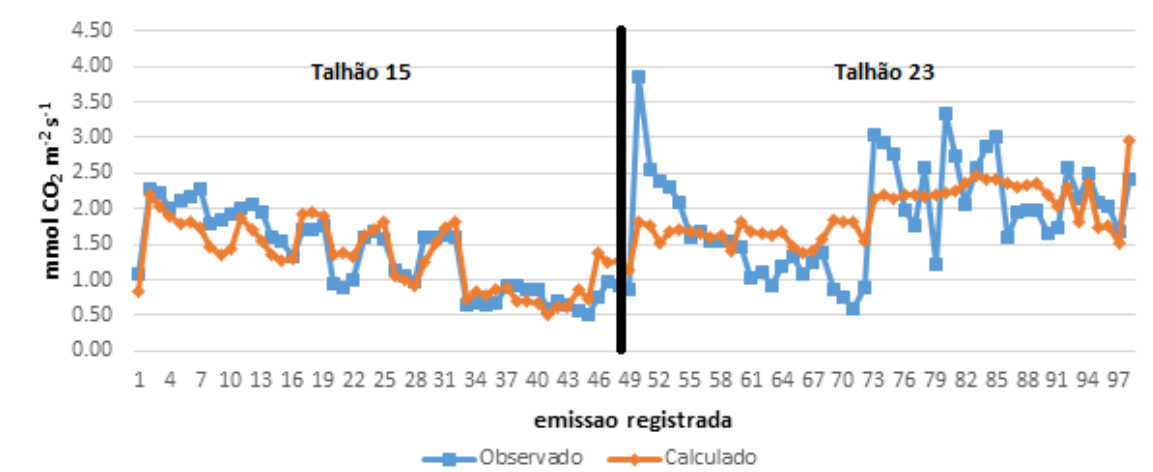


FIGURA 28. GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DOS VALORES MEDIDOS (EM AZUL) X VALORES CALCULADOS (EM LARANJA).

Observa-se um aumento dos resíduos com o aumento do valor das emissões (Figura 29), sem uma variação constante, próxima a zero, indicando tendência de afastamento, com existência de heterocasticidade, que é a violação da suposição estatística de que as variâncias dos termos de erro sejam iguais (HAIR Jr. et al., 2005).

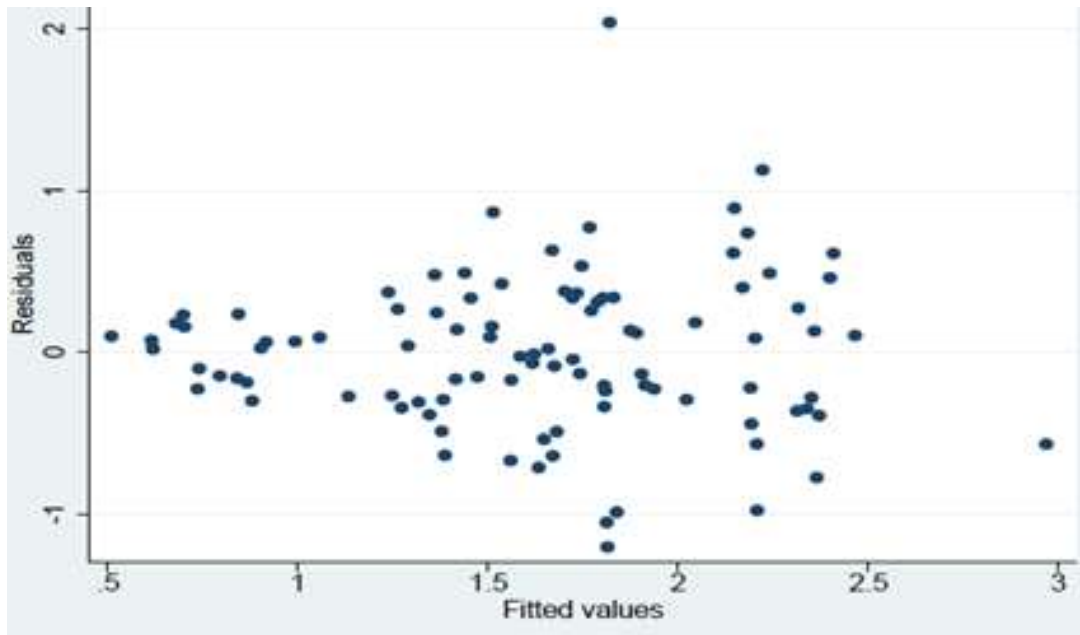


FIGURA 29. VALORES AJUSTADOS *VERSUS* RESÍDUOS. A DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS MOSTRA UM AUMENTO DA DISPERSÃO COM O AUMENTO DAS EMISSÕES, INDICANDO HETEROSCEDASTICIDADE.

Além desse problema foi observada a existência de observações discrepantes (*outliers*) nos dados registrados (Figura 30e Anexo 1). Desta forma o modelo elaborado com a regressão linear múltipla apresentou duas violações às suposições estatísticas, que permitiriam a sua validação.

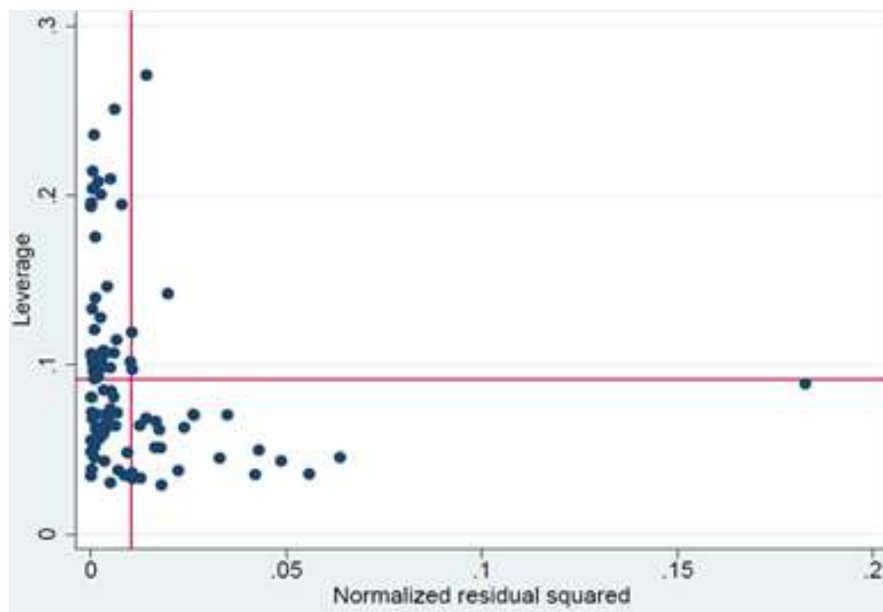


FIGURA 30. LEVERAGE VS RESÍDUOS, OBSERVA-SE A PRESENÇA DE *OUTLIERS*.

Para a correção desse problema foi empregado o método dos erros-padrão Hubber-White (GREENE, 2008), utilizando o software *Stata* cujos resultados são apresentados na tabela 10 indicando que a heterocasticidade foi reduzida, entretanto, a variável independente “relação C/N” torna-se significativa à 5%, no entanto a variável “umidade do ar” é significativa a apenas 10%, o horário permanece sem nenhuma significância.

TABELA 10. REGRESSÃO PELO MÉTODO DE ERROS ROBUSTOS HUBBER-WHITE (GREENE, 2008).

Num. Obser.=98						
F(8, 89)= 25.69						
Prob>F= 0	Root MSE = 0.50581					
R ² = 0.53						
Variável	Coef.	Erro Padr.	t	P> t	(Interv. conf. 95%)	
Temp. ar	-0,64313	0,021435	-3,00	0,003	-0,10690	-0,021720
Umid. Ar	-0,01890	0,009915	-1,91	0,060	-0,03860	0,000799
Tem. solo	0,09957	0,024360	4,09	0,000	-0,05117	0,147972
Umi. Solo	0,03462	0,009724	3,56	0,000	0,01529	0,539382
Pressão	0,11100	0,021372	4,25	0,000	0,06853	0,153466
Cod. Ter.	0,89699	0,280551	3,20	0,002	0,33955	1,454443
C/N	0,05652	0,025240	2,24	0,028	0,00637	0,106676
Horario	0,03800	0,024742	1,54	0,128	0,01116	0,087126
cons	-105,1550	19,83159	-5,30	0,000	-144,560	-65,74980

Este método, portanto, não corrigiu adequadamente os problemas observados na regressão inicial, sendo necessária a elaboração de um terceiro modelo, a regressão robusta (GREENE, 2008). Neste tipo de regressão os *outliers* não são incluídos na análise, possibilitando a solução dos dois problemas encontrados, a heterocedasticidade e a existência de observações discrepantes (Figuras 29 e 30). A tabela 10 apresenta os resultados dessa regressão, indicando que que as todas as variáveis são significativamente importantes (valor-p < 0,05).

TABELA 11. RESULTADOS DA REGRESSÃO ROBUSTA PARA AS DUAS ÁREAS.

Num. Obser.=98						
F(8, 89)= 15.39						
Prob >F = 0						
Variável	Coef.	Erro Padrao	t	P> t	(Intervalo de conf. 95%)	
Temp. ar	-0,54158	0,018513	-2,93	0,004	-0,09094	-0,01737
Umid. Ar	-0,01384	0,006923	-2,00	0,049	-0,02759	0,000081
T. solo	0,078809	0,029246	2,69	0,008	-0,02070	0,136919
Umi. Solo	0,024148	0,007436	3,25	0,002	0,009372	0,038924
Pressão	0,117122	0,023540	4,98	0,000	0,070348	0,163897
C. Term.	1,093309	0,235959	4,63	0,000	0,624464	1,562155
C/N	0,081705	0,026164	3,12	0,002	0,029717	0,133694
Horario	0,060539	0,025063	2,42	0,018	0,010739	0,110338
cons	-111,238	22,21343	-5,01	0,000	-155,375	-67,10

Observa-se que essa regressão foi capaz de diminuir a heterocastecidade (Figura 31), reduzindo a distribuição dos resíduos para as maiores emissões.

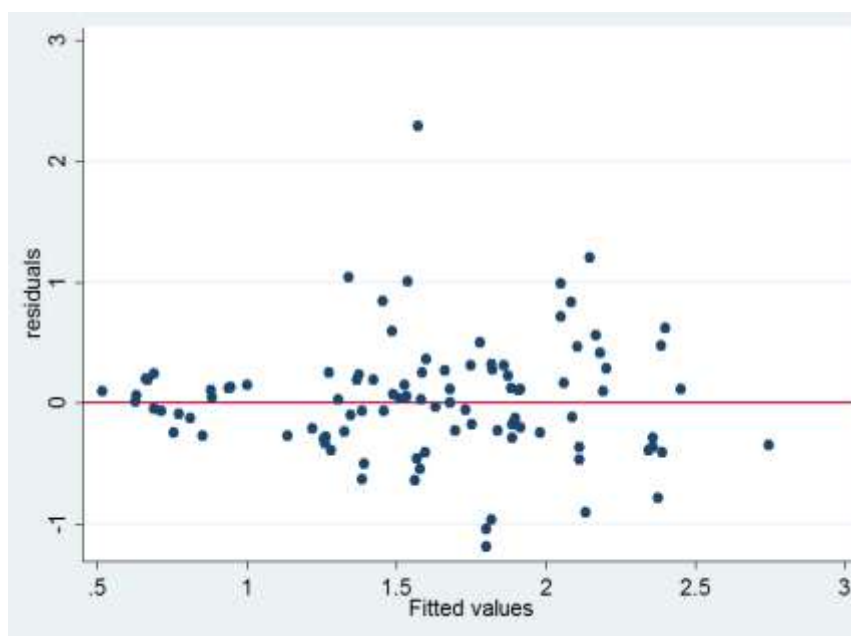


FIGURA 31. AJUSTADOS VS RESÍDUOS PARA REGRESSÃO ROBUSTA.

Na figura 32 pode-se observar que para qualquer uma das regressões realizadas, os modelos gerados reproduzem com maior precisão os valores da emissão medida no talhão 15,

enquanto no talhão 23, que apresenta maior variabilidade nos valores medidos em campo, nenhum dos modelos é capaz de reproduzir as emissões extremas (maiores e menores).

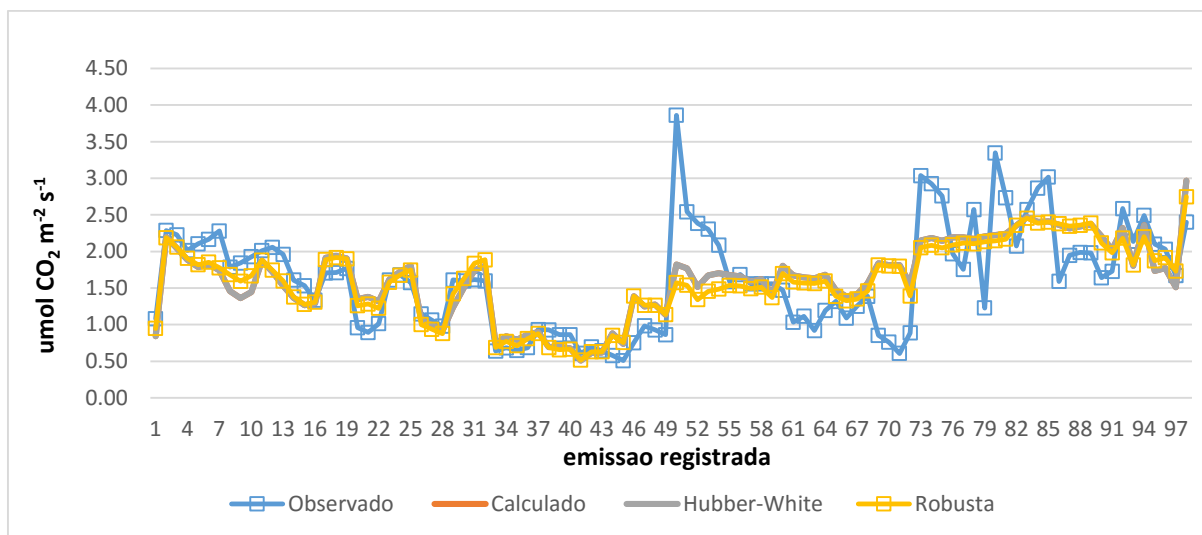


FIGURA 32. GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DOS VALORES OBSERVADOS X REGRESSÕES (OBSERVADO – VALORES MEDIDOS, CALCULADO – REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA, HUBBER-WHITE – REGRESSÃO HUBBER-WHITE E ROBUSTA – REGRESSÃO ROBUSTA).

Essa diferença entre a capacidade de previsão das emissões pode ser observada nas figuras 33 a 35, que mostram os coeficientes de relação entre os valores medidos e calculados, enquanto para todas as medições efetuadas o valor de $R^2 = 0,51$, para o talhão 15 a relação linear é de $R^2 = 0,82$, e para o talhão 23 de $R^2 = 0,19$.

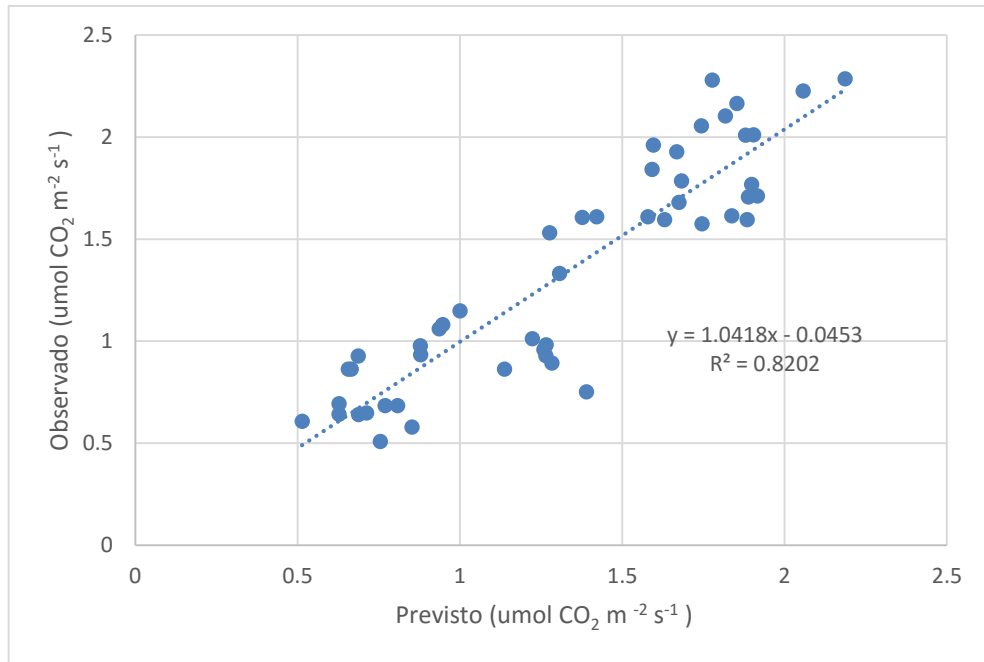


FIGURA 33. RELAÇÃO ENTRE OBSERVADOS E PREVISTOS PELA REGRESSÃO LINEAR ROBUSTA PARA O TALHÃO 15.

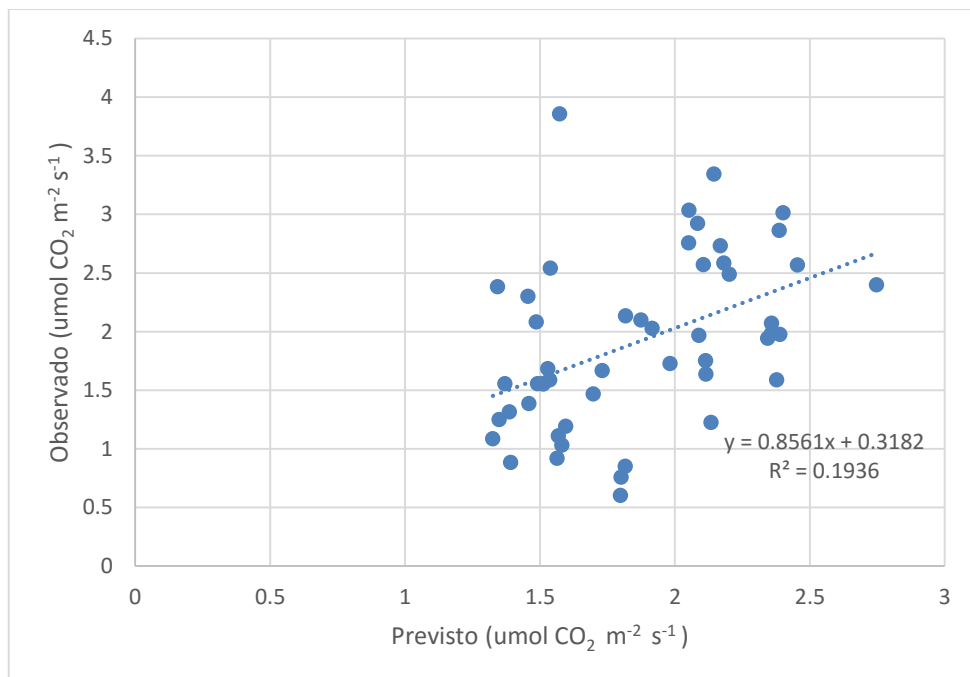


FIGURA 34. RELAÇÃO ENTRE OBSERVADOS E PREVISTOS PELA REGRESSÃO LINEAR ROBUSTA PARA O TALHÃO 23.

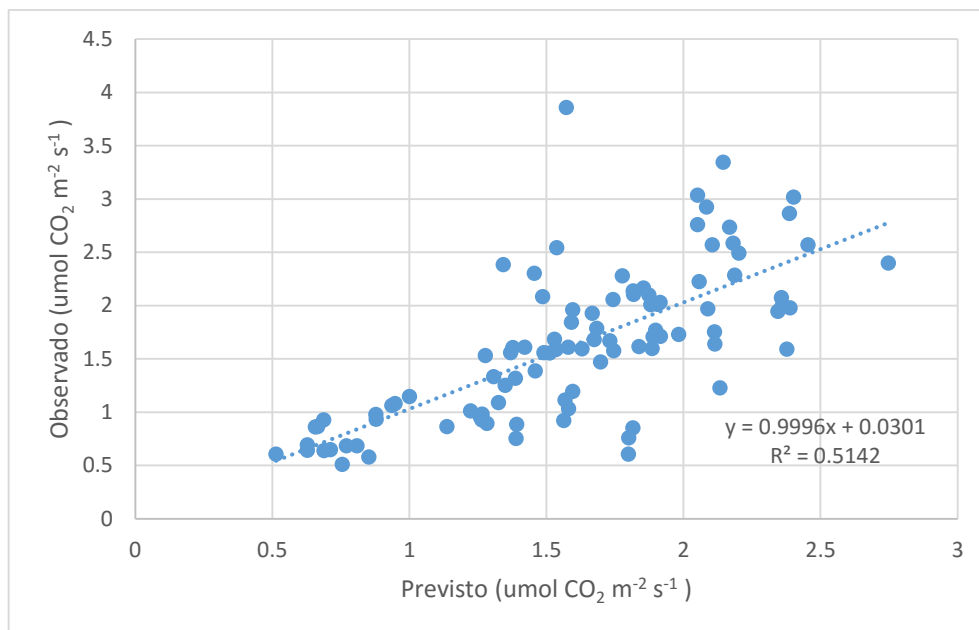


FIGURA 35. RELAÇÃO ENTRE OBSERVADOS E PREVISTOS PELA REGRESSÃO LINEAR ROBUSTA PARA TODOS OS DADOS.

As variáveis independentes selecionadas são principalmente climáticas, como a temperatura e a umidade (Tabelas 2 e 3), sendo eficientes em prever os valores observados de emissão de CO₂ em áreas florestais recém implantadas, porém são pouco eficientes para prever a respiração do solo em áreas florestais restauradas (Figura 34), onde a respiração pode ser determinada pela vegetação (DAVIDSON et al., 2002) ou mesmo por atributos físicos do solo (BICALHO et al., 2014), além de outros parâmetros não mensurados neste projeto.

A temperatura do solo apresentou um sinal negativo na regressão robusta, ou seja, com o aumento da temperatura diminui-se a emissão de CO₂, quando o esperado seria um sinal positivo na equação, porém em um sistema geral para predição de CO₂ em áreas de reflorestamento da Mata Atlântica, espera-se que as menores temperaturas sejam encontradas nas áreas já recuperadas, onde teoricamente se registram as maiores emissões, justificando a correlação negativa encontrada.

6. Considerações finais e conclusões

Os valores de respiração do solo registrados durante a execução deste projeto oscilaram entre 0,51 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e 3,86 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (média de 1,63 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 20), apresentando valores similares aos obtidos em experimentos conduzidos no interior de São Paulo na cultura da cana de açúcar (PANOSSO et al., 2009; BRITO et al., 2010; BICALHO et al., 2014) e menores que os registrados em áreas florestais na Amazônia (NUNES, 2003; SOTTA et al., 2004; CHAMBERS et al., 2004; TRUMBORE et al., 2006; DIAS, 2006).

A respiração média do solo no talhão 23 (1,92 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi 31,25% superior à média registrada no talhão 15 (1,38 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Essa diferença é similar ao valor atribuído por alguns autores a respiração “autotrófica”, valores entre 40-70% (HANSON et al., 2000; BOND-LAMBERTY et al., 2004; SUBKE et al., 2006). Para Davidson et al. (2002) sendo o mesmo solo e regime climático, as diferenças das emissões devem ser atribuídas a vegetação.

Como se sabe, a mensuração da emissão de CO₂ pelo solo depende de equipamentos caros, o equipamento desenvolvido no departamento de Física da Unesp de Rio Claro (MORENO, 2012), mostrou ser uma alternativa viável, com um custo inferior, obtendo valores similares de respiração do solo com outros projetos realizados no estado de São Paulo (PANOSSO et al., 2009; BRITO et al., 2010; BICALHO et al., 2014), e correlações significativas com as variáveis ambientais sugeridas pela literatura especializada (LLOYD e TAYLOR, 1994; DAVIDSON et al., 1998; EPRON et al., 2006; OHASHI e GYOKUSEN, 2007; NKONGOLO et al., 2010; ALLAIRE et al., 2012), comprovando assim sua eficácia.

A análise das correlações entre as variáveis independentes e a emissão de CO₂ mostrou que nenhuma delas é capaz de prever satisfatoriamente a respiração do solo, entretanto, a utilização de métodos estatísticos, como a regressão linear múltipla robusta, mostrou-se eficiente na previsão das emissões de áreas recém florestadas. O modelo de predição gerado apresenta algumas limitações, não foram mensuradas as variáveis microbiológicas e as características físicas do solo como a porosidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, M. **Introducción a la Microbiología del Suelo**. Editorial México-Calypso, 1980, 467 f.
- ALLAIRE, S. E.; LANG, S. F.; LAFOND, J. A.; PELLETIER, B.; CAMBOURIS, A. N.; DUTILLEUL, P. Multiscale spatial variability of CO₂ emissions and correlations with physico-chemical soil properties. **Geoderma**, n. 170, p. 251-260. 2012.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejos de solos**. 1996. 240p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; SAAB, S.D.; MILORI, D.M.P.; BAGNATO, V.S. Tillage and cropping system effects on soil humic acid characteristics as determined by electron spin resonance and fluorescence spectroscopies. **Geoderma**, n. 105, p. 81-92, 2002.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil Tillage Res**, n. 86, p. 237-245, 2006.
- BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. P.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSO, R. S.; CARVALHO, P. C. F. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. In: KLAUBERG FILHO O.; MAFRA, A.L.; GATIBONI L.C. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: editora, V.VII, cap.2, p. 55-118, 2011.
- BILANDZIJA, D.; ZGORELEC, Z.; KISIE, I. The Influence of Agroclimatic Factors on Soil CO₂ Emissions. **Coll. Antropol**. n. 38, p. 77-83, 2014.
- BICALHO, E.S.; PANOSSO, A.R.; TEIXEIRA, D.D.B; MIRANDA, J.G.V.; PEREIRA, G.T.; LA SCALA, N. Spatial variability structure of soil CO₂ emission and soil attributes in a sugarcane area. **Agriculture Ecosystems & Environment**. Amsterdam, n. 189, p. 206-215, 2014.
- BOLINDER, M. A.; ANGERS, D.A.; GIROUX, M. & LAVERDIERE, M.R. Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea mays* L.). **Plant Soil**, n. 215, p. 85-91, 1999.

BOND-LAMBERTY, B.; WANG, C. K.; GOWER, S. T. A global relationship between the heterotrophic and autotrophic components of soil respiration? **Global Change Biology**, n. 10, p.1756–66, 2004.

BRITO, L.F.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission of sugarcane field as affected by topography. **Sci. Agric.**, n. 66, p. 77-83, .2009.

BRITO, L.F.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z.M.; LA SCALA, N. Spatial variability of soil CO₂ emission of sugarcane field in different topography positions. **Bragantia**, Campinas, n. 69, p. 10-27, 2010.

CALIJURI, C. C.; CUNHA D.G.F; MOCCELIN J. Fundamentos ecológicos e Ciclos Naturais. Li:CALIJURI C.C; CUNHA D.G.F; **Engenharia Ambiental Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, cap. 7, p. 131-154, 2013.

CAMPANILI, M; SCHAFFER W. B. (Org.). **Mata Atlântica: patrimônio nacional dos brasileiros (Biodiversidade 34)**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 1-408, 2010.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; SILVA, C.A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma do pantanal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, p. 1028-1035, 2010.

CHAMBERS, J. Q.; TRIBUZY, E.S.; TOLEDO L.C.; CRISPIM, B.F.; HIGUCHI, N.; DOS SANTOS, J.; ARAÚJO, A.C.; KRUIT, B.; NOBRE, A.D.; TRUMBORE, S.E. Respiration from a tropical forest ecosystem: partitioning of sources and low carbon use efficiency. **Ecological Applications**, Washington, v.14, p. 72 -88, 2004..

CHICOTA, R. **Avaliação no campo de um TDR segmentado para determinação da umidade do solo**. 2003, 100 p. Dissertação mestrado – Agronomia, Universidade de São Paulo/Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

CHUNG, H.; GROVE, J.H.; SIX, J. Indications for soil carbon saturation in a temperate agroecosystem. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 72, p.1132-1139, 2008.

DAVIDSON, E. A; BELK, E.; BOONE, R. D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. **Global Change Biology**, n. 4, p. 217-227. 1998.

DAVIDSON, E. A.; SAVAGE, K.; BOLSTAD, P.; CLARK, D.A.; CURTIS, P.S.; ELLSWORTH, D.S.; HANSON, P.J.; LAW, B.E; LUO, Y.; PREGITZER, K.S.; RANDOLFH, J. C.; ZAK, D. Belowground carbon allocation in forest estimated from literfall and IRGA-based soil respiration measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**, San Andreans, v. 113, p. 39-41, 2002.

DENEF, K.; SIX, J. Contributions of incorporated residue and living roots to aggregate-associated and microbial carbon in two soils with different clay mineralogy. **Eur. J. Soil Sci.**, n. 57, p. 774-786, 2006.

DENMAN, K.L. BRASSEUR, G.; CHIDTHAISONG, A.; CIAIS P.; COX, P.M.; DICKINSON, R.E.; HAUGLUSTAINE, E.; HEINZE, E.; HOLLAND, D.; JACOB, U.; LOHMAN, S.; RAMACHANDRAN.; DIAS, P.L.; DA SILVA.; WOFYSY, S. C.; ZHANG, X. Couplings between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. **The Physical Science Basis**, 2007.

DIAS, J. D. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**. 2006, 87 p. Dissertação de mestrado - Ecologia de agroecossistemas, Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2006.

DIXON, R.K.; BROWN, S.; HOUGHTON, R. A.; SOLOMON, A.M.; TREXLER, M. C.; WISNIEWSKI, J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science**, New York, v. 263, p. 185-190, 1994.

DUAH-YENTUMI, S.; RONN, R., CHRISTENSES, S. Nutrients limiting microbial growth in a tropical forest soil of Ghana under different management. **Appl. Soil. Ecol.**, v. 8, p. 19-24. 1998.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EPRON, D.; BOSC, A.; BONAL, D.; FREYCON, V. Spatial variation of soil respiration across a topographic gradient in a tropical rain forest in French Guiana. **J. Trop. Ecol.**, v. 22, p. 565-474, 2006.

EPRON, D.; FARQUE, L.; LUCOT, E.; BADOT, P. M. Soil CO₂ efflux in a beech forest: dependence on soil temperature and soil water content. **Annals of Forest Science**, v. 56, p. 221–6, 1999.

FANG, C., MONCRIEFF, J.B., GHOLZ, H.L., CLARK, K.L. Soil CO₂ efflux and its special variation in a Florida slash pine plantation. **Plant Soil**, v. 205, p. 135-146, 1998.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. State of the World's Forests 2001. Rome, **Food and Agriculture Organization**. 2001.

FERNANDES, T. J. G. **Contribuição dos certificados de emissões reduzidas (cers) na viabilidade econômica da heveicultura**. Viçosa. Minas Gerais. Brasil. 2003.

FORSTER, H.W.; MELLO, A. C. G. Biomassa aérea de raízes em árvores de reflorestamento heterogêneo no vale do Paranapanema, SP. **Instituto Florestal - Série Registro**, São Paulo, n.31, p. 153-157, 2007.

FUENTES, J. P.; BEZDICEK, D. F.; FLURY, M.; ALBRECHT, S.; SMITH, J. L. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. **Tillage Res.**, n. 88, p. 123- 131, 2006.

GALE, W.J.; CAMBARDELLA, C.A.; BAILEY, T.B. Surface residue and root-derived carbon in stable and unstable aggregates. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, n. 64, p. 196-201, 2000.

GARDNER, W.H. Water content. In: KLUTE, A. (Ed.) Methods of soil analysis I: **Physical and mineralogical methods**. Madison: Soil Science Society of America, p. 493-544, 1986.

GARZELLA T. P. **Automação da leitura do leitor Speedy e utilização em programa de manejo da irrigação**. 2011, 99 p. Tese (Doutorado) –Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2011.

GOLCHIN, A. OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Austr. J. Soil Res.**, n. 32, p. 1043-1068, 1994.

GRACE, J. Carbon cycle. **Encyclopedia of Biodiversity**, New York, v.1, p.69-629, Mar. 2001.

GREENE, W. H., **Econometric Analysis**. Prentice Hall: New Jersey, 6 edicao, 2008, 1178 p.

GREGORICH, E.G.; ELLERT, B.H.; MONREAL, C.M. Turnover of soil organic matter and storage of corn residue carbon estimated from natural ¹³C abundance. **Can. J. Soil Sci.**, n. 75, p. 161-167, 1995.

HAIR JR., J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HANSON, P. J.; EDWARDS, N. T.; GARTEN, C. T.; ANDREWS, J. A. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. **Biogeochemistry**, Oregon, n. 48, p. 115–46, 2000.

HASSINK, J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. **Plant Soil**, n. 191, p. 77-87, 1997.

HOGBERG, P.; NORDGREN, A.; BUCHMANN, N. Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. **Nature**, n. 411, p. 789–92, 2001.

HORA R, C.; PRIMAVERSI, O.; SOARES J.J. Contribuição das folhas de lianas na produção de serapilheira em um fragmento de floresta estacional semidecidual em São Carlos, SP. **Revista Brasil. Bot**, v.31, n.2, p.277-285, 2008.

IF- INSTITUTO FLORESTAL. **Plano de Manejo da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade**- FEENA. CD ROOM. 2005.

IPCC-INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **The scientific bases** – 2001. Disponível em <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/>. Acesso em 03 Agosto 2014.

IPCC-INTERGOVERNMENTAL PANEL CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. United Kingdom, and New York, United States, **Cambridge University Press**, 2001.

JENKINSON, D.S. **La materia orgánica del suelo: evolución**. En: *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. P.U. Terrón, C. Rojo. (Eds). Mundi Prensa. 1992, 500 p.

KANG, S. Y.; DOH, S.; LEE, D.; JIN, V. L.; KIMBALL, J. S. Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes. Korea. **Global change Biology**, Oxon, v.9, n. 10, p. 1427-1437, Oct. 2003.

KELLER, M.; KAPLAN, W. A.; WOFYSY, S. C. Emission of N₂O, CH₄ and CO₂ from tropical forest soils. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, Washington, v.91, n.11, p.1791-1802, 1986.

KHOMIK, M.; ARAIN, M.A.; McCAUGHEY, J. H.; temporal and special variability of soil respiration in a boreal mixedwood forest. **Agri. For. Meterol**, n.44, p. 244-256, 2006.

KJELDAHL, J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern, **Z. Anal. Chem.** 22, 366-382, 1883.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Implantação, condução e resultados obtidos com o sistema santa fé. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Org.) **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.407-459.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de Braquiária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H., eds. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.500-522.

KÖGEL-KNABNER, I. Analytical approaches for characterizing soil organic matter. **Org.Geochem.**, n. 31, p. 609-625, 2000.

KUNTORO, A.; WAHYU, A. **The Effect of Deforestation on Regional Terrestrial Carbon Balance: A Case Study of Borneo Island**. Japan. 2009.

KUTSCH, W. L.; BANH, M.; HEINEMEYER, A. **Soil Carbon Dynamic: an integrated methodology**. Cambridge. 2010.

LA SCALA, Jr. N; PANOSSO A.R; PEREIRA G.T. Modelling short-term temporal changes of bare soil CO₂ emissions in a tropical agrosystem by using meteorological data. **Applied Soil Ecology**, v. 24, p. 113-116, 2003.

LA SCALA, Jr. N.; MARQUES, J.; PEREIRA, G,T.; CORA, J. E. Short term temporal changes in the spatial variability model of CO emissions from a Brazilian bare soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.32, n.10, p. 1459-1462, 2000.

LEÓDIDO L.M. **Desenvolvimento de métodos e meios para a calibração dinâmica de transdutores de gases de efeito estufa**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia/Universidade de Brasília – DF, Brasília, 2006.

LI, Y.; LINDDSTROM, M.J. Evaluating soil quality-soil redistribution relationship on terraces and sep hillslope. **Soil Science Amstendars. Journal**, n. 65 p. 1500 – 1508, 2001.

LLOYD, J.; TAYLOR, A. On the temperature dependence of soil respiration functional. **Ecology**, Oxford, v.8, n.3 p. 315-323, 1994.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 28, p.175-187, 2004.

MACHADO, F.B.; NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F. Geologia e aspectos petrológicos das rochas intrusivas mesozoicas da parte da borda leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 37, p.64-80, 2007.

MCDOWELL, N.G.; MARSHALL J. D.; HOOKER, T. D.; MUSSELMAN R. Estimating CO₂ flux from snow packs at three sites in the Rock Mountains. **Tree Physiology**, n. 20, p.745-753, 2000.

MONTEIRO, C.A.F. – *A Dinâmica climática e as Chuvas no estado de São Paulo (Estudo Geográfico sob Forma de Atlas)*. Inst. de Geografia, USP, 1973.

MOREIRA R. M.; SILVA A. U. Produção de serapilheira e área reflorestada. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.1, p.49-59, 2004.

MORENO, L.X. **Desenvolvimento de sistema de análise de fluxo de CO₂ do solo pelo método de adsorção da radiação infravermelha**. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas/ Universidade Estadual Paulista “Julio de mesquita Filho”, 2012.

NCONGOLO, V. K.; JOHNSON, S.; SCHMIDT, K.; EIVAZ, F. Greenhouse gases fluxes and soil thermal properties in a pasture in central Missouri. **Journal of Environmental Sciences**, v. 22(7), p. 1029-1039, 2010.

NICOLOSO, R.S. **Mecanismos de estabilização do carbono orgânico do solo em agroecossistemas de clima temperado e sub-tropical**. 2009. 108 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

NUNES, P. C. **Influência do efluxo de CO₂ do solo na produção de forragem numa pastagem extensiva e num sistema agrosilvopastoril**. 2003. 68 f. Dissertação (mestrado em

Ciências Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/ Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2003.

OADES, J.M.; GILLMAN, G.P.; UEHARA, G. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G. (Org.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: Hawaii Press, 1989. p.69-95.

OADES, J.M.; WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. **Austr. J. Soil Res.**, v. 29, p.815-828, 1991.

ODUM, E. P. The strategy of ecosystem development. **Science**, n. 164, p. 262-70. 1969.

OHASHI, M., GYOKUSEN, K. Temporal change in spatial variability of soil respiration on a slope of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) forest. **Soil Biol. Biochem.**, n. 39, p. 1130- 1138, 2007.

PANOSSO, A.R.; MARQUES Jr. J.; PEREIRA, G.T.; LA SCALA Jr. N. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil Tillage Res.**, n. 105, p. 275-282, 2009.

PANOSSO, A. R.; MARQUES, Jr.; J., MILORI, D.M.B.P.; FERRAUDO, A.S.; BARBIERI, D.M.; PEREIRA, G.T.;LA SCALA, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugar cane areas under Slash-and-burn and Green Harvest. **Soil Tillage Res.**, n. 111, p. 190-196, 2011.

PEIXOTO, M.F.S. **Atributos físicos, químicos e biológicos como indicadores da qualidade do solo**, 2008.

PENTEADO, M.M.A. Implicações tectônicas na gênese das cuestas da Bacia de Rio Claro (SP). In: _____ **Notícia Geomorfológica** (Org.). Campinas, vol. 15, n.º 8, p. 19-41, 1968.

PENTEADO, M.M.A. Estudo geomorfológico do sítio urbano de Rio Claro. In: _____ **Notícia Geomorfológica** (Org.), Campinas, ano 21, n.º 42, p. 23-56, 1981.

PRIWITZER, T.; CAPULIAK, J.; BOSELA, M.; SCHWARS, M. Preliminary results of soil respiration in beech, spruce and grassy stands. **Lesnický casopis – Forestry Journal**, Bratislava, n.59(3), p 189-196, 2013.

RAICH, J. W; SCHLESINGER, W. H. The global carbon dioxide flux in soil respiration relationship to vegetation and climate. **Tellus**, Copenhagen, n. 44, p. 81-99, 1992.

RAZAFIMBELO, T.M.; ALBRECHT, A.; OLIVER, R.; CHEVALLIER, T.; CHAPUIS-LARDY, L.; FELLER, C. Aggregate associated-C and physical protection in a tropical clayey soil under Malagasy conventional and no-tillage systems. **Soil Tillage Res**, n. 98, p. 140-149, 2008.

RODRIGUES R. R. A vegetação de Piracicaba e os municípios do entorno. **Circular técnica IPEF**, Piracicaba, n. 189, p. 1-17, 1999.

ROSS, S. **Soil processes a systematic approach**. New York: Routledge, 1989, 444 p.

SABINE, C.L.; FEELY, R. A.; GRUBER, N.; KEY, R. M.; LEE, K.; BULOISTER, J.L.; WANNINKHOF, R.; WONG, C.S.; WALLACE, D.W.R.; TILBROOK, B.; MILLERO, F, J.; PENG T.; KOZYR, A.; RIOS, A.F. The oceanic sink for anthropogenic CO₂, *Science*, v. 305, p. 367–371, 2004.

SABINO, C. V.; LAGE, V. L.; ALMEIDA, K. C. B. Uso de métodos estatísticos robustos na análise ambiental. **Eng Sanit Ambiental**, edição especial, p. 87-94, 2014.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Estado do Meio Ambiente – Projeto Biota – São Paulo. **Probio**, 1998.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry**; analysis of global change 2nd ed. Oxon: Academic Press, 1997. 234 p.

SCHINDLBACHER, A.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; GLATZEL, G.; JANDL, R. Winter Soil respiration from an Austrian mountain forest. **Agricultural And Forest Metereology** , n. 146, p. 205-215, 2007.

SHI W. Y.; YAN M.; ZHANG J.; GUAN, J.; DU, S. Soil CO₂ emissions from five different types of land use on the semiarid Loess Plateau of China, with emphasis on the contribution of winter soil respiration. **Atmospheric Environment**, n.88, p.74-82, 2014.

SINGH, J. S.; GUPTA, S. R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. **Botanical Review**, Nova York, v.43, n.4, p.499-528, 1977.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotechnologia do solo**: fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC/ABEAS/Lavras: ESAL/FAEPE, 236p, 1988.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E. & PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant Soil**, n. 241, p. 155-176, 2002.

SOTTA, E. D. **Fluxo de CO₂ entre o solo e a atmosfera em floresta tropical úmida da Amazônia Central**. 1998, 150 p. Dissertação (mestrado em ciências florestais) -Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas. Manaus, 1998.

SOTTA, E. F.; MEIR.P; MALHI, Y.; NOBRE, A.D.; HODNETTS, M.; GRACE.J. Soil CO₂ efflux in a tropical forest in the central Amazon. **Global Change Biology**, Oxford, v.10, n.5, p. 601-617, 2004.

STEWART, C.E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R.T.; PLANTE, A.F.; SIX, J. et al. Soil C saturation: linking concept and measurable C pools. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, n. 72, p. 379-392, 2008

STEWART, C.E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R.T.; PLANTE, A.F.; SIX, J. Soil carbon saturation: Implications for measurable carbon pool dynamics in long-term incubations. **Soil Biol.Biochem**, n.41, p. 357-366, 2009.

SUBKE, J. A.; INGLIMA, I.; COTRUFO, M. F. Trends and methodological impacts in soil CO₂ efflux partitioning: a meta-analytical review. **Global Change Biology**, n.12, p. 921–43, 2006.

TEIXEIRA, D.D.B., BICALHO, E. S.; E.S.; PANOSSO, A.R., CERRI, C.E.P.; PEREIRA, G.T., LA SCALA, N. Spatial variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area characterized by secondary information. **Sci. Agric.**, n. 70, p. 195-203, 2013.

THORNTWAITE, C.W.; MATHER, J.R. *The water balance*. Centerton, N.J. USA. The Laboratory of Climatology, 1981, 104 p.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **J. Soil Sci.**, n. 33, p. 141-163, 1982.

TRUMBORE, S.E.; DAVIDSON, E. A.; DE CAMARGO, P. B.; NEPSTAD, D. C.; VANHALA, P. Seasonal variation in the soil respiration rate in coniferous forest soils. **Soils Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 34, n.9, p. 1375-1379, 2002.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; JANTALIA, C.P.; BODDEY, R.M. Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: Uma análise crítica. **Inf. Agron.**, n. 130, p.12-21, 2010.

VAN BAVEL, C. H. M. A soil aeration theory based on diffusion. **Soil Science**, n.72, p. 33–46, 1951

VAN BAVEL, C. H. M. Gaseous diffusion and porosity in porous media. **Soil Science**, cidade, n. 73, p. 91–104, 1952.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124 p.

VESTERDAK, L.; SCHMIDT, L.K.; CALLESEN, I.K.; NILSSON, L.O.; GUNDERSEN, P. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. **For. Ecol. Mange**, n.255, p 78-83, 2008.

WATSON, T.R.; NOBLE, R.I.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N.H.; VERARDO, J.D.; DOKEN, J.D. Land Use, Land Use Change, and Forestry. A special report. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom, **Cambridge University Press**. 2000.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos no rebordo do planalto – RS**. 2008. 79p. Dissertação (Mestrado em Ciências do solo). Universidade de Santa Maria - RS, Santa Maria, 2008.

ANEXO 01 - Dados utilizados para a elaboração da regressão linear múltipla

Medida	Horario	Emissão	Umi. Ar (°C)	Temp. Ar (°C)	P Atm. (hPa)	Umid. Solo (%)	Temp. Solo (°C)	Cond. Térm. (W m ⁻¹ K ⁻¹)	C/N
1	8,41	1,08	54,00	23,70	940,20	26,00	18,31	0,63	10,14
2	9,55	2,29	41,00	24,80	940,80	40,90	19,76	1,06	10,63
3	9,65	2,23	41,00	27,30	940,80	40,90	19,76	1,06	10,63
4	9,75	2,01	29,00	33,30	940,80	40,90	19,76	1,06	10,63
5	10,30	2,10	33,00	30,20	940,80	37,70	19,41	0,97	10,27
6	10,41	2,17	35,00	28,50	940,50	37,70	19,41	0,97	10,27
7	10,22	2,28	35,00	29,70	940,50	37,70	19,41	0,97	10,27
8	10,98	1,79	24,00	35,80	940,10	22,80	21,82	1,07	11,94
9	11,04	1,84	22,00	37,20	939,70	22,80	21,82	1,07	11,94
10	11,23	1,93	24,00	35,50	939,70	22,80	21,82	1,07	11,94
11	14,66	2,01	15,00	43,40	940,80	21,60	33,02	0,41	12,63
12	14,80	2,06	12,00	46,20	940,50	21,60	33,02	0,41	12,63
13	14,93	1,96	15,00	48,30	940,50	21,60	33,02	0,41	12,63
14	16,06	1,61	13,00	36,30	934,60	31,90	23,45	0,92	8,57
15	16,21	1,53	13,00	36,60	933,80	31,90	23,45	0,92	8,57
16	16,33	1,33	13,00	36,60	934,00	31,90	23,45	0,92	8,57
17	16,95	1,71	21,00	32,00	934,20	40,90	23,49	0,96	10,01
18	17,06	1,71	23,00	31,10	934,20	40,90	23,49	0,96	10,01
19	17,18	1,77	26,00	30,80	934,20	40,90	23,49	0,96	10,01
20	14,20	0,96	13,00	45,30	932,40	46,20	25,735	0,96	10,63
21	14,30	0,89	13,00	45,40	932,40	47,20	25,735	0,96	10,63
22	14,41	1,01	12,00	46,90	932,20	48,20	25,735	0,96	10,63
23	14,85	1,61	11,00	47,50	931,50	29,50	35,295	0,86	13,63
24	14,95	1,68	12,00	46,90	931,90	30,50	35,295	0,86	13,63
25	15,10	1,57	12,00	46,20	931,90	31,50	35,295	0,86	13,63
26	15,21	1,15	14,00	44,30	931,90	33,20	29,14	0,73	10,63
27	15,45	1,06	11,00	47,40	931,90	35,20	29,14	0,73	10,63

Medida	Horario	Emissão	Umi. Ar (°C)	Temp. Ar (°C)	P Atm. (hPa)	Umid. Solo (%)	Temp. Solo (°C)	Cond. Térm. (W m ⁻¹ K ⁻¹)	C/N
28	15,53	0,98	15,00	48,00	931,90	36,20	29,14	0,73	10,63
29	15,95	1,61	13,00	45,00	932,40	32,30	27,49	0,57	18,81
30	16,05	1,60	13,00	40,40	931,80	33,30	27,49	0,57	18,81
31	16,26	1,61	17,00	37,10	932,00	35,30	27,49	0,57	18,81
32	16,36	1,60	15,00	37,30	932,00	36,30	27,49	0,57	18,81
33	7,25	0,64	64,00	23,90	939,00	28,50	22,55	0,41	9,51
34	7,5,0	0,68	54,00	26,30	939,50	28,50	22,55	0,41	9,51
35	7,66	0,65	48,00	28,00	939,00	28,50	22,55	0,41	9,51
36	8,00	0,68	45,00	30,40	940,40	28,50	22,55	0,41	9,51
37	8,23	0,93	40,00	34,00	940,40	26,50	23,94	0,49	9,95
38	8,51	0,93	28,00	40,70	940,30	26,50	23,94	0,49	9,95
39	8,61	0,86	14,00	44,30	940,00	26,50	23,94	0,49	9,95
40	8,76	0,86	25,00	41,50	940,00	26,50	23,94	0,49	9,95
41	8,98	0,61	22,00	42,40	940,20	25,20	23,32	0,34	10,69
42	9,11	0,69	29,00	39,30	940,50	25,20	23,32	0,34	10,69
43	9,26	0,64	25,00	40,50	940,50	25,20	23,32	0,34	10,69
44	9,51	0,58	23,20	37,30	940,60	25,20	23,32	0,34	10,69
45	9,6	0,51	33,00	36,70	940,60	25,20	23,32	0,34	10,69
46	9,76	0,75	31,00	37,90	940,40	30,20	25,10	0,80	9,68
47	9,88	0,98	26,00	41,60	940,40	30,20	25,10	0,80	9,68
48	9,98	0,93	14,00	44,80	940,40	30,20	25,10	0,80	9,68
49	10,21	0,86	11,00	47,30	940,00	30,20	25,10	0,80	9,68
50	13,33	3,86	53,00	28,00	940,40	53,80	23,02	0,29	8,19
51	13,45	2,54	56,00	28,00	940,40	53,80	23,02	0,29	8,19
52	13,58	2,38	64,00	29,50	940,30	53,80	23,02	0,29	8,19
53	13,70	2,30	54,00	30,10	940,30	53,80	23,02	0,29	8,19
54	13,86	2,08	54,00	29,50	940,20	53,80	23,02	0,29	8,19
55	14,13	1,59	47,00	30,50	940,30	47,10	23,43	0,289	9,66*

Medida	Horario	Emissão	Umi. Ar (°C)	Temp. Ar (°C)	P Atm. (hPa)	Umid. Solo (%)	Temp. Solo (°C)	Cond. Térm. (W m ⁻¹ K ⁻¹)	C/N
56	14,31	1,68	49,00	30,10	940,20	47,10	23,43	0,28	9,66*
57	14,56	1,56	56,00	29,50	940,30	47,10	23,43	0,28	9,66*
58	14,65	1,55	54,00	29,30	940,10	47,10	23,43	0,28	9,66*
59	14,80	1,56	66,00	28,60	939,90	47,10	23,43	0,28	9,66*
60	15,33	1,47	57,00	28,70	940,00	50,50	23,30	0,44	8,67
61	15,13	1,03	62,00	28,70	939,70	50,50	23,30	0,44	8,67
62	15,30	1,11	64,00	28,40	939,60	50,50	23,30	0,44	8,67
63	15,41	0,92	66,00	28,10	939,60	50,50	23,30	0,44	8,67
64	15,60	1,19	62,00	28,30	939,40	50,50	23,30	0,44	8,67
65	15,88	1,32	61,00	28,70	939,50	48,80	22,95	0,32	8,42
66	16,01	1,09	66,00	28,70	939,50	48,80	22,95	0,32	8,42
67	16,11	1,25	65,00	28,20	939,30	48,80	22,95	0,32	8,42
68	16,25	1,39	58,00	27,90	939,20	48,80	22,95	0,32	8,42
69	14,00	0,85	47,00	27,00	940,20	43,80	21,42*	0,48*	11,39
70	14,01	0,76	49,00	27,00	940,30	43,80	21,42*	0,48*	11,39
71	14,03	0,61	48,00	27,10	940,20	43,80	21,42*	0,48*	11,39
72	7,20	0,89	48,00	27,20	940,30	43,80	21,42*	0,48*	11,39
73	15,00	3,04	80,00	26,00	939,50	65,60	22,51	0,58	10,61
74	15,25	2,92	78,00	26,20	939,50	65,60	22,51	0,58	10,61
75	15,36	2,76	78,00	26,50	939,30	65,60	22,51	0,58	10,61
76	15,50	1,97	77,00	26,00	939,20	65,60	22,51	0,58	10,61
77	15,66	1,75	70,00	26,00	939,70	60,60	22,48	0,55	10,81
78	16,00	2,57	72,00	25,80	939,60	60,60	22,48	0,55	10,81
79	16,01	1,23	70,00	25,80	939,60	60,60	22,48	0,55	10,81
80	16,31	3,35	68,00	26,00	939,40	60,60	22,48	0,55	10,81
81	16,50	2,73	68,00	26,00	939,50	60,60	22,48	0,55	10,81
82	16,75	2,07	65,00	25,50	940,20	53,80	22,85	0,72	10,46
83	17,00	2,57	60,00	25,50	940,30	53,80	22,85	0,72	10,46

Medida	Horario	Emissão	Umi. Ar (°C)	Temp. Ar (°C)	P Atm. (hPa)	Umid. Solo (%)	Temp. Solo (°C)	Cond. Térm. (W m ⁻¹ K ⁻¹)	C/N
84	17,25	2,86	60,00	25,30	939,50	53,80	22,85	0,72	10,46
85	17,50	3,02	60,00	25,30	939,50	53,80	22,85	0,72	10,46
86	14,61	1,59	81,00	25,20	945,40	57,20	21,17	0,66	8,77
87	14,75	1,95	84,00	25,20	945,40	57,20	21,17	0,66	8,77
88	14,86	1,99	81,00	25,40	945,20	57,20	21,17	0,66	8,77
89	15,16	1,98	80,00	25,20	945,10	57,20	21,17	0,66	8,77
90	10,38	1,64	86,00	23,20	945,90	57,20	21,42*	0,48*	9,66
91	10,66	1,73	88,00	23,30	945,60	53,80	21,42*	0,48*	9,66
92	10,91	2,59	89,00	23,50	945,30	63,90	21,42*	0,48*	9,66
93	11,08	2,14	89,00	24,20	945,20	50,50	21,42*	0,48*	9,66
94	11,33	2,49	88,00	24,70	945,00	67,30	21,42*	0,48*	9,66
95	9,83	2,10	89,00	19,40	948,60	39,90	18,00	0,48*	9,66
96	10,08	2,03	88,00	19,60	948,80	39,90	18,00	0,48*	9,66
97	10,25	1,67	92,00	18,90	948,50	34,00	18,00	0,48*	9,66
98	9,58	2,40	77,00	21,00	949,30	70,00	18,00	0,48*	9,66

*média dos valores da variável para o talhão 23

ANEXO 02 – Resultados da regressão linear múltipla

	Medida	Observado	Calculado	White-hubber	Robusta
	1,00	1,08	0,84	0,84	0,95
	2,00	2,29	2,20	2,20	2,19
	3,00	2,23	2,04	2,04	2,06
	4,00	2,01	1,89	1,89	1,90
	5,00	2,10	1,78	1,78	1,82
	6,00	2,17	1,83	1,83	1,85
	7,00	2,28	1,74	1,74	1,78
	8,00	1,79	1,46	1,46	1,68
	9,00	1,84	1,36	1,36	1,59
	10,00	1,93	1,44	1,44	1,67
	11,00	2,01	1,87	1,87	1,88
	12,00	2,06	1,72	1,72	1,74
	13,00	1,96	1,53	1,53	1,60
	14,00	1,61	1,37	1,37	1,38
	15,00	1,53	1,26	1,26	1,28
	16,00	1,33	1,29	1,29	1,31
	17,00	1,71	1,91	1,91	1,89
	18,00	1,71	1,94	1,94	1,92
	19,00	1,77	1,91	1,91	1,90
	20,00	0,96	1,35	1,35	1,26
	21,00	0,89	1,38	1,38	1,28
	22,00	1,01	1,32	1,32	1,22
	23,00	1,61	1,62	1,62	1,58
	24,00	1,68	1,72	1,72	1,67
	25,00	1,57	1,80	1,80	1,75
	26,00	1,15	1,06	1,06	1,00
	27,00	1,06	0,99	0,99	0,94
	28,00	0,98	0,92	0,92	0,88
	29,00	1,61	1,24	1,24	1,42
	30,00	1,60	1,50	1,50	1,63
	31,00	1,61	1,74	1,74	1,84
	32,00	1,60	1,80	1,80	1,88
	33,00	0,64	0,74	0,74	0,69
	34,00	0,68	0,84	0,84	0,77
	35,00	0,65	0,79	0,79	0,71
	36,00	0,68	0,86	0,86	0,81
	37,00	0,93	0,90	0,90	0,88
	38,00	0,93	0,69	0,69	0,69
	39,00	0,86	0,70	0,70	0,66
	40,00	0,86	0,68	0,68	0,66
	41,00	0,61	0,51	0,51	0,51

	42,00	0,69	0,61	0,61	0,63
	43,00	0,64	0,62	0,62	0,63
	44,00	0,58	0,88	0,88	0,85
	45,00	0,51	0,74	0,74	0,75
	46,00	0,75	1,39	1,39	1,39
	47,00	0,98	1,25	1,25	1,27
	48,00	0,93	1,27	1,27	1,26
	49,00	0,86	1,13	1,13	1,14
	50,00	3,86	1,82	1,82	1,57
	51,00	2,54	1,77	1,77	1,54
	52,00	2,38	1,52	1,52	1,34
	53,00	2,30	1,67	1,67	1,46
	54,00	2,08	1,70	1,70	1,49
	55,00	1,59	1,68	1,68	1,54
	56,00	1,68	1,66	1,66	1,53
	57,00	1,56	1,59	1,59	1,49
	58,00	1,55	1,62	1,62	1,51
	59,00	1,56	1,42	1,42	1,37
	60,00	1,47	1,81	1,81	1,70
	61,00	1,03	1,67	1,67	1,58
	62,00	1,11	1,65	1,65	1,57
	63,00	0,92	1,63	1,63	1,56
	64,00	1,19	1,68	1,68	1,60
	65,00	1,32	1,47	1,47	1,39
	66,00	1,09	1,38	1,38	1,33
	67,00	1,25	1,42	1,42	1,35
	68,00	1,39	1,56	1,56	1,46
	69,00	0,85	1,84	1,84	1,82
	70,00	0,76	1,81	1,81	1,80
	71,00	0,61	1,81	1,81	1,80
	72,00	0,89	1,56	1,56	1,39
	73,00	3,04	2,15	2,15	2,05
	74,00	2,92	2,18	2,18	2,08
	75,00	2,76	2,15	2,15	2,05
	76,00	1,97	2,19	2,19	2,09
	77,00	1,75	2,19	2,19	2,11
	78,00	2,57	2,17	2,17	2,10
	79,00	1,23	2,21	2,21	2,13
	80,00	3,35	2,22	2,22	2,14
	81,00	2,73	2,24	2,24	2,17
	82,00	2,07	2,35	2,35	2,36
	83,00	2,57	2,47	2,47	2,45
	84,00	2,86	2,40	2,40	2,39
	85,00	3,02	2,41	2,41	2,40

	86,00	1,59	2,36	2,36	2,38
	87,00	1,95	2,31	2,31	2,34
	88,00	1,99	2,34	2,34	2,36
	89,00	1,98	2,37	2,37	2,39
	90,00	1,64	2,21	2,21	2,11
	91,00	1,73	2,02	2,02	1,98
	92,00	2,59	2,32	2,32	2,18
	93,00	2,14	1,80	1,80	1,82
	94,00	2,49	2,36	2,36	2,20
	95,00	2,10	1,73	1,73	1,87
	96,00	2,03	1,77	1,77	1,91
	97,00	1,67	1,51	1,51	1,73
	98,00	2,40	2,97	2,97	2,75