



Efluxo de carbono do solo na floresta da Tijuca – Rio de Janeiro

Laís Silva e Silva¹, Bruno Moraes Nascimento², Henderson Silva Wanderley³, Fernando Vieira Cesário⁴, Fabiano de Carvalho Balieiro⁵

¹Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, e-mail: l.laisgeo@hotmail.com (correspondente), <http://orcid.org/0000-0002-1278-1276>

Universidade Federal Fluminense, e-mail: brunomoraesufrrj@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2371-5650>

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, e-mail: henderson@ufrj.br <http://orcid.org/0000-0002-4031-3509>

Universidade Federal Fluminense, e-mail: fernandovieiracesario@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2333-6813>

Centro Nacional de Pesquisa em Solos (EMBRAPA), Rio de Janeiro, E-mail: fabiano.balieiro@embrapa.br, <http://orcid.org/0000-0002-0229-6672>

Artigo recebido em 23/03/2023 e aceito 05/05/2023

RESUMO

Compreender a função dos ecossistemas em emitir ou sequestrar carbono é fundamental, principalmente em ecossistemas florestais. Entretanto, estudos em florestas tropicais para quantificar esse efluxo ainda são escassos. Neste contexto, o presente estudou objetivou quantificar o efluxo de carbono (C) do solo por meio de medições da respiração do solo sem serrapilheira utilizando o método Soda Lime (SL) na Floresta da Tijuca. O estudo foi conduzido na Floresta da Tijuca, em área experimental de aproximadamente 0.25 hectares onde os tratamentos foram colocados de forma aleatória. As medições foram realizadas entre os dias 15 e 30 de cada mês, entre outubro de 2019 e setembro de 2020. As medições com SL foram validadas por meio do analisador de gás infravermelho (Infrared Gás Analyzer – IRGA). O método SL mostrou resultados satisfatório em relação ao IRGA, com coeficiente de correlação linear $r=0,976$ e índice de concordância de Willmot $d=0,989$. Os resultados mostraram sazonalidade do efluxo de C durante os meses de medição, apresentando os maiores efluxos no verão ($7,70 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e os menores no inverno ($1,15 \text{ gCm}^{-2}\text{dia}^{-1}$). A temperatura foi o fator abiótico determinante para oscilações nos efluxos de C.

Palavras-chave: floresta tropical, respiração do solo, dióxido de carbono, Soda Lime, serrapilheira.

Efflux soil carbon in Tijuca forest - Rio de Janeiro

ABSTRACT

Understanding the role of ecosystems in emitting or sequestering carbon is essential, especially in forest ecosystems. However, studies in tropical forests to quantify this outflow are still scarce. In this context, the present study aimed to quantify the carbon (C) efflux from the soil through measurements of soil respiration without litter using the Soda Lime (SL) method in the Tijuca Forest. The study was conducted in the Tijuca Forest, in an experimental area of approximately 0.25 hectares where the treatments were placed at random. The measurements were carried out between the 15th and the 30th of each month, between October 2019 and September 2020. The measurements with SL were validated by means of the infrared gas analyzer (Infrared Gas Analyzer - IRGA). The SL method showed satisfactory results in relation to the IRGA, with a linear correlation coefficient $r = 0.976$ and Willmot's agreement index $d = 0.989$. The results showed seasonality of the C efflux during the months of measurement, presenting the highest efflux in the summer ($7.70 \text{ gCm}^{-2}\text{day}^{-1}$) and the lowest in the winter ($1.15 \text{ gCm}^{-2}\text{day}^{-1}$). Temperature was the key abiotic factor for fluctuations in C effluxes.

Keywords: tropical forest, soil respiration, carbon dioxide, Soda Lime, litter

Introdução

As mudanças climáticas são consideradas um dos desafios mais preocupantes que a humanidade vem enfrentando, e estas relacionam-

se as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), que colaboram com a retenção de calor, tornando o planeta mais quente e afetando diretamente os

padrões climáticos, a sociedade, fauna e flora. Deste modo, medir as trocas de efluxos entre o solo e a atmosfera é de extrema importância para contribuir com o entendimento acerca dos efeitos dos parâmetros bioquímicos na questão do aquecimento global (Al Makky et al., 2018).

Um dos principais fatores que contribuem para a emissão dos GEE é a queima de combustíveis fósseis, atividade agrícola, desmatamento e os incêndios florestais (Arévalo et al., 2023). Esses fatores proporcionam a emissão para a atmosfera de gases como o dióxido de carbônico (CO₂), metano (CH₄), monóxido de carbono (CO) e óxido nitroso (N₂O). As mudanças no uso do solo, que ocorrem normalmente em ambientes florestais e savânicos, quase que em sua totalidade são para a produção agrícola de alto rendimento, onde cerca de 30% das emissões totais de CO₂ para a atmosfera é atribuído a essa atividade (Sabine et al., 2004).

O aumento dos GEE na atmosfera, ocasiona conseqüentemente o aumento da temperatura e da quantidade de vapor d'água na atmosfera, os quais tem o potencial de intensificar o efeito estufa. Esse entendimento trona-se essencial pois o solo é o maior reservatório de carbono orgânico de todos os ecossistemas terrestres e mudança na cobertura do solo, causado principalmente pelo desmatamento, atividade agrícola e os incêndios florestais são os principais contribuintes de CO₂ para a atmosfera.

Estima-se que globalmente no solo exista aproximadamente três vezes mais carbono que a atmosfera (Lal, 2004). Cerca de 80% do carbono é armazenado a uma profundidade de 1 m, tornando o carbono orgânico do solo um componente importante das reservas globais de carbono (Sang et al., 2022) Assim, as florestas se destacam pela sua importância nos processos de sequestro e emissão de C, com grande ênfase ao seu papel como sumidouro de C (Arora e Chaundry, 2017).

No entanto, esse entendimento depende da compreensão dos componentes do solo e dos ciclos existentes nele, destacando ainda a complexidade dos processos físicos, químicos e bióticos, que atuam em direções e intensidades distintas. As florestas tropicais são indispensáveis ao ciclo do carbono global, visto que elas estocam de 20-25% do carbono terrestre global (Fernandes et. al., 2002). De acordo com Huang et. al. (2023) os estoques de C do solo representaram até 76,6%, a vegetação 22,9% e as camadas de sub-bosque e folhas caídas 0,6% do armazenamento de C do ecossistema plantados.

O CO₂ é primordial para o metabolismo das plantas e para o equilíbrio climático global. Ele pode ser originado através de processos naturais, entretanto, o aumento dos níveis de CO₂ verificado atualmente, deve-se fundamentalmente as ações humanas.

A mitigação das mudanças climáticas refere-se aos esforços direcionados para reduzir o dióxido de carbono atmosférico pela atividade fotossintética das plantas. As interações planta-solo-atmosfera promovem a transferência de C assimilado pelas florestas para a biomassa microbiana do solo, aumentando o papel do solo como potencial sumidouro de carbono orgânico (Gispert et al., 2021). O carbono do solo é um fator chave para avaliar a qualidade do solo e a produtividade das plantas e crescimento das florestas devido ao seu papel crucial na melhoria das propriedades físico-químicas e biológicas do solo (Sarma et al., 2018)

Em grandes centros urbanos como a cidade do Rio de Janeiro (CRJ), em decorrência da grande queima de combustíveis fósseis, a cidade acaba por contribuir, em quase a sua totalidade como fonte de carbono para a atmosfera, aumentando sua concentração de GEE. No entanto, as florestas urbanas exercem um papel fundamental na absorção de carbono da atmosfera e no microclima das cidades (Wanderley e Miguel, 2019), redução da temperatura (Wanderley et al., 2019), aumento da precipitação (Regueira e Wanderley, 2022, Veiga et al., 2022), redução de desastres naturais (Pereira et al., 2021). Entretanto, o entendimento de como as florestas urbanas absorvem C, para a CRJ é escasso, necessitando de estudos que possam quantificar o papel da floresta urbana na dinâmica do carbono.

Tendo em vista que na CRJ encontram-se grandes fragmentos de Mata Atlântica, como a floresta da Tijuca, torna-se de grande importância a investigação do efluxo de C na cidade (Nascimento et al., 2020). Outros problemas em destaque das florestas urbanas se devem ainda a sua intensa degradação pela ocupação urbana desordenada, o desmatamento, a industrialização, dentre outros fatores que prejudicam o meio ambiente. Sendo o bioma Mata Atlântica um dos maiores hotspot de biodiversidade do planeta, que sofre com o desmatamento, queimadas e a degradação do meio ambiente.

Estudos acerca da liberação de carbono em florestas tropicais ainda são escassos, especialmente em florestas tropicais urbanas. No Brasil, estes estudos concentram-se em sua grande

maioria na região Norte, com foco para a Floresta Amazônica, enquanto para região Sudeste, bioma Mata Atlântica e florestas urbanas, o quantitativo de estudos é pequeno. No entanto, quantificar a respiração do solo, com instrumento de medição tem custo elevando, com por exemplo o uso do analisador de gás infravermelho (IRGA). A validação de metodologias alternativas é fundamental para uma maior compreensão das medições da respiração do solo (Shaaban et al., 2023).

Frente a essa problemática, o método Soda Lime (SL) para quantificação C do solo se apresenta uma técnica simples e barata. A SL apresentou resultados satisfatório, para medir C, quando comparada ao analisador de gás infravermelho (Keith e Wong, 2006). Diante disto, o presente estudo objetivou quantificar o efluxo de C do solo, e validar o método Soda Lime (SL) para medir a respiração do solo, sem serrapilheira, na Floresta da Tijuca.

Material e Métodos

Área de estudo

O presente estudo foi conduzido no Parque Nacional da Tijuca (PNT), o qual possui área de 39,60 km² coberto por floresta tropical secundária e rodeado pela cidade do Rio de Janeiro (entre paralelos 22°55'S e 23°00'S e os meridianos 43°11'W e 43°19'W) localizada no Sudeste do Brasil (Figura 1). O PNT também é considerado uma unidade de conservação, e está localizado nas montanhas do Maciço da Tijuca na cidade do Rio de Janeiro.

A floresta da Tijuca é considerada uma das maiores florestas urbanas do mundo, e está localizada entre os paralelos 22°55' e 23°00'S e os meridianos 43°20' e 43°10'W, e sua altitude está entre 0 a 1.021 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima característico da Floresta da Tijuca é o tropical de altitude, com temperatura média anual de 22 °C. Os verões são chuvosos e invernos secos. Nos primeiros 500 metros de altitude, o clima é do tipo tropical úmido, com registros de chuva superiores à 2.000 mm/ano. E em altitudes superiores a 500 metros, o clima se modifica para tropical úmido de altitude (Mattos et al., 1976).

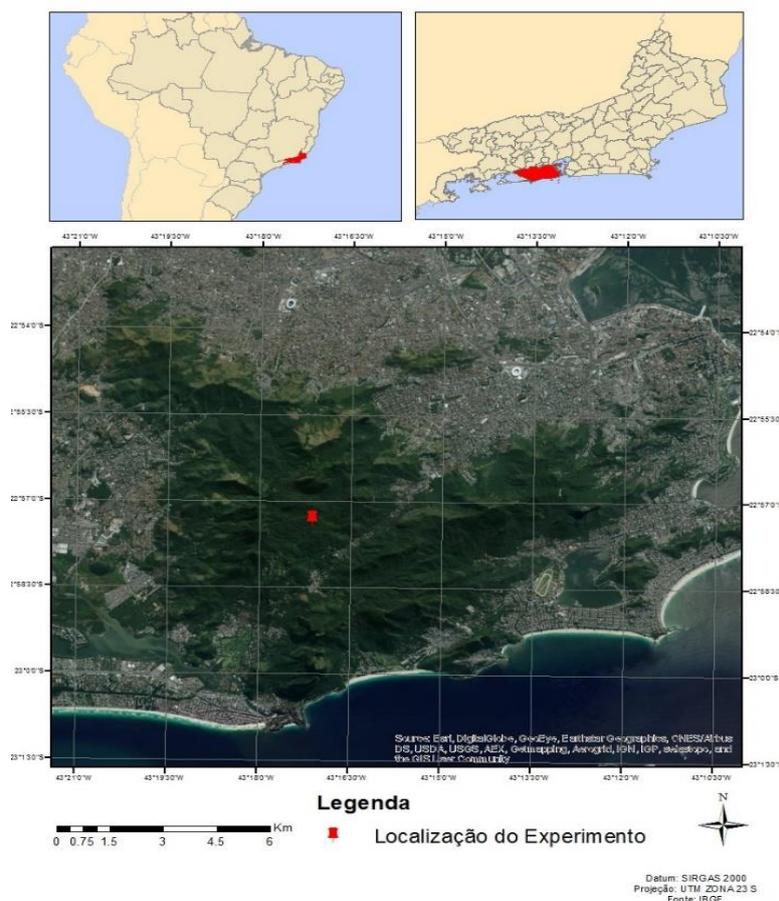


Figura 1. Localização do Experimento na cidade do Rio de Janeiro.

Vegetação e solo da floresta da Tijuca

A vegetação do PNT é típica de floresta tropical, caracterizada por grandes árvores, palmeiras, samambaias, epífitas e cipós (Comastri et al., 1981). As famílias de plantas mais frequentes são Leguminosae, Sapotaceae, Bombacaceae, Euphorbiaceae, Meliaceae, Lauraceae, Lecythidaceae, Moraceae e Melastomataceae. Sendo do tipo floresta perenifolia higrófila costeira. A vegetação do PNT é atualmente constituída por uma combinação de reflorestamento, processos de regeneração natural e vegetação primitiva em adiantado estágio de evolução sucessória (Pádua e Coimbra, 1979).

A paisagem da Floresta da Tijuca apresenta atualmente inúmeros tipos de uso e cobertura do solo como: áreas ocupadas por construções, gramíneas, afloramento rochoso e florestas em diversos estágios sucessionais (Coelho Netto, 1992). O maciço da Tijuca consiste em uma formação do período Pré-Cambriano, com predominância de diversos gnaisses e granitos (Coelho Netto, 2005).

Dentre os solos apresentados pela Floresta da Tijuca, existe o do tipo latossolo, que contém horizontes pedológicos pouco diversificados e perfil profundos. Enquanto nos terrenos com cotas mais elevadas encontramos litossolo e cambissolo, nos terrenos mais baixos impera a presença do latossolo vermelho-amarelo (Coelho Netto, 1992).

Medições de efluxo de CO₂

As medidas de efluxo de C foram realizadas mensalmente em área da floresta (Figura 1) com solo sem serrapilheira, entre o período de outubro de 2019 a setembro de 2020 (devido à Pandemia do Covid-19, as medições dos meses de abril a junho de 2020 não foram realizadas). As medições também foram realizadas com a utilização do IRGA, para a validação das medições com SL.

As medições com IRGA (analisador de gás por infravermelho portátil – EGM-2, PP Systems, U.K.) foram realizadas com a conexão da câmara de efluxo de C acoplada a canos PVC de 100 mm de diâmetro e 15 cm de altura, os quais foram instalados a 10 cm de profundidade no solo da floresta. Os PVCs foram instalados em quatro blocos casualizados, com quatro amostras por blocos, para a medição do solo sem serrapilheira. Para medição sem serrapilheira, os PVCs foram cobertos por uma malha de 2 mm, para evitar a

deposição de matéria orgânica dentro dos tratamentos.

O cálculo do efluxo diário da respiração do solo foi realizado com medições com o IRGA às 9-11 e 21-23 h e novamente as 9-11 h do dia posterior. Esse procedimento foi realizado devido a limitação das medições pontuais com o IRGA não podem ser feitas ao longo de todo o ciclo diário. A calibração do IRGA foi realizada para as leituras de CO₂ em 120 s ou até a estabilização do efluxo ser alcançada.

Os dados oriundos, individualmente de cada tubo, em g m⁻² hr⁻¹ foram convertidos para μmol m⁻²s⁻¹, multiplicando os valores em g m⁻² hr⁻¹ por 6.312 segundos, e posteriormente em g C m⁻² dia⁻¹, depois da integração diária das medições. O efluxo diário foi calculado a partir de medições com IRGA (Eq.1). A integrando a área sob a curva de efluxo de CO₂ em função do tempo, foi calculada por meio da metodologia apresentado por Keith e Wong (2006).

$$R = \frac{C_n - C_0}{T_n} * \frac{V}{A} \quad (1)$$

em que,

R – taxa de assimilação (efluxo de CO₂/unidade de área/unidade de tempo);

C₀ – concentração de CO₂ no tempo zero (T=0) em horas (ppm);

C_n – concentração no T_n decorrido (ppm);

A – área de solo exposto (m²);

V – volume total do sistema (i.e., câmara, 0.0012287 m³)

As medidas de efluxo de CO₂ com SL foram realizadas na mesma parcela da floresta que as medições realizadas com o IRGA. A medição de CO₂ por SL é decorrente do ganho de peso dos grânulos, referente a formação de Carbonatos de Sódio. O método de SL consiste em grânulos de NaOH e Ca (OH)₂. Deste modo, para a quantificação do ganho de peso, os grânulos de SL são secados em estufa, antes e depois de ir para campo, para que as diferenças no teor de água nas amostras iniciais e finais de Carbonato de Sódio não seja quantificada. Assim, a água absorvida durante a exposição em campo, não interfira no ganho de peso das amostras após a absorção do carbono em campo.

Para as medições com SL foram utilizadas amostras com 50g de grânulos, as quais são levadas para a estufa e para campo em placa de Petri. Para

as medições com SL, as amostras são levadas a estufa a uma temperatura de 105 °C por 14 h. Esse processo é realizado antes de levar as amostras para campo, e depois do recolhimento de campo, após 24 h. Deste modo, o ganho de peso das amostras depois da exposição em campo é quantificado como a absorção de carbono, em decorrência da respiração do solo.

No local do campo, a SL é umedecida com aproximadamente 8 ml de água, que é aplicado com spray antes de ser colocada em solo da floresta em uma câmara brancas selada de 7 L durante 24h. Após a coleta, as amostras são novamente seladas e transportadas ao laboratório, as quais são colocadas na estufa e pesadas ao final do período na estufa. Para a pesagem foi utilizada uma balança de precisão B-Max Modelo BM-A04.

Para as medições em campo foram utilizadas duas parcelas, as quais dispõem de 10 repetições, sendo duas para amostra branca por bloco. As amostras brancas foram utilizadas para quantificar erros de ganho de peso no processo de secagem em estufa, de resfriamento das amostras, entrada de ar nas câmaras colocado em campo, dentre outros.

A respiração do solo em $g\ C\ m^{-2}\ dia^{-1}$ foi obtida por meio da Equação-2, a qual inclui em seus cálculos o ganho de peso das amostras (g) e o tempo de exposição ao solo.

$$R_s = \left\{ \left[\left(\frac{p_a - p_b}{A} \right) \times 1,69 \right] \times \left(\frac{24}{t} \right) \times \frac{12}{44} \right\} \quad (2)$$

em que,

R_s - respiração do solo ($g\ C\ m^{-2}\ dia^{-1}$);

p_a - ganho de peso da amostra (g);

p_b - ganho de peso médio da amostra branca (g);

A - área da recipientes (m^2);

t - duração do experimento (h).

Medições dos elementos meteorológicos

Para as medições dos elementos meteorológicos foi utilizada uma estação meteorológica automática Vantage-Pro2 da Davis, com medições em intervalos de 15 mim da temperatura do ar e do solo, umidade do ar e do solo, radiação solar, vento, pressão atmosférica e precipitação, instalada no local do experimento. No momento da instalação do experimento, também foi utilizado um termo-higrômetro digital portátil modelo ION Therm 500.

Análise do desempenho da Soda Lime

Para análise do desempenho das medições realizadas com SL frente o IRGA foi utilizado a raiz do erro quadrático médio (REQM), erro absoluto médio (EAM), erro quadrático médio (EQM) e viés. Além dos indicadores estatísticos, determinou-se também o índice de concordância Wilmott (d), índice de desempenho (c), coeficiente de determinação (r^2); bem como, os testes de hipóteses de Wilcoxon, com o nível de significância de 5%.

Resultados e discussões

Os resultados apresentados pela SL apresentaram precisão na validação, com coeficiente de correlação linear positivo $r^2=0,976$, indicando uma correlação muito forte entre os métodos (Figura 2). Os resultados obtidos com o método SL foi satisfatório quando comparado ao método IRGA. Resultados semelhantes foram encontrados por Keith e Wong (2006), os quais obtiveram $r^2=0,80$, Herrmann e Bauhus (2008), com valor de $r^2=0,62$ e Emran et al. (2012) com valor de $r^2=0,76$ e $r^2=0,72$ para a validação da SL e IRGA. O índice de Concordância de Willmot $d=0,989$, mostrou uma concordância quase perfeita. O índice de desempenho também se mostrou satisfatório entre as medições $c=0,976$, o que demonstra um desempenho satisfatório para esse índice (Tabela 1).

A validação da SL ao IRGA mostrou exatidão por meio das análises dos erros (REQM e EQM), com tendências quase desprezível (Viés), assim como a diferenças em percentual (EAM). De acordo com o teste de Wilcoxon, o p-valor apresentado (0,83) ratifica que as medições com SL não mostraram diferença estatisticamente significativa ao IRGA. Resultados análogos ao encontrados por Herrmann e Bauhus (2008), no qual a inclinação da linha de regressão não foi significativamente diferente gráfico 1:1, indicando que a diferença entre os dois métodos se manteve constante em toda a faixa de medição.

Os parâmetros estatísticos entre as medições com SL e IRGA não demonstraram grandes variações entre os valores mínimo, médio e máximo (Tabela 2). A dispersão observada das medições em relação à média foi menor para as medições realizadas com SL. No entanto, os valores foram próximos as medições com o IRGA. O desvio padrão obtido nas medições demonstra uniformidade entre os dados apresentados, tanto para as medições com SL quanto para as com IRGA, com valor de 1,54 para os com IRGA e 1,50

para os com SL. Resultados também observados na variabilidade da média das medições demonstrada pelo erro padrão de 0,53 e 0,54 para as medições com SL e IRGA, respectivamente. A maior dispersão das medições com o IRGA também foi ratificada por Herrmann e Bauhus (2008). No entanto, os valores de C medidos pelo método de SL foram sempre superiores aos obtidos pelo analisador infravermelho no estudo de Emran et al. (2012). Essas diferenças são decorrentes da metodologia aplicada em função do tempo de medição e no tipo de técnica de medição.

A variabilidade do efluxos de C do solo durante os meses de medição na área de solo sem

serapilheira, mostra que o mês que demonstrou o menor efluxo foi em julho, no inverno, enquanto o de maior efluxo foi em março, final do verão. Foi observada uma sazonalidade ao longo dos meses de medições, com os maiores efluxos de C constatados no verão e os menores efluxos no inverno, com $7,01 \text{ g C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $1,15 \text{ g C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (Figura 3). Resultado semelhante foi encontrado por Emran et al. (2012), Yang et al. (2018) e Cai et al. (2021) que também observaram maiores taxas de respiração do solo nos meses de verão e menores nos meses de inverno.

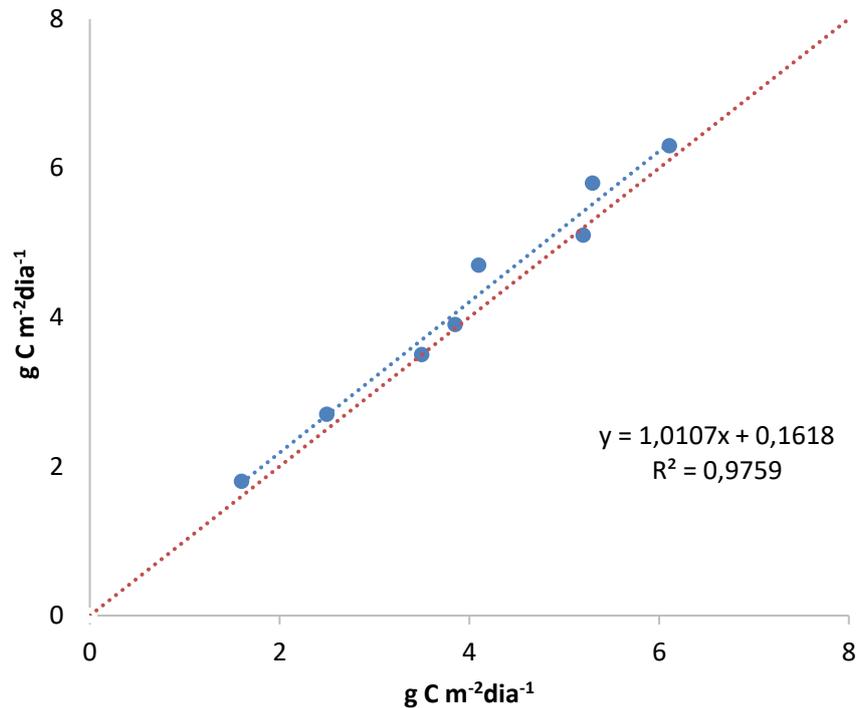


Figura 2. Validação do efluxo do solo medido com Soda Lime e IRGA.

Tabela 1. Avaliação da validação das medições com Soda Lime e IRGA

Condição	Viés	REQM	EAM	EQM	r ²	d	C	p-valor
SS	-0,20	0,30	0,23	0,09	0,976	0,989	0,976	0,83

SS-sem serapilheira, r-coeficiente de determinação, REQM – raiz do erro quadrático médio, EAM – erro absoluto médio, EQM - erro quadrático médio, d – índice de concordância de Willmott, c – índice de desempenho e p-valor para o teste de Wilcoxon.

Tabela 2. Estatística da validação das medições com e sem serapilheira entre Soda Lime e IRGA

Medição	Mín	Máx	Méd	DevPad	Variância	Erro Pad
IRGA	1,80	6,30	4,22	1,54	2,37	0,54
SODA	1,60	6,11	4,02	1,50	2,26	0,53

Mín – valor mínimo, Máx - valor máximo, Méd -média, DevPad - desvio padrão, Erro Pad - erro padrão.

A variação da respiração do solo é uma resposta a variabilidade dos elementos meteorológicos medidos em sítio (Figura 4). A temperatura do ar foi maior no verão (fevereiro), e menor no inverno (julho), igualmente à umidade relativa do ar, que foi menor no inverno (74%) e maior no verão (98%). Durante o período do experimento em campo apenas nos meses de novembro e janeiro houve registros de chuva. A precipitação em novembro se refere ao acumulado

da semana das medições, que se iniciou três dias antes do experimento, até o dia das medições do efluxo, com total de 63,4 mm. No mês de janeiro a precipitação só foi observada no dia das medições com 16 mm, embora seu início se deu após a colocação do experimento em campo, às 9 h da manhã. De acordo com Sang et al (2022) a água no solo contribui para aumentar as emissões de C do solo.

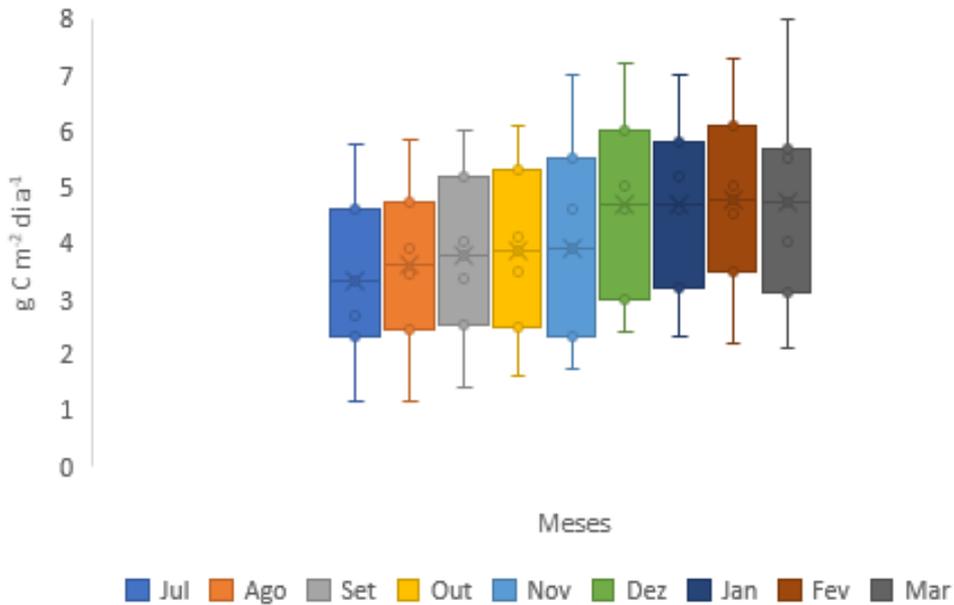


Figura 3. Medições do efluxo de carbono do solo da floresta da Tijuca.

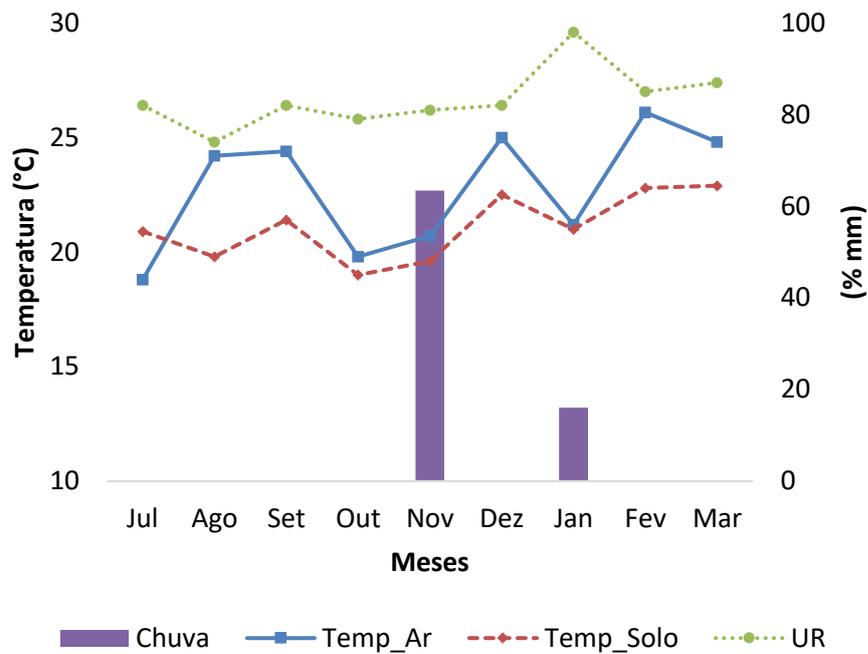


Figura 4. Elementos meteorológicos medidos no momento da instalação do experimento em campo (9h).

A sazonalidade dos efluxos de C e a correlação com as variáveis abióticas também foi observado Joshi e Garkoti (2020), em que as taxas de respiração foram menores no inverno, assim como foi constatado em neste estudo. Resultados análogo também foi observado por Tufekcioglu et al. (2001), Tufekcioglu et al. (2010) e Luo et al. (2016) os quais encontraram sazonalidade entre as medições, com taxas maiores registradas no verão devido à umidade no solo suficiente, e as mais baixas registradas no inverno, quando a umidade do solo é mínima. Também foi observado nos estudos a relação de aumento do efluxo de acordo com o aumento da umidade e da temperatura. Nosso estudo ratifica essa variabilidade, em função do aumento da temperatura, umidade do ar e precipitação.

Quando a temperatura e a umidade não estão em seus extremos, os dois fatores influenciam interativamente a respiração do solo e, juntos, podem explicar a maior parte de sua variabilidade observada no campo. Os resultados apresentados por Lee e Jose (2003) para clima temperado, com inverno ameno e verão úmido, aponta correlação positiva entre a respiração e a temperatura. O estudo de Schaefer et al., (2009) também mostrou que a temperatura teve efeito positivo na respiração do solo. Segundo Yang et al. (2018) a temperatura do ar está positivamente relacionada ao efluxo de

C, a qual interfere na taxa mensal de respiração do solo. Ohtsuka et al. (2014) mostrou que a correlação entre a temperatura e as taxas de respiração do solo apontou que a respiração aumentou exponencialmente conforme o aumento da temperatura.

As maiores taxas de respiração nos meses de verão são decorrentes da maior temperatura do ar e do solo, assim como a ocorrência de precipitação. A temperatura, umidade e precipitação estimulam as taxas fotossintéticas e as atividades subterrâneas, que resultaram em um crescimento mais rápido na superfície do solo e aumentos na respiração deste. No período em que predominam as chuvas é registrada a maior quantidade de serrapilheira e as taxas de respiração são maiores, devido as condições favoráveis de umidade e temperatura, propiciando o crescimento microbiano e vegetal. No período em que a temperaturas do ar e do solo são menores, assim como a deposição de serrapilheira, os menores efluxos são registrados (Saiz et al., 2006; Joshi e Garkoti, 2020).

A temperatura do ar e do solo tem um efeito profundo nos ciclos globais e regionais de C frente as mudanças climáticas. O aquecimento global potencialmente estimula grandes perdas de C do solo. O carbono orgânico acumulado no solo durante os períodos anteriores será liberado através

da respiração do solo à medida que o solo aquece em resposta às mudanças climáticas. Assim, entender a respiração do solo em diferentes regiões, com ênfase a florestas urbanas é fundamental para

Conclusões

A aplicação de SL apresentou resultados satisfatório, quando comparada estatisticamente os resultados apresentados com o IRGA, mostrando-se ser uma ferramenta robusta, de baixo custo e de fácil aplicação para quantificar a respiração do solo.

As medições do efluxo de C do solo apresentaram regime sazonal ao longo dos meses de experimento. As maiores taxas de efluxo de C foram registradas no verão e as menores foram registradas no inverno.

A temperatura e a umidade foram consideradas o fator abiótico determinante para as variações nos efluxos de C neste estudo. Mas, constatou-se que outros fatores como a precipitação, também influenciam nas taxas de efluxo de C em floresta.

Agradecimento

A presente pesquisa foi realizada com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela aprovação do auxílio Universal (Processo 421793/2018-2). Agradeço também à CAPES pela bolsa concedida, proporcionando auxílio financeiro, o que viabilizou a realização desta pesquisa (Processo: 88882.457031/2019-01).

Referências

Al Makky, A., Alaswad, A., Gibson, D., Song, S., Olabi, A. G., 2018. A numerical and experimental study of a new design of closed dynamic respiration chamber. *Computers and Electronics in Agriculture* 145, 326-340. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.015>.

Arévalo, S. M. M., Delgado, R. C., Lindemann, D. D. S., Gelsleichter, Y. A., Pereira, M. G., Rodrigues, R. D. Á., Justino, F.B.; Wanderley, H.S.; Zonta, E.; Santana, R.O.d.; de Souza, R.S., 2023. Past and Future Responses of Soil Water to Climate Change in Tropical and Subtropical Rainforest Systems in South America. *Atmosphere* 14, 755. <https://doi.org/10.3390/atmos14040755>.

Arora, P., Chaudry, S., 2017. Dependency of rate of soil respiration on soil parameters and

prever os ciclos regionais e globais do carbono mediante as mudanças no clima.

climatic factors in different tree plantations at Kurukshetra, India. *Tropical Ecology* 58, 573-581.

Cai, Y., Nishimura, T., Ida, H., Hirota, M., 2021. Spatial variation in soil respiration is determined by forest canopy structure through soil water content in a mature beech forest. *Forest Ecology and Management* 501, 119673.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119673>.

Coelho Netto, A.L., 1992. A Geomorfologia Frente aos Problemas Ambientais. In: WORKSHOP DE GEOCIÊNCIAS, 1, gráfica do IGEO, Anais, Anuário do Instituto de Geociências 15, 157-162.

Coelho Netto, A. L., 2005. A interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no maciço da Tijuca: desafios ao planejamento urbano numa perspectiva sócio-ambiental. *Revista do Departamento de Geografia* 16, 46-60.

Comastri, A. P. de M., 1981. Plano de Manejo do Parque Nacional da Tijuca, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis. Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza MA/IBDF/FBCN.Doc. Téc. No 11, 113.

Emran, M.; Gispert, M.; Pardini, G., 2012. Comparing measurements methods of carbon dioxide fluxes in a soil sequence under land use and cover change in North Eastern Spain. *Geoderma* 170, 176-185. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.11.013>.

Fernandes, S. A. P., Bernoux, M., Cerri, C. C., Feigl, B. J., Piccolo, M. C., 2002. Seasonal variation of soil chemical properties and CO₂ and CH₄ fluxes in unfertilized and P-fertilized pastures in an Ultisol of the Brazilian Amazon. *Geoderma* 107, 227-241. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00150-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00150-1).

Gispert, M., Kuliush, T., Dyachenko, L., Kharytonov, M., Emran, M., Verdaguer, D., Carrasco-Barea, L., 2021. Appraising soil carbon storage potential under perennial and annual Chenopodiaceae in salt marsh of NE Spain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 252, 107240. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107240>.

Herrmann, S., Bauhus, J., 2008. Comparison of methods to quantify respirational carbon loss of

- coarse woody debris. *Canadian journal of forest research* 38, 2738-2745. <https://doi.org/10.1139/X08-115>
- Huang W-Q, Xu B, Chen F-S, Zong Y-Y, Duan X-Q, Zhang G-X, Wu Z-J and Fang X-M., 2023. The effects of vegetation type on ecosystem carbon storage and distribution in subtropical plantations. *Front. For. Glob. Change* 6:1149799. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1149799>.
- Joshi, R., Garkoti, K., Chandra, S., 2020. Litter dynamics, leaf area index and forest floor respiration as indicators for understanding the role of Nepalese alder in white oak forests in central Himalaya, India. *Ecological Indicators* 111, 106065. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106065>.
- Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>.
- Lee, K. H., Jose, S., 2003. Soil respiration and microbial biomass in a pecan – Cotton alley cropping system in southern USA. *Agroforestry Systems* 58, 45-54. <https://doi.org/10.1023/A:1025404019211>.
- Luo, D., Cheng, R., Shi, Z., Wang, W., Xu, G., Liu, S., 2016. Impacts of nitrogen-fixing and non-nitrogen-fixing tree species on soil respiration and microbial community composition during forest management in subtropical China. *Ecological Research* 31, 683-693. <https://doi.org/10.1007/s11284-016-1377-4>.
- Keith, H., Wong, S. C., 2006. Measurement of soil CO₂ efflux using soda lime absorption: both quantitative and reliable. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 1121-1131. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.09.012>.
- Mattos, C. C. L. V., Mattos, M. D. L.; Laroche, R. C., 1976. Aspectos do clima e da flora do Parque Nacional da Tijuca. *Brasil Florestal* 7, 3-12.
- Nascimento, B., Cesário, F., Balieiro, F. D. C., Rodrigues, R., Wanderley, H.S., 2020. Short-term effect of adding nitrogen in forest soil of an urban rainforest. *Sustentabilidade em Debate* 11, 252-265. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n2.2020.30339>.
- Ohtsuka, T., Shizu, Y., Hirota, M., Yashiro, Y., Shugang, J., Iimura, Y., Koizumi, H., 2014. Role of coarse woody debris in the carbon cycle of Takayama forest, central Japan. *Ecological research* 29, 91-101. <https://doi.org/10.1007/s11284-013-1102-5>.
- Pádua, M. T. J., Coimbra, A. F., 1979. Os parques nacionais do Brasil. Madrid: Instituto de Cooperação Iberoamericana 224, 1979.
- Pereira, R. M. S., Wanderley, H. S., Delgado, R. C., 2021. Homogeneous regions for rainfall distribution in the city of Rio de Janeiro associated with the risk of natural disasters. *Natural Hazards* 1-19. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05056-2>
- Regueira, A. D. O., Wanderley, H. S., 2022. Changes in rainfall rates and increased number of extreme rainfall events in Rio de Janeiro city. *Natural Hazards*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05545-y>
- Sabine, C. L., Feely, R. A., Gruber, N., Key, R. M., Lee, K., Bullister, J. L., Rios, A. F., 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science* 305, 367-371. <https://doi.org/10.1126/science.109740>.
- Saiz, G., Byrne, K. A., Butterbach-Bahl, K. L. A. U. S., Kiese, R., Blujdea, V., Farrell, E. P., 2006. Stand age-related effects on soil respiration in a first rotation Sitka spruce chronosequence in central Ireland. *Global Change Biology* 12, 1007-1020. <https://doi.org/10.1126/science.1097403>.
- Sang, J., Lakshani, M. M. T., Deepagoda, T. C., Shen, Y., Li, Y., 2022. Drying and rewetting cycles increased soil carbon dioxide rather than nitrous oxide emissions: A meta-analysis. *Journal of Environmental Management* 324, 116391. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116391>.
- Sarma, B., Farooq, M., Gogoi, N., Borkotoki, B., Katakai, R., Garg, A., 2018. Soil organic carbon dynamics in wheat-green gram crop rotation amended with vermicompost and biochar in combination with inorganic fertilizers: A comparative study. *Journal of Cleaner Production* 201, 471-480. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.004>.
- Schaefer, D. A., Feng, W., Zou, X., 2009. Plant carbon inputs and environmental factors strongly affect soil respiration in a subtropical forest of southwestern China. *Soil Biology and Biochemistry* 41, 1000-1007. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.11.015>.
- Shaaban, M., Wu, Y., Núñez-Delgado, A., Kuzyakov, Y., Peng, Q. A., Lin, S., & Hu, R. 2023. Enzyme activities and organic matter mineralization in response to application of gypsum, manure and rice straw in saline and sodic soils. *Environmental Research* 224,

115393.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115393>.
- Tufekcioglu, A., Raich, J. W., Isenhardt, T. M., Schultz, R. C., 2001. Soil respiration within riparian buffers and adjacent crop fields. *Plant and soil* 229, 117-124.
<https://doi.org/10.1023/A:1004818422908>.
- Tüfekçioğlu, A., Küçük, M., Bilmiş, T., Altun, L., Yılmaz, M. 2010. Soil respiration and root biomass responses to burning in Calabrian pine (*Pinus brutia*) stands in Edirne, Turkey. *Journal of Environmental Biology* 31, 15-19.
- Veiga, R. Q., de Lucena, A. J., Wanderley, H. S., 2021. Influência dos eventos el niño na distribuição das chuvas na cidade do Rio de Janeiro. *RAEGA-O Espaço Geográfico em Análise* 53, 22-47.
<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v53i0.73975>.
- Wanderley, H. S., Miguel, V. C., 2019. Mudança dos elementos meteorológicos em função da degradação da floresta urbana. *Ciência Florestal* 29, 834-843.
<https://doi.org/10.5902/1980509832090>
- Wanderley, H. S., Fernandes, R. C., de Carvalho, A. L., 2019. Mudança térmica na cidade do Rio de Janeiro e o desvio ocasionado durante um evento de El Niño intenso. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12, 1291-1301. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1291-1301>
- Yang, K., Yang, Y., Xu, Z., Wu, Q., 2018. Soil respiration in a subtropical forest of southwestern China: Components, patterns and controls. *PloS one* 13, e0204341.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204341>.