

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Departamento de Geociências
Bacharelado Geografia

José Tássio de Santana Doia

Análise da Dinâmica do Fluxo de CO₂ Sob Diferentes Coberturas Vegetais no Bioma Mata Atlântica

João Pessoa
2024

José Tássio de Santana Doia

Análise da Dinâmica do Fluxo de CO₂ Sob Diferentes Coberturas Vegetais no Bioma Mata Atlântica

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Geografia, do Departamento de Geociências, do Centro de Ciências Exatas e da Natureza, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Geografia

Orientador: Dr. Bartolomeu Israel de Souza

João Pessoa
2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

D657a Doia, José Tássio de Santana.

Análise da dinâmica do fluxo de CO₂ sob diferentes coberturas vegetais no bioma Mata Atlântica / José Tássio de Santana Doia. - João Pessoa, 2024.
18 p. : il.

Orientação: Bartolomeu Israel de Souza.
TCC (Curso de Bacharelado em Geografia) - Gênero
Artigo Científico - UFPB/CCEN.

1. Área com e sem cobertura vegetal. 2. Carbono. 3. Efeito Estufa. 4. Solo. I. Souza, Bartolomeu Israel de. II. Título.

UFPB/CCEN

CDU 91(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

José Tássio de Santana Doia

Análise da Dinâmica do Fluxo de CO₂ Sob Diferentes Coberturas Vegetais no Bioma Mata Atlântica

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Geografia, do Departamento de Geociências, do Centro de Ciências Exatas e da Natureza, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Aprovado em: 29 / 10 / 2024.

João Pessoa, 29 de outubro de 2024.

BANCA EXAMINADORA:

Bartholomeu Israel de Souza

Professor Orientador

—

Professor Co- Orientador (Caso exista)

Daisy Bezerra Lourenço

Membro Interno Obrigatório (Professor vinculado ao Curso)

Thalain Rachel Costa Lourenço

Membro Interno ou Externo

Dedico aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido a vida, por todas as bênçãos e por toda a misericórdia que Ele tem por mim.

Agradeço aos meus pais, Roberto e Adelma, por todo o sacrifício e esforço que eles fizeram para que eu conseguisse chegar até aqui e também a toda a minha família pelo apoio que sempre me deram.

Agradeço ao professor Bartolomeu por toda a sua paciência e humildade comigo e na orientação desse trabalho.

Agradeço a professora Elloise e a professora Daisy pela participação na banca e por todas as contribuições, que sem sombra de dúvidas, foram muito importantes.

Agradeço a minha namorada, Sara, por todo amor e companheirismos durante essa jornada.

Agradeço aos meus amigos por todas as risadas e ajuda durante o curso, com certeza sem eles o caminho seria muito mais difícil.

RESUMO

O solo é um importante armazenador de carbono, exercendo papel fundamental no controle das emissões desse e de outros gases para a atmosfera. Práticas de uso e manejo do solo podem atuar tanto positivamente quanto negativamente nesse processo de armazenamento. Este estudo tem por objetivo analisar a dinâmica do fluxo de CO₂, que é um dos gases mais importantes do efeito estufa, no mesmo tipo de solo e em áreas com e sem a presença de cobertura vegetal no Bioma da Mata Atlântica, que é um dos biomas mais degradados do Brasil, em áreas localizadas no campus I da Universidade Federal da Paraíba. Para esse estudo, foi utilizado um medidor móvel de fluxo de CO₂, o LI8100A – IRGA, com coletas de dados em horários de maior e menor temperatura do ar ao longo de uma semana. Os resultados demonstraram que o fluxo é sempre positivo na área com vegetação, ao contrário do encontrado na área sem cobertura vegetal.

Palavras-chave: Área com e sem cobertura vegetal, Carbono, Efeito Estufa, Solo.

ABSTRACT

Soil is an important carbon store, playing a fundamental role in controlling emissions of this and other gases into the atmosphere. Soil use and management practices can act both positively and negatively in this storage process. This study aims to analyze the dynamics of the flow of CO₂, which is one of the most important greenhouse gases, in the same type of soil and in areas with and without the presence of vegetation cover in the Atlantic Forest Biome, which is one of the most degraded biomes in Brazil, in areas located on campus I of the Federal University of Paraíba. For this study, a mobile CO₂ flow meter, the LI8100A – IRGA, was used, with data collection at times of higher and lower air temperature over the course of a week. The results showed that the flow is always positive in the area with vegetation, contrary to that found in the area without vegetation cover.

Keywords: Area with and without vegetation cover, Carbon, Greenhouse Effect, Soil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização do campus I da Universidade Federal da Paraíba	13
Figura 2 – Medidor móvel de fluxo de CO ₂ , LI8100A – IRGA.....	14
Figura 3 – Mapa de localização dos pontos de coleta.....	15
Figura 4 – A esquerda, ponto 1 (área sem cobertura vegetal. A direita, ponto 2 (área com cobertura vegetal)	15
Figura 5 – Mapa de classificação de uso do solo no campus I da UFPB.....	17
Figura 6 – Gráfico da variação do fluxo de CO ₂ nas áreas com cobertura vegetal e sem cobertura vegetal.....	17
Figura 7 – Gráfico de precipitação no município de João Pessoa – PB, no período de 12/06 a 21/06 de 2024. Fonte: AESA.....	19

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência de Gestão das Águas da Paraíba
CO ₂	Dióxido de Carbono
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LAESA	Laboratório de Estudos do Semiárido
QGIS	Quantum GIS
UFPB	Universidade Federal da Paraíba

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	101
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS . ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	3
2.1 ÁREA DE ESTUDO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
2.2 COLETA DOS DADOS.....	Erro! Indicador não definido.
3 APRESENTAÇÃO DOS DADOS COLETADOS	126
3.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	126
4 CONCLUSÃO	20
REFERÊNCIAS	190

1 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é a segunda maior floresta tropical úmida das Américas (DOURADO, 2015). Sua vegetação controla o fluxo de mananciais hídricos, mantém a fertilidade do solo e regula o clima, protege escarpas e encostas de serras, além de preservar importante patrimônio natural e cultural (DOURADO, 2015). Esse bioma cobria uma grande parte do território brasileiro, espalhando-se por 15 Estados. Porém com o desenvolvimento do país, sofreu intensos desmatamentos devido à expansão da agricultura, pecuária e industrialização (CARVALHO et al., 2010). Atualmente este bioma não chega a 8% da sua extensão original, atingindo um total de 90 mil quilômetros quadrados, disputando espaço com as maiores cidades do país, além de usos agropecuários (DOURADO, 2015).

O bioma da Mata Atlântica atua como um importante sumidouro de carbono, à medida que as florestas em crescimento absorvem CO_2 da atmosfera armazenando o carbono em sua biomassa, formando grandes reservatórios desse elemento. De modo geral, as plantas absorvem o carbono na forma de CO_2 durante a fotossíntese e armazenam na sua biomassa. Esse carbono se desloca pelo ecossistema quando as plantas são consumidas por outros organismos e através da ação dos decompositores, acumulando-se temporariamente tanto em organismos vivos quanto como na matéria orgânica no solo (DOURADO, 2015). Os fluxos de CO_2 são naturais, mas cada vez mais influenciados pelas atividades antrópicas, especialmente pelo desmatamento e pelas queimadas de grandes áreas florestais e pela queima de combustíveis fósseis, como petróleo, gás natural e carvão, os quais estão causando o aumento da concentração de CO_2 atmosférico.

O solo também é o principal reservatório administrável de carbono e exerce uma influência significativa na emissão dos gases do efeito estufa, impactando as mudanças climáticas globais. As alterações no uso e manejo do solo podem tanto aumentar quanto reduzir as emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. O uso e manejo inadequado do solo geram problemas relacionados à sua sustentabilidade devido à degradação da matéria orgânica presente no solo, atingindo negativamente as suas características físicas e químicas. Porém, com práticas adequadas de uso e manejo, objetivando a manutenção e o acúmulo de carbono no sistema solo-planta, estas podem minimizar os efeitos do aquecimento global (CARVALHO et al., 2010).

A análise precisa de carbono concentrado no solo é fundamental para uma compreensão completa do papel dos solos na liberação ou absorção de CO_2 na atmosfera e nos processos que

regulam a troca desses gases entre o solo e a atmosfera. Certos fenômenos climáticos, como a chuva, podem intensificar e afetar a dinâmica do carbono no solo, pois alteram a umidade que é um fator crucial na dinâmica dos gases, podendo estimular ou dificultar sua produção ou difusão (TORRES et al., 2017).

A emissão de CO₂ da superfície do solo, conhecido como efluxo ou respiração do solo, é a soma dos processos que incluem respiração radicular (a respiração das raízes das plantas), atividade microbiana e decomposição da matéria orgânica do solo. A diminuição desse componente no solo reduz sua fertilidade natural, o nível de água disponível e a capacidade de manter a vida (LOURENÇO et al., 2022).

As variáveis climáticas têm um impacto direto no fluxo de CO₂ para a atmosfera, sendo a temperatura (do solo e da atmosfera) e a umidade do solo os principais fatores que o condicionam. A temperatura, em particular, desempenha um papel crucial no fluxo de CO₂, pois seu aumento pode elevar significativamente a taxa de respiração do solo. Como as massas de ar que circulam no planeta apresentam diferentes temperaturas, o fluxo de CO₂ também varia globalmente, fazendo com que, em regiões mais quentes, as emissões tenham tendência de ser maiores (CARVALHO et al., 2010).

Também temos uma relação forte entre o fluxo de CO₂ e as diferentes estações do ano, em particular, nos trópicos, os períodos chuvosos e secos. Nesse contexto,

“... O sequestro de carbono pelo solo durante a estação chuvosa é maior em comparação com a estação seca. O maior fluxo de CO₂ durante o período chuvoso está relacionado ao aumento da respiração das raízes das plantas e à atividade microbiana do solo, ambos beneficiados pelo aumento de umidade devido às chuvas e temperaturas mais baixas (LOURENÇO et al., 2022)”.

A umidade é um dos fatores mais importantes que afetam a produção de CO₂ no solo, pois influencia suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Ela impacta tanto a atividade respiratória aeróbica quanto, por efeito físico, a difusão do CO₂, dificultando sua passagem até a interface solo-atmosfera (TORRES et al., 2017).

Esse trabalho teve como objetivo medir e analisar o fluxo de CO₂ em áreas com e sem cobertura vegetal no mesmo tipo de solo, sob o domínio do bioma Mata Atlântica no Estado da Paraíba, durante o auge da estação chuvosa.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Esse trabalho foi realizado na cidade de João Pessoa/PB, no campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), onde temos alguns remanescentes urbanos da Mata Atlântica e diversas áreas onde a vegetação nativa foi substituída por construções (Figura1). De acordo com a classificação climática de Köppen e o mapa de clima do Brasil, do IBGE, o clima é tropical úmido. Sendo os meses de março a agosto com os maiores índices de pluviosidade, segundo Pereira (2014).

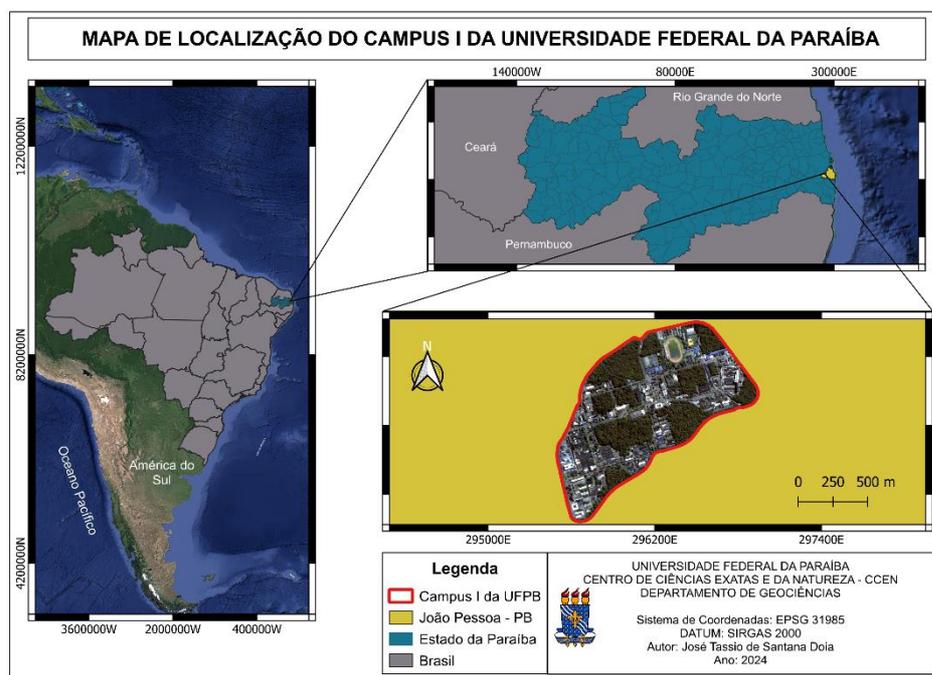


Figura 1: Mapa de localização do campus I da Universidade Federal da Paraíba.

2.2 COLETA DOS DADOS

A coleta dos dados de efluxo de CO₂ em campo, foi feita utilizando o medidor de efluxo de CO₂ móvel, o LI8100A – IRGA (Figura 2), disponibilizado pela Universidade Federal da Paraíba, através do Laboratório de Estudos do Semiárido (LAESA). Esse equipamento possui uma câmara de medição de 20 cm, que acompanha as variações das concentrações de CO₂ na faixa do infravermelho do espectro eletromagnético.



Figura 2: Medidor móvel de fluxo de CO₂, LI8100A – IRGA.

Foram escolhidos dois pontos para a coleta dos dados, sendo o primeiro localizado em uma área sem cobertura vegetal, próximo a via urbana que contorna o Campus. O segundo ponto está localizado em uma área com cobertura vegetal, em um segmento de floresta secundária, próximo ao Departamento de Geociências da UFPB (Figuras 3, 4 e 5). Essas áreas possuem, em princípio, o mesmo tipo de solo (latossolo vermelho-amarelo), com base em observações de campo. A metodologia para a coleta e obtenção desses dados foi baseada no trabalho de Lourenço (2022), sendo instalados dois colares de PVC, um em cada ponto, com 10 centímetros de comprimento e 20 centímetros de diâmetro, uma semana antes do início das coletas para que ficassem estabilizados, evitando qualquer tipo de perturbação no solo.

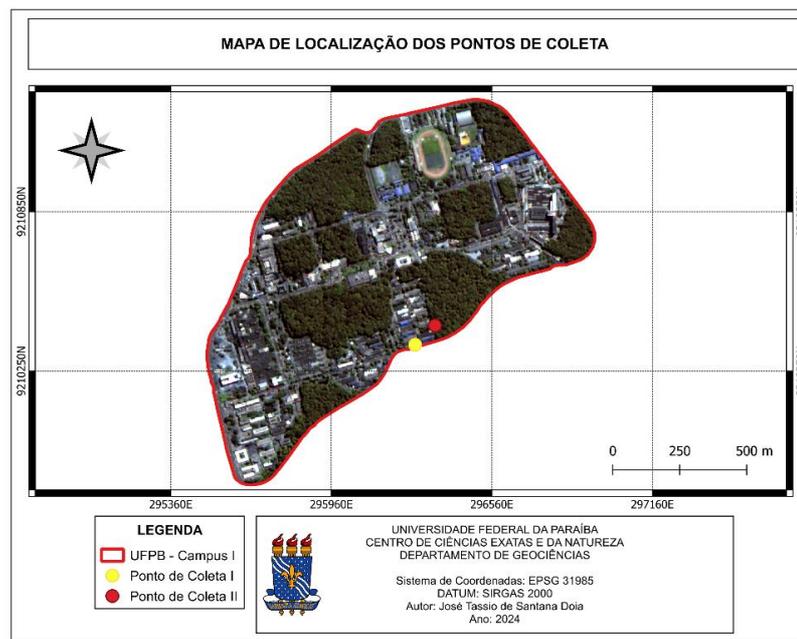


Figura 3: Mapa de localização dos pontos de coleta.



Figura 4: A esquerda, ponto 1 (área sem cobertura vegetal). A direita, ponto 2 (área com cobertura vegetal).

As medições ocorreram entre os dias 12, 13, 14, 17, 20 e 21 de junho de 2024, no auge da estação chuvosa, sendo feitas duas medições ao longo do dia, a primeira no início da manhã, às 8:00 horas, e a segunda no início da tarde, às 12:00 horas, com o objetivo de observar o

comportamento do efluxo de CO₂ nas condições das áreas já citadas, em horários com temperaturas médias diferentes, mais alta e menos alta.

Para validar os dados, foram considerados os coeficientes de variação dos fluxos de CO₂ (Exp_FluxCV), levando em conta os valores menores que 2% para comprovar que os dados estavam confiáveis. As medições foram feitas inserindo a câmara do equipamento sobre os colares de PVC. Cada medição teve um tempo de 2 minutos, com 15 segundos de pré-purgue e 15 segundos de pós-purgue para que não fosse alterada a concentração de CO₂ na câmara. Os dados obtidos a partir do equipamento, foram extraídos em formato de texto e em seguida exportados para planilha eletrônica, para a geração de gráficos.

As informações sobre a precipitação do período de coleta de dados sobre o fluxo de CO₂, foram obtidas no site da Agência de Gestão das Águas da Paraíba (AESPA), com dados da estação DFAARA.

Os mapas foram gerados no software livre Quantum GIS (QGIS), com arquivos shapefile obtidos no site do IBGE e imagem do satélite CBERS-4A obtida no site do INPE. Para o mapa de localização dos pontos de coleta e o mapa de uso e ocupação do solo, foi feita a composição colorida das bandas 1, 2, 3 e 4 do satélite CBERS-4A e depois a fusão dessa composição colorida com a banda pancromática desse mesmo satélite, assim gerando uma imagem com 2 metros de resolução espacial.

3 APRESENTAÇÃO DOS DADOS COLETADOS

3.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As áreas de coletas dos dados refletem o uso e ocupação do espaço no Campus I da UFPB, como mostrado na figura 6, abaixo, a partir da criação do campus I da Universidade Federal da Paraíba (década de 1960) por meio da Lei Estadual 1.366 de 02 de dezembro de 1955 e posteriormente sua federalização pela Lei n° 3.835 de 13 de dezembro de 1960, criando diversas “ilhas” de vegetação nativa, cada vez mais fragmentadas por edificações antigas e novas, portanto, um exemplo do que vem ocorrendo ao longo do tempo com toda a área urbana dessa capital e também de outras áreas urbanas localizadas no bioma Mata Atlântica.

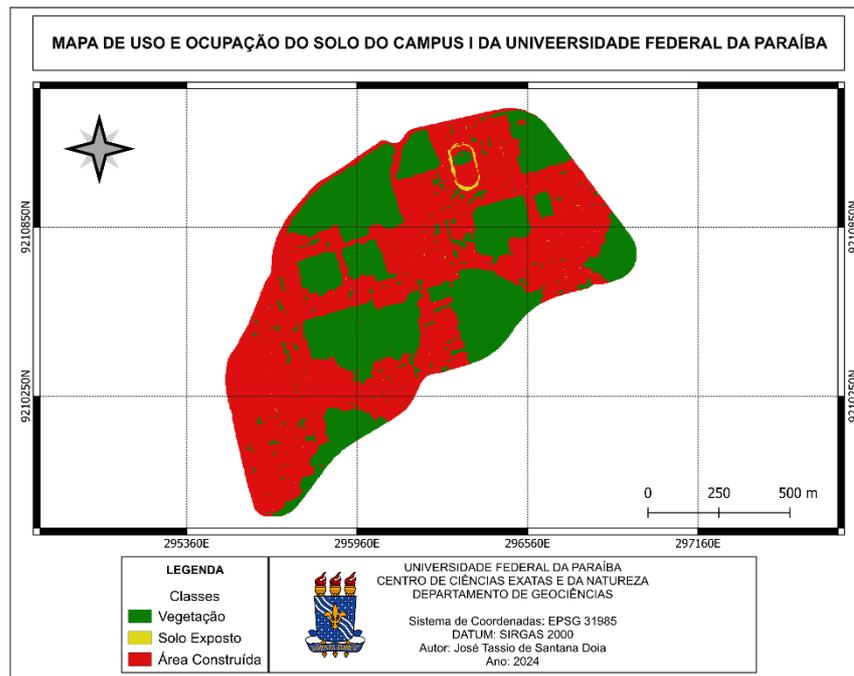


Figura 5: Mapa de classificação de uso do solo no campus I da UFPB.

A figura 7, a seguir, apresenta os resultados obtidos nas áreas de coletas de dados, onde observamos que o ponto com cobertura vegetal (p2) manteve uma variação sempre positiva do fluxo de CO_2 , diferente quase sempre do que ocorreu na área sem cobertura vegetal (p1), durante o período estudado.

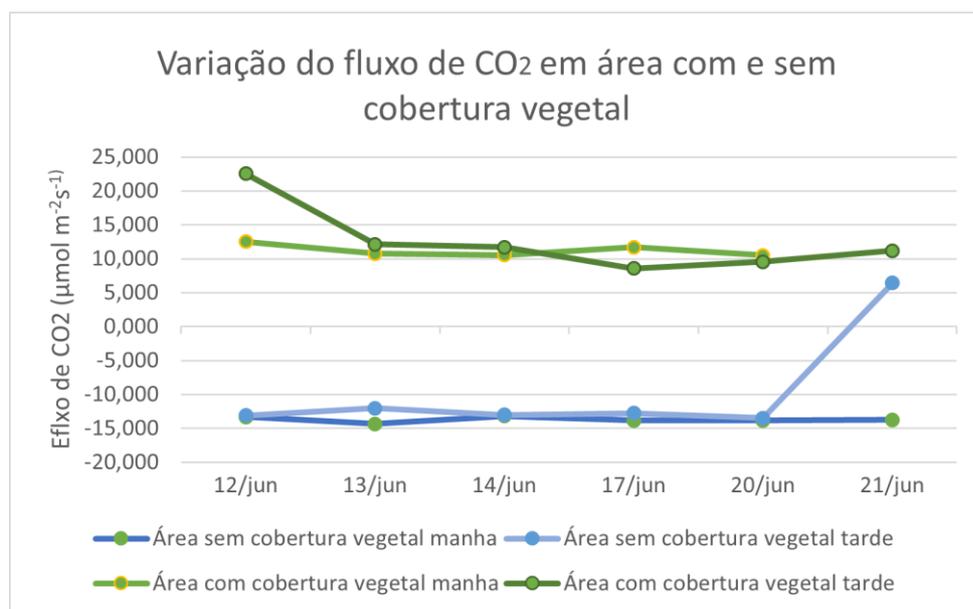


Figura 6: Gráfico da variação do fluxo de CO_2 nas áreas com cobertura vegetal e sem cobertura vegetal.

Analisados individualmente e ao longo do período dos dias, no ponto 1 de coleta dos dados (área sem cobertura vegetal), se obteve uma média de $-13,703 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no início da

manhã, e uma média de $-12,874 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no início da tarde. Para o cálculo dessa média, foi desconsiderado o valor do último dia no período do início da manhã no ponto sem cobertura vegetal, pois apresentou um valor discrepante do restante das medições, que precisa ser investigado com detalhe para entender o que de fato aconteceu, mas uma primeira hipótese seria a de uma falha no equipamento.

Já no segundo ponto de coleta de dados (área com cobertura vegetal), foi observado uma média de $11,194 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no início da manhã, e uma média de $10,628 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no início da tarde. Para o cálculo dessa média, também foi desconsiderado o valor do primeiro dia no período do início da tarde no ponto com cobertura vegetal, pois apresentou um valor discrepante do restante das medições, que precisa ser investigado com detalhe para entender o que de fato aconteceu, mas uma primeira hipótese seria a mesma do parágrafo anterior.

De forma geral, esses resultados são explicados pelas condições do ambiente, ou seja, as áreas com cobertura vegetal possuem maior atividade microbiana, devido a maior presença de biomassa no solo e respiração radicular, o que faz com que a troca de CO_2 da vegetação para a atmosfera seja mais intensa, assim como o processo de absorção de CO_2 da atmosfera para o solo (sequestro de carbono) é atenuado, enquanto as áreas sem cobertura vegetal não possuem essa dinâmica justamente por não possuírem elementos suficientes para a realização desse processo (ALMEIDA, 2015; FERRÃO, 2021). Santos (2022), também afirma que, os sistemas de uso da terra que possuem uma maior concentração de árvores e menor perturbação do solo contribuem para um maior armazenamento de carbono no solo, o que também indica um aumento no sequestro de carbono, sendo assim, os maiores estoques de carbono são encontrados em áreas de floresta.

Além da biomassa presente no solo, da respiração radicular e da ação da própria vegetação, outros fatores naturais também influenciam a dinâmica dessa variação do fluxo de CO_2 nessas diferentes áreas, como a temperatura, umidade e pluviosidade. No período estudado, de 12 a 21 de junho, choveu em quase todos os dias, afetando assim a temperatura e umidade do ambiente, sendo os dias 15, 16 e 19 os que apresentaram a maior quantidade de pluviosidade nesse período (Figura 10).

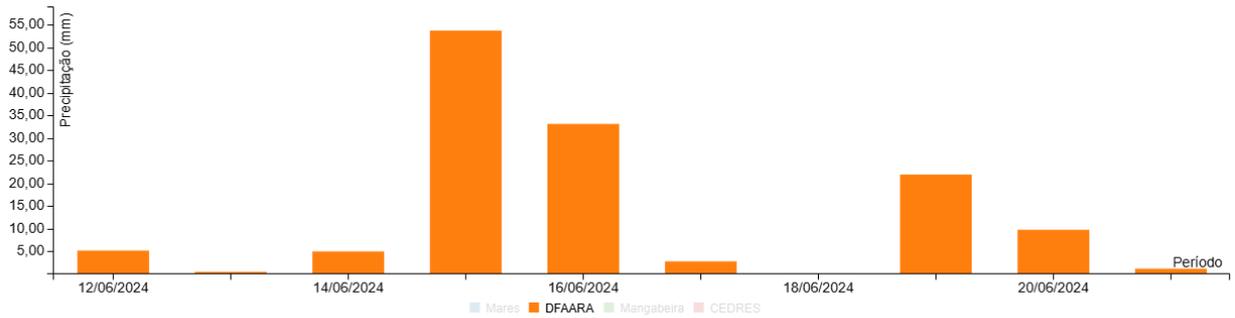


Figura 7: Gráfico de precipitação no município de João Pessoa – PB, no período de 12/06 a 21/06 de 2024.
Fonte: AESA.

Mesmo tendo ocorrido chuva em quase todos os dias nas duas áreas, portanto, gerando umidade elevada no período analisado, a área sem cobertura vegetal não conseguiu refletir esse efeito em termos de fluxo de CO_2 , que se mostrou predominantemente negativo, consequência direta da ausência de vegetação recobrando o solo, o que demonstra a importância da preservação da biomassa na gestão das terras, mesmo diante de condições climáticas tropicais úmidas. Resultado similar ao de Silva e Faria (2023), que ao utilizar o fluxo de CO_2 para avaliar a perda de serviços ecossistêmicos em mangues impactados por tempestade de granizo, observou que os locais com as maiores densidades florestais foram os que apresentaram um maior potencial de sequestro de carbono, enquanto que as atividades fotossintéticas foram menos eficientes nas áreas com a menor presença da vegetação.

Em Silva et al (2023), em um estudo sobre os fluxos de CO_2 do solo em um espaço que ele chamou de “verde urbano”, os resultados também mostraram o papel fundamental de uma área com cobertura vegetal rasteira (relva) como sequestrador de carbono, enquanto nas áreas com solo exposto há uma redução de quase 50% no potencial de sequestro de CO_2 . Silva e Anjos (2021) afirmam que a eficácia do fluxo de carbono está relacionada com a taxa de fotossíntese e que a diminuição de áreas com vegetação acarretará uma elevada emissão de calor, e consequentemente maior emissão de gases do efeito estufa. Esses resultados corroboram ainda mais com os resultados apresentados no presente estudo, onde durante todo o período de coleta dos dados, a área com cobertura vegetal mostrou sempre um maior potencial de fluxo e sequestro de carbono em comparação com a área sem a presença de cobertura vegetal.

De acordo com Maia (2020), as florestas em condições climáticas intermediárias e também aquelas com condições mais secas, deixaram de ser sumidouros de carbono e passaram a ser fontes desse gás, enquanto que as florestas tropicais mais úmidas (caso da Mata Atlântica), estão com seus sumidouros de carbono em declínio, essas tendências são influenciadas pelas

variações climáticas e aumento do CO₂. Maia afirma que, é necessário pensar em ações de conservação desses ecossistemas e mitigação das emissões dos gases do efeito estufa.

Dessa forma, é evidente que os fluxos de CO₂ do solo variam tanto espacialmente quanto sazonalmente em resposta às mudanças de temperatura e umidade do solo, refletindo modificações químicas associadas aos processos respiratórios que acontecem ao mesmo tempo em diversas profundidades no perfil do solo e na superfície através da vegetação ou da falta dela (DIAS, 2006).

4 CONCLUSÃO

A partir da análise desses resultados, é possível observar a importância da vegetação e da biomassa presente no solo para o fluxo de CO₂, onde na área com cobertura vegetal observou-se um fluxo maior, ao contrário do que observamos na área sem vegetação. Áreas com essas características também proporcionam o sequestro de carbono, fenômeno muito importante para a mitigação da emissão dos gases do efeito estufa, tendo em vista que este é a absorção do carbono presente na atmosfera pela vegetação e a acumulação desse gás em sua biomassa e no solo. Essas características são menores ou mesmo ausentes em áreas sem cobertura vegetal e, conseqüentemente, acabam gerando um fluxo menor de CO₂.

Frente ao contexto de mudanças climáticas ao qual o planeta vem passando atualmente, esse estudo, mesmo de forma pontual, deixa ainda mais evidente a necessidade e a importância de se ter áreas florestais preservadas, ou mesmo sistemas de gestão das terras que primem pela preservação da cobertura vegetal de forma permanente, para que possa ocorrer a regulação da emissão dos gases do efeito estufa e conseqüentemente da temperatura global.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. de M. Estoque de carbono no solo em ambiente de Mata Atlântica no Estado de Pernambuco. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco**. Recife. 2015.

CARVALHO, João L. N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 277 – 289, 2010.

DIAS, J. D. Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia. **Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**. Piracicaba. 2006.

DOURADO, É. S. Estimativa de carbono armazenado em um reflorestamento do bioma Mata Atlântica. 2015. **Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia**, Cruz das Almas, 2015.

FERRÃO, N. G. de M. Avaliação das mudanças na qualidade e quantidade do carbono em diferentes frações da matéria orgânica do solo em áreas de Mata Atlântica e Cana-de-açúcar. **Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Pernambuco**. Recife. 2021.

LORENÇO, E. R. C. Emissões de CO₂ dos solos do Cariri Paraibano em diferentes usos e cobertura da terra. **Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba**. João Pessoa. 2022.

LOURENÇO, E. R. C. et al. Temporal variation of soil CO₂ emission in different land uses in the Caatinga. **Applied Geography**, v. 140, n. 102661, p. 1 – 8, 2022.

MAIA, V. A. et al. The carbon sink of tropical seasonal forests in southeastern Brazil can be under threat. **Science Advances**, v. 6, p. 1 – 11, 2020.

PEREIRA, M. D. B. As chuvas na cidade de João Pessoa: uma abordagem genética. **Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Paraíba**, João Pessoa, 2014.

SANTOS, A. C. dos. Estoques de carbono no sistema solo-vegetação em fragmento de floresta tropical atlântica no Nordeste do Brasil. **Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco**. Recife. 2022.

SILVA, M. A. S.; FARIA, A. L. L. Índice CO₂ flux para avaliar perdas de serviços ecossistêmicos em mangues impactados por tempestade de granizo no Sudeste do Brasil. **Geosp**, v. 27, n. 3, e-200530, set./ dez. 2023. ISSN 2179-0892.

SILVA, A. V. da. et al. Fluxos de CO₂ do solo num espaço verde urbano: um estudo de caso durante a estação de primavera no norte de Portugal. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 46, p. 208 – 214, 2023.

SILVA, M. A.; ANJOS, C. S. dos. Análise do sequestro de carbono na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros utilizando técnicas de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 9, n. 3, p. 251 – 270, 2021.

TORRES, E. et al. Concentração de CO₂ e CH₄ em relação a umidade no solo em diferentes usos do bioma Mata Atlântica. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Florianópolis, 2017.