

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE -IEAA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA

MIKELLE SILVA DE OLIVEIRA

**Variabilidade Sazonal do Efluxo de CO₂ no Solo em
Diferentes Coberturas Vegetais na Região Sudoeste da
Amazônia**



HUMAITÁ-AM

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE -IEAA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA

MIKELLE SILVA DE OLIVEIRA

**Variabilidade Sazonal do Efluxo de CO₂ no Solo em
Diferentes Coberturas Vegetais na Região Sudoeste da
Amazônia**

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais - Área de concentração:
Ambiente e Sociobiodiversidade. Linha
de Pesquisa: Componentes e dinâmicas
dos ecossistemas com ênfase no Bioma
Amazônico.**

Orientador: Dr. Jorge Almeida de Menezes

Humaitá-AM

2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Oliveira, Mikelle Silva de
O48v Variabilidade sazonal do efluxo de CO₂ no solo em diferentes
coberturas vegetais na região sudoeste da Amazônia / Mikelle Silva
de Oliveira . 2022
92 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Jorge Almeida de Menezes
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade
Federal do Amazonas.

1. Bioma Amazônico. 2. CO₂. 3. Sazonalidade. 4. Efluxo. I.
Menezes, Jorge Almeida de. II. Universidade Federal do Amazonas
III. Título

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE -IEAA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA

FOLHA DE APROVAÇÃO

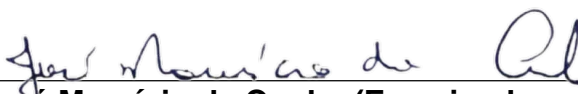
**Variabilidade Sazonal do Efluxo de CO₂ no Solo em
Diferentes Coberturas Vegetais na Região Sudoeste da
Amazônia**

AUTORA: MIKELLE SILVA DE OLIVEIRA

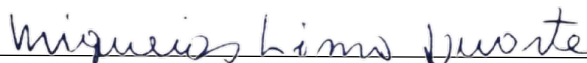
**Dissertação de Mestrado Defendida e Aprovada em 20 de Janeiro de 2023, pela
Comissão Julgadora:**



Prof. Dr. Jorge Almeida de Menezes (Orientador – Presidente)



Prof. Dr. José Maurício da Cunha (Examinador – Membro Interno)



Prof. Dr. Miqueias Lima Duarte (Examinador – Membro Externo)

Humaitá-AM

2023

AGRADECIMENTOS

Dedico mais essa conquista à minha família por todo alicerce que sempre me deram em especial a minha mãe Marilene por todo amor, carinho e dedicação que teve em minha criação, sempre zelou e buscou dar-me uma educação de excelência e me incentivou em todos os momentos, obrigada minha amada mãe.

Ao meu avô Wilson Lima (in memoriam) por todo zelo e cuidado que teve em minha criação que apesar de não possuir estudo me ensinou muito, juntamente com minha avó Maria. Ao meu irmão Mateus, meus sobrinhos que tenho grande amor Brenno Eduardo e Lucas Daniel. Aos meus tios, Marinete, Mailson e Marly.

Minha eterna gratidão para uma das melhores pessoas que Deus colocou no meu caminho e me trouxe muita paz, Karolina Meinhardt. Obrigada por tudo sempre.

Aos meus gatos Said e Salem por todo amor e ao Caféina (in memoriam).

Aos meus colegas de trabalho por todo apoio nessa caminhada, César Frozzi, Eduardo Mamédio, José Martins, Harumy Noguchi e Ezequiel Soares. Aos motoristas que me levavam a Fazenda Experimental para a realização de minhas coletas, seu Crispim, Sidomar e Carlos. Aos colegas Emerson e Manoel. Aos discentes Juliana Patrício e Carlos Pessoa que auxiliou nas coletas e análises onde trabalhamos em conjunto com seu PIBIC.

Aos professores Moíses e Vaíton por ter cedido as áreas de estudo de café e açaí.

A todos os professores do PPGCA que me auxiliaram em meu crescimento profissional, juntamente com o companheirismo de todos os meus colegas da turma de mestrado.

Ao meu orientador por todo o apoio e acolhimento durante o desenvolvimento de minha pesquisa, obrigada prof. Dr. Jorge Almeida de Menezes.

A **Deus** por todo o cuidado em minha vida, que tenho certeza que me guarda e me protege todos os dias e me abençoa nas minhas lutas diárias, consola-me nas minhas derrotas e alegra-se nas minhas vitórias.



Minha mãe é uma heroína disfarçada de mulher comum. Se não fosse pela minha mãe, eu não seria nada do que sou. Ela me deu força, coragem e garra para eu ser a minha melhor versão.

RESUMO

Nos últimos anos o Bioma Amazônico vem sofrendo com mudanças no uso do solo, emitindo de modo indiscriminado CO₂ do solo para a atmosfera. Essa emissão afeta de modo direto o clima global, bem como de modo indireto o clima local de determinada região. Nesse sentido o monitoramento do ECO₂ no solo em diferentes coberturas vegetais se torna importante para verificar o impacto que a utilização do solo pode causar na emissão desse gás. O objetivo deste trabalho foi verificar a variabilidade sazonal do ECO₂ em diferentes coberturas vegetais no sudoeste da Amazônia. Os dados de ECO₂ foram determinados por meio da metodologia desenvolvida por Grisi em 1978 que consiste em um titulação ácido-base, a temperatura com auxílio de termômetro tipo espeto, umidade pelo método gravimétrico, carbono por meio da reação de oxi-redução, densidade e porosidade com auxílio de um cilindro volumétrico. Os dados obtidos mostram que pela análise temporal e comparativa entre as diferentes estações do ano, onde foi possível verificar que a Área de Floresta Secundaria (AFS) possuiu o melhor equilíbrio e relação ao fluxo de CO₂ durante a interação biosfera-atmosfera, tendo seu aporte de carbono quase que constate ao longo das diferentes estações do ano. A Área de Cultivo de Café (ACC) se aproximou dos atributos do solo da AFS, porém sua quantidade de carbono se diferenciou entre a estação chuvosa e seca na região. A Área de Campo Natural (ACN) e Área de Cultivo de Açaí (ACA) foram as áreas que menos emitiram CO₂ para a atmosfera, devido ao menor aporte de carbono em seu solo.

Palavras-chave: Bioma Amazônico, CO₂, Sazonalidade, Efluxo.

ABSTRACT

The Amazon Biome has been suffering in recent years with changes in land use, emitting indiscriminate de CO₂ from the soil into the atmosphere, CO₂ is one of the gases that cause the greenhouse effect on the planet. This emission directly affects the global climate, as well as indirectly the local climate determined in the region. In this sense, the monitoring of soil ECO₂ in different vegetation covering becomes useful to verify the impact that the use of the soil can cause in the emission of this gas. The objective of this work was to verify the seasonal variability of ECO₂ in different vegetation covering in southwestern Amazon. The ECO₂ data were obtained using the methodology developed by Grisi in 1978, which consists of an acid-base titration, temperature with the aid of a skewer thermometer, moisture by the gravimetric method, carbon by means of an oxidation-reduction reaction, density and porosity with the help of a volumetric cylinder. It carried out an analysis and comparison with different seasons of the year, where it was possible to verify that the AFS had the best balance between the inflow and outflow of CO₂ during the interaction with the biosphere-atmosphere, with the carbon almost constant throughout the interaction of the different seasons. The carbon ACC is reflected in the soil attributes of its difference and the carbon station in the region. ACN and ACA were the areas that will emit less CO₂ into the atmosphere, due to the lower carbon input in their soil.

Keywords: Amazon Biome, CO₂, Seasonality, Efflux.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estatística descritiva da temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$), temperatura a 5 cm de profundidade ($^{\circ}\text{C}$), temperatura a 10 cm de profundidade do solo, umidade do solo (%) e efluxo de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante o período diurno e noturno, para estação chuvosa e seca entre setembro/2021 e outubro/2022 em área de floresta secundária e campo natural na região de Humaitá, AM, Brasil.

Tabela 2. Estatística descritiva da densidade do solo (g cm^{-3}), porosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), carbono orgânico do solo (g kg^{-1}), matéria orgânica do solo (g kg^{-1}) e textura do solo (g kg^{-1}) durante a estação chuvosa e seco em área de floresta secundária e campo natural na região de Humaitá, AM, Brasil.

Tabela 3. Estatística descritiva da temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$), temperatura a 5 cm de profundidade ($^{\circ}\text{C}$), temperatura a 10 cm de profundidade do solo, umidade do solo (%) e efluxo de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante o período diurno e noturno, para estação chuvosa e seca entre setembro/2021 e outubro/2022 em área de cultivo de café e cultivo de açaí na região de Humaitá, AM, Brasil.

Tabela 4. Estatística descritiva da densidade do solo (g cm^{-3}), porosidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), carbono orgânico do solo (g kg^{-1}), matéria orgânica do solo (g kg^{-1}) e textura do solo (g kg^{-1}) durante a estação chuvosa e seco em área de cultivo de café e cultivo de açaí na região de Humaitá, AM, Brasil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Amazônia Legal.

Figura 2. Vegetação da Mesorregião do Amazonas.

Figura 3. Mapa de localização da área experimental dentro do perímetro urbano do município de Humaitá-Amazonas-Brasil.

Figura 4. Fluxograma da Metodologia de Grisi desenvolvida em 1978.

Figura 5. Série temporal do efluxo de CO₂ durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na AFS.

Figura 6. Série temporal do efluxo de CO₂ durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACN.

Figura 7. Boxplot do efluxo de CO₂ durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na AFS.

Figura 8. Boxplot efluxo de CO₂ durante o período diurno (A) e efluxo de CO₂ durante o período noturno (B) na ACN.

Figura 9. Variabilidade dos atributos do solo durante as diferentes estações do ano, densidade do solo (A), porosidade do solo (B) carbono orgânico do solo (C), matéria orgânica do solo na AFS.

Figura 10. Variabilidade dos atributos do solo durante as diferentes estações do ano, densidade do solo (A), porosidade do solo (B) carbono orgânico do solo (C), matéria orgânica do solo na ACN.

Figura 11. Série temporal da análise comparativa da umidade do solo durante as diferentes estações do ano nas AFS e ACN.

Figura 12. Boxplot da umidade do solo AFS (A) e umidade do solo ACN (B) durante as diferentes estações do ano.

Figura 13. Série temporal da temperatura superficial durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na AFS.

Figura 14. Série temporal da temperatura superficial durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACN.

Figura 15. Boxplot da temperatura superficial durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na AFS.

Figura 16. Boxplot da temperatura superficial durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACN.

Figura 17. Série temporal da temperatura a 5cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na AFS.

Figura 18. Série temporal da temperatura a 5cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACN.

Figura 19. Boxplot da temperatura a 5cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na AFS.

Figura 20. Boxplot da temperatura a 5cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACN.

Figura 21. Série temporal da temperatura a 10cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na AFS.

Figura 22. Série temporal da temperatura a 10cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACN.

Figura 23. Boxplot da temperatura a 10cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na AFS.

Figura 24. Boxplot da temperatura a 10cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACN.

Figura 25. Correlação de Spearman (ρ) entre as cinco variáveis durante o período diurno e noturno, durante a estação chuvoso e seca na região de Humaitá, AM, Brasil; A – AFS diurno/chuvoso; B – AFS noturno/chuvoso; C – AFS diurno/seco; D – AFS noturno/seco.

Figura 26. Correlação de Spearman (ρ) entre as cinco variáveis durante o período diurno e noturno, durante a estação chuvoso e seca na região de Humaitá, AM, Brasil; A – ACN diurno/chuvoso; B – ACN noturno/chuvoso; C – ACN diurno/seco; D – ACN noturno/seco.

Figura 27. Série temporal do efluxo de CO₂ no solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACC.

Figura 28. Série temporal do efluxo de CO₂ no solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACA.

Figura 29. Boxplot do efluxo de CO₂ no solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACC.

Figura 30. Boxplot do efluxo de CO₂ no solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACA.

Figura 31. Variabilidade dos atributos do solo durante as diferentes estações do ano, densidade do solo (A), porosidade do solo (B) carbono orgânico do solo (C), matéria orgânica do solo na ACC.

Figura 32. Variabilidade dos atributos do solo durante as diferentes estações do ano, densidade do solo (A), porosidade do solo (B) carbono orgânico do solo (C), matéria orgânica do solo na ACA.

Figura 33. Série temporal da análise comparativa da umidade do solo durante as diferentes estações do ano nas ACC e ACA.

Figura 34. Boxplot da umidade do solo ACC (A) e umidade do solo ACA (B) durante as diferentes estações do ano.

Figura 35. Série temporal da temperatura superficial do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACC.

Figura 36. Série temporal da temperatura superficial do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACA.

Figura 37. Boxplot da temperatura superficial durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACC.

Figura 38. Boxplot da temperatura superficial durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACA.

Figura 39. Série temporal da temperatura a 5cm do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACC.

Figura 40. Série temporal da temperatura a 5cm do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACA.

Figura 41. Boxplot da temperatura a 5cm durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACC.

Figura 42. Boxplot da temperatura a 5cm durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACA.

Figura 43. Série temporal da temperatura a 10cm do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACC.

Figura 44. Série temporal da temperatura a 10cm do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACA.

Figura 45. Boxplot da temperatura a 10cm durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACC.

Figura 46. Boxplot da temperatura a 10cm durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACA.

Figura 47. Correlação de Spearman (ρ) entre as cinco variáveis durante o período diurno e noturno, durante a estação chuvoso e seca na região de Humaitá, AM, Brasil; A – ACC diurno/chuvoso; B – ACC noturno/chuvoso; C – ACC diurno/seco; D – ACC noturno/seco.

Figura 48. Correlação de Spearman (ρ) entre as cinco variáveis durante o período diurno e noturno, durante a estação chuvoso e seca na região de Humaitá, AM, Brasil; A – ACA diurno/chuvoso; B – ACA noturno/chuvoso; C – ACA diurno/seco; D – ACA noturno/seco.

Figura 49. Valores medianos do efluxo de CO₂ no solo durante o período diurno (A) e noturno (B), durante a estação chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil.

Figura 50. Valores médios da densidade do solo (A), porosidade do solo (B), carbono orgânico do solo (C), matéria orgânica do solo (D) durante a estação chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil.

Figura 51. Valores medianos da temperatura superficial do solo durante o período diurno (A) e noturno (B), temperatura a 5cm de profundidade do solo durante o período diurno (C) e noturno (D), temperatura a 10cm de profundidade do solo durante o período diurno (E) e noturno (F) durante a estação chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil.

Figura 52. Valores medianos da umidade do solo durante a estação chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil.

Figura 53. Valores médios da textura do solo durante a estação chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil.

LISTA DE ABREVIATURAS

[(C₆H₅)₂NH] - Difenilamina

ACA – Área de Cultivo de Açaí

ACC – Área de Cultivo de Café

ACN – Área de Campo Natural

AFS – Área de Floresta Secundária

AM – Amazonas

Am – Tropical úmido

CO – Carbono Orgânico

CO₂ – Dióxido de Carbono

CV- Coeficiente de Variação

DP – Desvio Padrão

Ds – Densidade do Solo

ECO₂ –Efluxo de Dióxido de Carbono

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GEEs – Gases de Efeito Estufa

H₃PO₄ - Ácido Ortofosfórico

HCl – Ácido Clorídrico

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IEAA – Instituto de Educação Agricultura e Ambiente

IQ – Amplitude Interquartil

K₂Cr₂O₇ - Dicromato de Potássio

KOH – Hidróxido de Potássio

MO – Matéria Orgânica

Ms – Massa do Solo

Pt – Porosidade do Solo

RS – Respiração do Solo

S – Sul

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

T_{10cm} – Temperatura 10cm

T_{5cm} – Temperatura 5cm

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

T_s – Temperatura Superficial

U_s – Umidade do Solo

V – Volume

W – Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk

W – Oeste

WWF - World Wide Fund for Nature

ρ - Correlação de Postos de Spearman

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

Km² – Quilômetro Quadrado

Km – Quilômetro

°C – Grau Celsius

mm – milímetro

N – Normalidade

μmol m⁻². s⁻¹ – Micromol por Metro ao Quadrado por Segundo

mL – Mililitro

L - Litro

h – Hora

g/cm³ – Grama por Centímetro Cúbico

g – Grama

cm³ – Centímetro Cúbico

cm – Centímetro

m³ m⁻³ – Metro Cúbico por Cúbico

kg – Kilograma

mol L⁻¹ – Mol por Litro

g kg⁻¹ – Grama por Kilograma

rpm – Rotação por Minutos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	20
1.1. PROBLEMÁTICA.....	20
1.2. JUSTIFICATIVA.....	21
1.3. IMPACTO SOCIOAMBIENTAL.....	22
1.4. OBJETIVOS.....	23
1.4.1 Objetivo Geral.....	23
1.4.2. Objetivos Específicos.....	23
1.5. HIPÓTESE.....	23
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1. Bioma Amazônico.....	24
2.2. Características das Áreas Estudadas.....	26
2.2.1. Floresta Secundária.....	26
2.2.2. Campo Natural.....	26
2.2.3. Cultivo de Café.....	27
2.2.4. Cultivo de Açaí.....	27
2.3. Solo e sua Microbiota.....	27
2.4. Efluxo de CO ₂ (ECO ₂).....	28
2.5. Medições do Efluxo de CO ₂ no Solo.....	29
2.6. Interação Biosfera-Atmosfera.....	30
2.7. A Influência da Sazonalidade no Efluxo de CO ₂ no Solo.....	30
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1. Descrição da Área Experimental.....	31
3.1.1. Área de Campo Natural.....	33
3.1.2. Área de Floresta Secundária.....	33
3.1.3. Área de Cultivo de Café.....	33
3.1.4. Área de Cultivo de Açaí.....	33
3.2. Quantificação do Efluxo de CO ₂ no Solo.....	34
3.3. Análise dos Parâmetros Físicos.....	36
3.3.1. Densidade do Solo (Ds).....	36
3.3.2. Porosidade Total (Pt).....	36

3.3.3.	Temperatura do Solo (T)	38
3.3.4.	Umidade Atual do Solo (Us)	38
3.4.	Análise da Matéria Orgânica.....	39
3.4.1.	Carbono Orgânico (CO).....	39
3.4.2.	Matéria Orgânica (MO)	40
3.5.	Análise Granulométrica.....	41
3.5.1.	Separação da areia	41
3.5.2.	Determinação do silte e argila	41
3.6.	Análise Estatística.....	42
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1.	Análise temporal do efluxo de CO ₂ no solo nas AFS e ACN e os fatores que o influenciam	43
4.2.	Análise temporal do efluxo de CO ₂ no solo nas ACC e ACA e os fatores que o influenciam	62
4.3.	Análise temporal do ECO ₂ no solo comparativa entre as AFS, ACN, ACC e ACA e os fatores que o influenciam	81
5.	CONCLUSÃO	86
6.	REFERÊNCIA.....	87

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

O bioma Amazônico é o maior bioma do mundo e abriga a maior bacia hidrográfica do mundo (ICMBIO, 2021), possui um ecossistema dotado de florestas com alta biodiversidade (AB'SABER, 2002). A mesorregião sul do Amazonas que abrange os municípios: Boca do Acre, Pauini, Canutama, Lábrea, Tapauá, Apuí, Borba, Humaitá, Manicoré e Novo Aripuanã comporta basicamente três tipos de vegetações, floresta ombrófila, algumas manchas de vegetação de savana e pequenas formações pioneiras (WWF, 2017).

A implementação de atividades agropecuárias vem modificando a cobertura vegetal originária na maioria do território brasileiro, a região Amazônica vem perdendo suas características originais (MANTOVANELLI et al., 2015), nos últimos 40 anos a Amazônia brasileira perdeu cerca de 18% de sua cobertura vegetal (WWF, 2017). No âmbito das mudanças climáticas local e global, o solo e suas alterações vem sendo foco, principalmente quando se refere a agricultura, podendo desse modo o solo atuar como dreno ou fonte de gases de efeito estufa (COSTA et al., 2008).

O uso inadequado do solo irá contribuir para emissão de CO₂ para atmosfera e conseqüentemente, a degradação da matéria orgânica do solo, bem como no impacto da biodiversidade (CARVALHO et al., 2010).

Os microrganismos como os fungos e bactérias presentes na microbiota dos solos atuam como decompositores de matéria orgânica no solo, fornecendo o nutrientes, atuando como bioindicadores da qualidade do solo, a emissão de CO₂ do solo para a atmosfera é resultante da respiração microbiana do solo, respiração radicular e seu transporte por meio de difusão gasosa (HUI e LUO, 2004), esse processo é também denominado efluxo de CO₂ (ECO₂), isso altera de modo direto as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (EMBRAPA, 2009; SILVA et al., 2020), atuando desse modo como fonte de gases de efeito estufa. A atividade microbiana fornece nutriente para o solo, sendo um processo importante para a qualidade do solo, porém a emissão indiscriminada de CO₂ para a atmosfera traz preocupações de ordem mundial.

Diante disso, monitorar a variabilidade do ECO₂ do modo sazonal na região Amazônica é importante para verificar o quanto esse processo influencia na qualidade do solo ao longo do tempo, afetando seus atributos, assim como o impacto antrópico também podem gerar nos atributos do solo, principalmente em solos manejados.

O conhecimento dos danos provocados pela retirada da cobertura vegetal na região Amazônica é essencial na tentativa de minimizar os impactos ambientais e contribuir satisfatoriamente para o desenvolvimento ambiental, econômico e social do município de Humaitá-AM.

1.2. JUSTIFICATIVA

A emissão de CO₂ do solo para a atmosfera ou ECO₂ é um processo importante, pois, é resultante da respiração microbiana do solo bem como da respiração radicular e do transporte de CO₂ para a atmosfera, este processo por sua vez é importante para o processo de ciclo do carbono dentro do ecossistema (HUI e LUO, 2004), depositando carbono no solo, porém, se faz importante entender os fatores que influenciam esse processo, principalmente em solos com ingerência antrópica, principalmente em solos manejados, pois, essas interferências alteram os atributos do solo.

Diante do aumento da emissão de CO₂ na interface solo-atmosfera oriundo da mudança do uso do solo no município de Humaitá proveniente da agropecuária, tendo apenas em 2019 a emissão de 763.345.530 toneladas de CO₂ para a atmosfera na região (SEEG, 2022) e ao observar a importância de produções acadêmicas acerca dos estudos do efluxo de CO₂ em diferentes solos no bioma Amazônico, o monitoramento da variabilidade do efluxo de CO₂ utilizando-se a Metodologia de Grisi (1978) se faz necessária na tentativa de buscar mecanismos para mitigar os impactos ambientais que a região vem sofrendo com a emissão de gases de efeito estufa (GEEs) de modo indiscriminado oriundo das mudanças do uso do solo, sendo que a metodologia empregada se mostra viável visto ser simples e de custo reduzido, notou-se viabilidade na execução da pesquisa com ênfase na disseminação do conhecimento acerca do temática na região.

A pesquisa teve, portanto, foco na compressão do impacto do ECO₂ no bioma Amazônico em diferentes solos (floresta secundária, campo natural, cultivo de café e cultivo de açaí) em diferentes estações do ano (mais chuvoso, transição e menos chuvoso) e diferentes períodos (diurno e noturno), tendo em vista fornecer informações importantes acerca do CO₂ emitido para atmosfera terrestre e sua relação com os atributos do solo.

Visto que vários fatores inerentes às condições do solo podem influenciar esse processo e que a mensuração do ECO₂ no solo pode ser utilizada como ferramenta ambiental para calcular o sequestro de carbono e verificar a qualidade e degradação do

solo dentro do Bioma Amazônico, bem como fazer avaliações de impacto ambiental no solo.

Ratificando a importância da pesquisa, entender os mecanismos que norteiam a respiração microbiana no solo é importante para quantificar satisfatoriamente a emissão de CO₂ para a atmosfera e a influência dos atributos do solo, e dessa maneira criar políticas públicas de controle.

A presente pesquisa busca encontrar alternativas para mitigar a degradação do meio ambiente, principalmente na regulação climática local da região do sudoeste da Amazônia, aumentando e protegendo o estoque de carbono e melhorando a qualidade de vida da sociedade local e adjacente.

1.3. IMPACTO SOCIOAMBIENTAL

Nos últimos anos o bioma Amazônico vem sofrendo com desmatamento e mudanças no uso do solo, gerando o aumento da concentração de CO₂ para atmosfera (SEEG, 2021) trazendo impactos ambientais-sociais-econômicos (NOWACKI e RANGEL, 2014; LEITE et al., 2020), em relação ao impacto ambiental a emissão de CO₂ gera um desequilíbrio no balanço de carbono no solo, alterando seu estoque e aumentando a temperatura solo (GOMES et al., 2021), acelerando a decomposição da matéria orgânica, gerando mudanças climáticas e extinção de espécies e plantas (LOPES, 2015), bem como a degradação do ar (LEITE et al., 2020). A alta concentração de CO₂ na atmosfera pode reduzir a taxa de fotossíntese, pois, reduz a abertura dos estômatos das plantas (EMBRAPA, 2014).

A emissão indiscriminada de CO₂ para a atmosfera pode gerar epidemias tais como malária, doenças respiratórias (NOWACKI e RANGEL, 2014) e cardiorrespiratórias (LEITE et al., 2020), impactando negativamente o bem-estar humana, gerando desconforto térmico, e impacto no microclima da região de modo indireto (SILVA et al., 2016^a).

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Avaliar a variabilidade do efluxo de CO₂ no solo em áreas de diferentes coberturas vegetais no Sudoeste da Amazônia.

1.4.2. Objetivos Específicos

Comparar a variabilidade do efluxo de CO₂ no solo sob áreas de floresta secundária, campo natural, cultivo de café e cultivo de açaí;

Comparar a variabilidade do efluxo de CO₂ no solo, durante o período diurno e noturno em cada área;

Comparar a variabilidade do efluxo de CO₂ no solo, durante as diferentes estações do ano;

Correlacionar as variáveis analisadas mensalmente em cada área de estudo.

1.5. HIPÓTESE

A área de floresta secundária tende a emitir mais CO₂ na interface solo-atmosfera, devido ao grande aporte de carbono em sua cobertura vegetal;

Os atributos do solo na área de floresta secundária tendem a ser os mais propícios para o equilíbrio da emissão-absorção de CO₂, pois parte de sua emissão é capturado pelas folhas das árvores para a realização de fotossíntese, propiciando o aporte de carbono no solo;

As áreas de campo natural, cultivo de café e cultivo de açaí tendem a ter solos mais degradados, devido a intensa atividade antrópica no seu solo;

As áreas de campo natural, cultivo de café e cultivo de açaí tendem a emitir menos CO₂ na interface solo-atmosfera devido ao menor aporte de carbono em seu solo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Bioma Amazônico

O Bioma Amazônico é o maior bioma do mundo e possui a maior bacia hidrográfica, abriga em seu arcação 9 países: Brasil, Paraguai, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Guiana Francesa e Suriname (ICMBIO, 2021). A bacia Amazônica é um sistema hídrico que abriga 20% de água doce do mundo (WWF, 2017).

Dentro do território brasileiro tem-se a Amazônia Legal que ocupa uma área de 5,2 milhões de km², onde abrange os seguintes estados: Amazonas, Acre, Pará, Roraima, Rondônia, Amapá, Tocantins, Maranhão e Mato Grosso, conforme Figura 1.

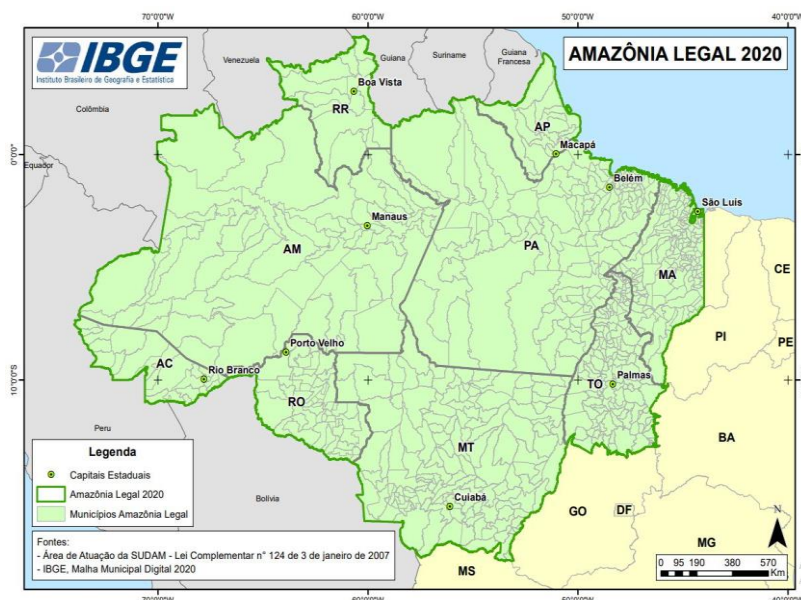


Figura 1. Amazônia Legal. Fonte: IBGE (2020)

A região está localizada em uma área intertropical entre os trópicos de Câncer e Capricórnio (BENCHIMOL, 2011), possui um ecossistema dotado de florestas com alta biodiversidade (AB'SABER 2002), abrigando 4 mil espécies de plantas e 5 mil espécies de árvores/hectares (WWF, 2017). A intensa, densa e variada vegetação da floresta tropical da Amazônia exerce um papel relevante na reciclagem do clima mundial (BENCHIMOL, 2011).

O bioma Amazônico não possui um clima uniforme ao longo do tempo tendo grandes variações, possui uma estação chuvosa prolongado e uma seca de curta duração, sofrendo severos impactos ambientais de origem antrópica principalmente devido ao desmatamento na região, apesar de baixa densidade demográfica na região (BARTOLI, 2011).

2.2. Características das Áreas Estudadas

2.2.1. Floresta Secundária

As florestas secundárias são caracterizadas como áreas que foram anteriormente desmatadas e se regeneraram, expandindo desse modo a cobertura florestal, essa área se mostra fundamental na conservação da biodiversidade e do carbono dentro do bioma Amazônico (LENNOX et al., 2018).

As florestas de modo amplo se caracterizam-se pelo adensamento de suas árvores altas, com redução da incidência solar no solo (IBGE, 2012), são importantes componentes do ecossistema terrestre e são reconhecidas como potenciais sumidouros de carbono, podendo atuar também como potenciais emissores de carbono na forma de CO₂ (PINTO-JÚNIOR et al., 2009; LIU et al., 2011), onde a respiração do solo (RS) possui um papel importante na regulação da reserva de carbono no solo e na sua ciclagem no ecossistema terrestre o que impacta diretamente na emissão de CO₂ para atmosfera terrestre (LIU et al., 2011; PANG et al., 2013).

As florestas possuem um papel importante durante o processo do ciclo do carbono (LENNOX et al., 2018), pois, estocam cerca de 20-25% de carbono no solo (PINTO-JÚNIOR et al., 2009; PAVÃO et al., 2015). A preservação da vegetação das florestas é de fundamental importância tanto para o clima local como para o clima global, pois sua vegetação atua como receptora e armazenadora de energia e evita a dissipação da energia proveniente da radiação solar (QUERINO et al., 2006), assim como sua preservação auxilia também na manutenção da biodiversidade e na ciclagem de água dentro desse bioma (PAVÃO et al., 2015).

Os solos das florestas são ricos em matéria orgânica e em serapilheira e alguns fatores físicos, biológicos ou antrópicos podem acelerar sua decomposição (PANG et al., 2013), a serapilheira é uma das principais fontes de nutrientes para vegetais e microrganismos no solo (HOLANDA et al., 2015).

2.2.2. Campo Natural

Os campos naturais são paisagens que incluem várias formações campestres abertas com alternância de pequenas árvores isoladas (CAMPOS et al., 2012, CAMPOS et al., 2014; PAVÃO et al., 2015). A vegetação dessa área é caracterizada pela presença de gramíneo-lenhosa baixa (CAMPOS et al., 2014).

2.2.3. Cultivo de Café

A cafeicultura foi introduzida no Brasil pela Amazônia, ganhando expressão econômica somente em 1970 nos projetos de colonização, principalmente no Estado de Rondônia que foi responsável por cerca de 90% da produção de café na Amazônia, outros Estados produtores de café na Amazônia são Pará, Amazonas e Acre (EMBRAPA, 2015). O estado de Rondônia se destaca na produção de café do tipo Conilon (*Coffea canephora*), no município de Apuí na região Sudoeste da Amazônia vem se destacando pela produção de café em sistema agroflorestal (BOTELHO et al., 2021). A cafeicultura na Amazônia tem sido exercida pelos pequenos agricultores, conferindo desse modo sua importância social (EMBRAPA, 2015).

2.2.4. Cultivo de Açaí

A palmeira de açaí *Euterpe oleracea* Mart é uma palmeira de origem tropical perene e nativa da Amazônia encontrada em várzeas ao longo dos rios, sua expansão em terra-firme vem crescendo na tentativa do aumento de sua produção (SILVESTRE, 2017).

Devido as suas propriedades nutritivas e antioxidantes sua demanda vem aumentando no Brasil e no mundo, sendo utilizada como recursos para produzir alimentos as populações amazônicas (SILVESTRE et al., 2017; FERREIRA, 2017).

Segundo Ferreira (2017) a supressão da cobertura vegetal de florestas para cultivos de açaí, traz degradação do solo.

2.3. Solo e sua Microbiota

A presença de espécies de árvores em um sistema colabora para a disponibilidade de nutrientes no solo por meio da decomposição de folhas e galhos que caem no solo e posteriormente absorvido pelas raízes das árvores, isso se deve ao ciclo nutricional entre a árvore e o solo, sendo importante para o armazenamento de carbono no solo (Martins et al., 2018). A biomassa microbiana do solo é uma importante fonte de nitrogênio e de outros nutrientes para as plantas e seu reservatório microbiano é relevante para o solo, pois, atua na decomposição de resíduos vegetais e animais, ciclagem de nutrientes e relações simbióticas (FERREIRA, 2017).

Segundo Shibistova et al. (2002) pode haver no solo um alto CO_2 proveniente de microrganismos decompositores, devido à maior disponibilidade de nutrientes nos solos, Mantovanelli et al. (2020) corrobora que o alto índice de componentes orgânicos no solo favorecem a formação de bioporos, o que propicia uma maior atividade dos microrganismos no solo e difusão de gases no seu interior.

Os microrganismos atuam como decompositores de matéria orgânica do solo e podem atuar como bioindicadores da qualidade do solo, principalmente na emissão de CO₂ no solo, liberado durante o processo de respiração microbiana do solo, isso influencia diretamente a microbiota do solo e relacionado a isso influencia as características física, química e biológica do solo (EMBRAPA, 2009; SILVA et al., 2020).

Os fungos são microrganismos eucarióticos extremamente importantes para a saúde e fertilidade do solo, pois, eles se associam as raízes das plantas aumentando desse modo a área de absorção das mesmas, facilitando a absorção dos nutrientes, principalmente em solos que possuem baixa fertilidade (Bueno et al., 2018), o que ocorre nos solos Amazônicos, que possuem poucos nutrientes em seus solos e alta taxa de acidez (MANTOVANELLI et al. 2016^a) propiciando ao maior crescimento fúngico no solo (ARAÚJO et al., 2016). As bactérias nos solos caracterizam-se por uma alta taxa de crescimento e uma excelente capacidade de ciclagem de nutrientes no solo (ARAÚJO et al., 2016).

2.4. Efluxo de CO₂ (ECO₂)

O ECO₂ do solo é resultado de três processos que ocorrem no sistema edáfico: respiração microbiana, respiração radicular e transporte de CO₂ para a atmosfera (HUI e LUO, 2004).

A respiração microbiana do solo (OLIVEIRA et al., 2017), segundo Silva et al. (2016) consiste na oxidação biológica da matéria orgânica do solo em CO₂ pelos microrganismos aeróbicos e é um processo importante para o ciclo de carbono no sistema, é durante a reação de oxidação respiratório que os microrganismos geram energia para sua manutenção e crescimento, tendo o CO₂ como produto final do metabolismo energético (EMBRAPA, 2009).

O ECO₂ do solo pode ser classificado em: produção e transporte (JOO et al., 2012; DARENOVA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016), a produção ocorre no solo por meio de raízes de plantas de modo autotrófico, responsável pela maior parte desse ECO₂ no solo (SHIBISTOVA et al. 2002; MANTOVANELLI^b et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017) e por microrganismos decompositores de modo heterotrófico (JOO et al., 2012; DARENOVA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017), diversos fatores externos a esse sistema podem influenciar esse processo tais como, quantidade de matéria orgânica (DARENOVA et al., 2014), conteúdo de carbono no solo, umidade do solo e temperatura do solo, já o transporte ocorre por gradiente de concentração e fluxo

de difusão do solo para a atmosfera (MORÉN e LINDROTH, 2000; OLIVEIRA et al., 2016).

Cerca de 76 a 84% desse ECO_2 provém do solo dentro do bioma Amazônico (PINTO-JÚNIOR et al., 2009), pois, possui solos com alta umidade e temperatura o que propicia a emissão de CO_2 para atmosfera (MANTOVANELLI^b et al., 2016). O processo de efluxo de CO_2 provém de pelo menos três fontes metabólicas no solo sendo, respiração microbiana, respiração de raízes e respiração de organismos (SOUTO et al., 2009), provém também de fontes não metabólicas como por exemplo, a oxidação química dos minerais presente no solo (ARAÚJO et al., 2013).

O ECO_2 é um processo extremamente sensível à temperatura, principalmente ao seu aumento, quando isto se combina com um grande reservatório de carbono como ocorre em solos de florestas, isso levará ao aumento da taxa de ECO_2 do solo e conseqüentemente a aceleração da decomposição da matéria orgânica (MORÉN e LINDROTH, 2000; LUI et al., 2016). A velocidade de emissão de CO_2 do solo para a atmosfera é reduzida ao passar do tempo dentro do ecossistema, isso ocorre devido a atuação seletiva dos microrganismos decompositores que decompõem substâncias lábeis mais rapidamente e logo depois as substâncias de maior estabilidade à decomposição (EMBRAPA, 2009).

2.5. Medições do Efluxo de CO_2 no Solo

Os métodos disponíveis para medição da troca gasosa entre o solo e atmosfera são baseados em um dos quatros princípios fundamentais: câmara estática fechada, câmara dinâmica fechada, câmara aberta e sistema de covariância turbulenta (MORÉN e LINDROTH, 2000).

A maioria dos trabalhos realizados acerca do ECO_2 no solo utilizam equipamentos com sistemas automatizados como o LI-8150 (CAMPOS et al. 2016; MANTOVANELLI^b et al., 201; SILVA et al., 2019; PANTOJA et al., 2019), é um sistema de custo elevado que necessita de energia e manutenção, porém se tem como vantagem uma leitura e interpretação rápida dos dados gerados (WANG et al., 2013).

A metodologia utilizada na presente pesquisa foi de Grisi, desenvolvida em 1978, onde sua metodologia é baseada no tipo câmara estática fechada com armadilha química, a determinação de CO_2 ocorre por meio da titulação ácido-base (MORÉN e LINDROTH, 2000). Essa metodologia vem sendo empregada em alguns biomas brasileiros como na Caatinga (SOUTO et al., 2009) e na Mata Atlântica (SILVA et al., 2020).

2.6. Interação Biosfera-Atmosfera

O solo é o maior reservatório de carbono terrestre (LUI et al., 2016) e desempenha função contudente acerca do CO_2 para atmosfera, sendo uma das principais trocas de CO_2 do ecossistema para a atmosfera (JOO et al., 2012), tornando-se desse modo um campo vital de estudos (MORÉN e LINDROTH, 2000).

Essa interação vem sendo estudada ao longo do tempo em vários tipos de ecossistemas e diferentes tipos de solos, naturais e com ingerência antrópica (LUI et al., 2016).

A interação entre a biosfera-atmosfera reflete diretamente no balanço de carbono do solo, na produtividade florestal e na perda do reservatório de carbono do solo para a atmosfera (LAL, 2015). O influxo do CO_2 da atmosfera para o solo se dá por meio do processo de fotossíntese atuando como um sumidouro de carbono (FILHO, 2006; FRANK et al., 2006) e o efluxo do CO_2 no solo para a atmosfera se dá pelo processo de respiração do solo (SAIZ et al., 2006), podendo ser por meio de microrganismos e por meio das raízes.

Alguns fatores podem influenciam o fluxo de CO_2 nessa interação, entre eles as condições climáticas relacionadas a sazonalidade da região (ZANCHI et al., 2014), condições edáficas relacionados as variações atmosféricas (SILVA et al., 2020), mudanças no uso da terra e a natureza física, química e biológica do solo (ZANCHI et al., 2014; LOPES, 2015).

2.7. A Influência da Sazonalidade no Efluxo de CO_2 no Solo

Segundo Wang et al. (2013) em seus estudos realizando medições contínuas do CO_2 no solo verificou que há diferenças significativas ao longo do ano. Diversos estudo acerca do CO_2 vem mostrando que a variação temporal dos processos físicos têm influenciado a variação sazonal do CO_2 no solo (MANTOVANELLI et al, 2020), mostrando desse modo diferença significativa no CO_2 em diferentes tipos de solos a depender da atividade exercida nele, sendo afetado significativamente pela temperatura e umidade do solo e de suas interações (JOO et al., 2012; WANG et al., 2013; DARENOVA et al., 2014; LUI et al., 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da Área Experimental

Os estudos acerca da variabilidade do ECO_2 no solo foram realizados na Fazenda Experimental Mangabeira, pertencente à Universidade Federal do Amazonas (UFAM-IEAA) e em área próxima, localizada no perímetro rural no município de Humaitá, Amazonas, Brasil com área territorial total de 33.111,143 km^2 (IBGE, 2020), pertencente ao bioma Amazônico (IBGE, 2019), 696,4 km distante da capital do Estado do Amazonas (Manaus), 205 km distante da capital do Estado de Rondônia (Porto Velho), o município de Humaitá é banhado pelo bacia do rio Madeira.

Segundo a classificação de Köppen o município de Humaitá possui um clima do tipo Am (tropical úmido) e temperatura média anual em torno de 25°C a 27°C, pluviosidade entre 2.050 a 2.650 mm por ano e umidade relativa do ar entre 85 a 90% (BRASIL, 1978), a região possui relevo do tipo “tabuleiro” com desníveis pequenos e bordas abaulados (CAMPOS et al., 2014).

As estações do ano no Bioma Amazônico é uma espécie de mosaico e varia de localidade dentro do Bioma, no município de Humaitá tem-se a seguinte divisão sazonal ao longo do ano: chuvoso (novembro a abril) com pluviosidade em torno de 400mm/mês, transição entre o período chuvoso e menos chuvoso em maio, menos chuvoso ou seco (junho a setembro) com pluviosidade em torno de 100mm/mês e transição para o chuvoso novamente em outubro (Pavão et al., 2015), temos um curto período seco na região (WWF, 2017; Silva et al., 2019) de apenas quatro meses. Segundo Querino et al. (2006) durante a estação chuvosa há mudanças progressivas entre os meses de janeiro-fevereiro-março no clima da região. Durante o período chuvoso, entre novembro a março a região possui um alto índice pluviométrico (WWF, 2017).

As áreas escolhidas para analisar a variação sazonal do ECO_2 foram: AFS, ACN e ACC que se localizam dentro da Fazenda Experimental Mangabeira e a ACA que fica próxima a Fazenda Experimental Mangabeira, conforme pode-se observar a Figura 3 que traz o mapa de localização das áreas de estudo dentro do perímetro rural do município de Humaitá-AM.

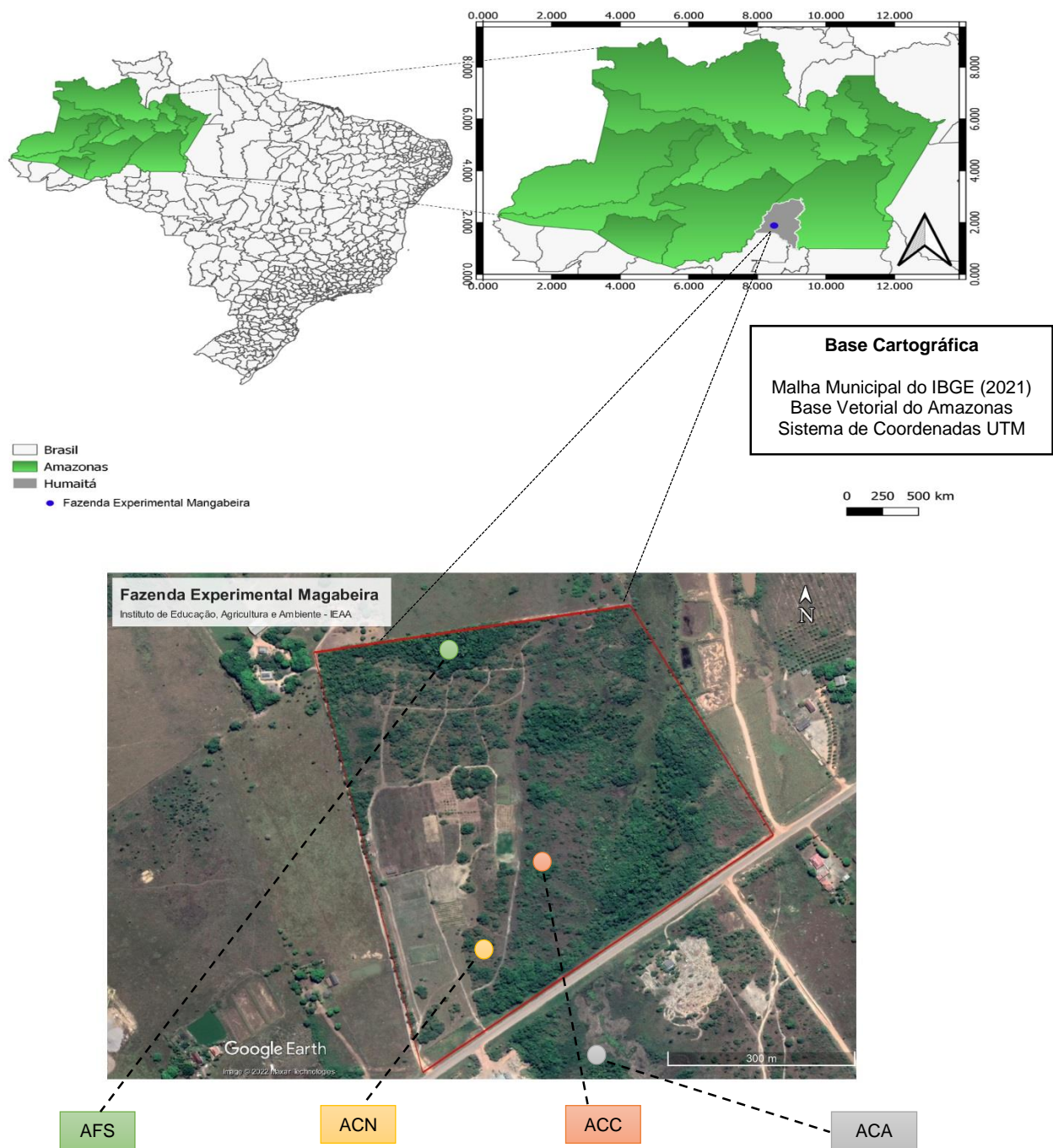


Figura 3. Mapa de localização da área experimental dentro do perímetro rural do município de Humaitá-Amazonas-Brasil. Fonte: Google Earth adaptada pelo autor (2022)

3.1.1. Área de Campo Natural

A área de campo natural localiza-se dentro da Fazenda Experimental Mangabeira, possui uma vegetação heterogênea, árvores disposta de modo alternados e distante entre si.

Na região Sul do Amazonas a ocorrência desses campos naturais é uma característica marcante do município de Humaitá (MANTOVANELLI et al., 2016), formando os complexos campos e matas abertas os “Campos Naturais de Humaitá-Puciri” (CAMPOS et al., 2012; PAVÃO et al., 2015). Segundo Campos et al. (2012) e Enck et al. (2020) que realizaram estudos na mesma área corroboram que a classificação do solo nessa região do município de Humaitá é de Cambissolo Háplico Alítico.

3.1.2. Área de Floresta Secundária

A área de floresta secundária da Fazenda Experimental Mangabeira apresenta um solo rico em serapilheira, composto de galhos e folhas secas dispostas ao chão. Em seu solo ocorre pouca incidência de radiação solar devido as copas das árvores.

As áreas de florestas secundárias são caracterizadas pela derrubada de árvores e de suas vegetações pela ação antrópica e estão em processo de recuperação dessa vegetação (ENCK et al., 2020).

3.1.3. Área de Cultivo de Café

A área de cultivo de café localizada dentro da Fazenda Experimental Mangabeira, trata-se do cultivo de clones de Café Robusto Amazônicos que possui idade de dois anos, esse cultivo é oriundo da realização do trabalho de melhoramento genético desenvolvimento pela EMBRAPA de Rondônia.

3.1.4. Área de Cultivo de Açaí

A área de cultivo de açaí se localiza próxima a Fazenda Experimental Mangabeira, trata-se do cultivo da palmeira de açaí *Euterpe oleracea* Mart, popularmente chamado cultivar BRS-Pará. Os pontos escolhidos para realização das análises foram submetidos a doses de calagem, doses de gesso e sem irrigação, tendo desse modo somente irrigação natural por meio de chuvas. O cultivo possui idade em torno de dois anos.

Em cada área de estudo foram selecionados 10 pontos de coleta ao acaso, onde a profundidade do solo analisado foi de 0 a 10 cm e a frequência das análises foram

mensais para os parâmetros ECO₂, temperatura superficial, temperatura a 5cm, temperatura a 10cm de profundidade do solo e umidade do solo e para outros os parâmetros como a densidade, porosidade, carbono orgânico e matéria orgânica do solo foram feitos de modo sazonal, uma campanha de coleta durante a estação chuvosa e outra durante a estação seca. A textura do solo foi realizada uma única vez.

3.2. Quantificação do Efluxo de CO₂ no Solo

O ECO₂ do solo foi medido utilizando-se a Metodologia de Grisi (1978), que consiste na absorção de CO₂ liberado por uma área do solo por uma solução alcalina de KOH (hidróxido de potássio) a 0,5N e pela dosagem por titulação com uma solução ácida de HCl (ácido clorídrico) a 0,1N (SOUTO et al., 2009; HOLANDA et al., 2015) é possível determinar a quantidade de CO₂ (μmol m⁻². s⁻¹) liberada durante a atividade microbiana do solo e radicular a partir da precipitação do íon carbonato presente na amostra (HOLANDA et al., 2015), foi utilizado como indicador a fenolftaleína para a primeira viragem e o alaranjado de metila para a segunda viragem da titulação, ambos a concentração de 1%.

Para efetuar a medição foram distribuídos 10 recipientes em cada área (AFS, ACN, ACC, ACA) e em cada turno (diurno e noturno), totalizando 80 recipientes por mês, cada um com 10,00 mL de KOH a 0,5N, cada recipiente foi coberto por um balde de plástico de 22 L de capacidade. Após a duração de cada experimento diurno com 10 horas (das 8 às 18h) de duração e do período noturno com 14 horas (das 18 às 8h), os baldes plásticos foram retirados e os recipientes tampados logo após e acondicionados, onde foram levados para ao laboratório para serem titulados, Figura 4.

A metodologia de Grisi é simples e de baixo custo, apresenta uma maior sensibilidade acima do solo (SOUTO et al., 2009) em relação a outras metodologias usadas para quantificar a emissão de CO₂, pois considera as condições naturais da área em estudo (ARAÚJO et al., 2011).

A determinação do ECO₂ foi realizada conforme a Equação 1:

$$ECO_2 = 4,4(A - B) * (40000/3h + S) * 6,32 * 10^{-3} \quad (1)$$

Em que:

ECO₂ - efluxo de CO₂ (μmol m⁻² s⁻¹);

A - Diferença entre 1ª e 2ª viragem da coloração da amostra (mL);

B - Diferença entre 1ª e 2ª viragem da coloração do controle ou amostra em branco (mL);

h - Período de permanência da amostra no solo (horas);

S – Área de abrangência do balde (m²);

$6,32 \cdot 10^{-3}$ – constante de transformação de $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ para $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

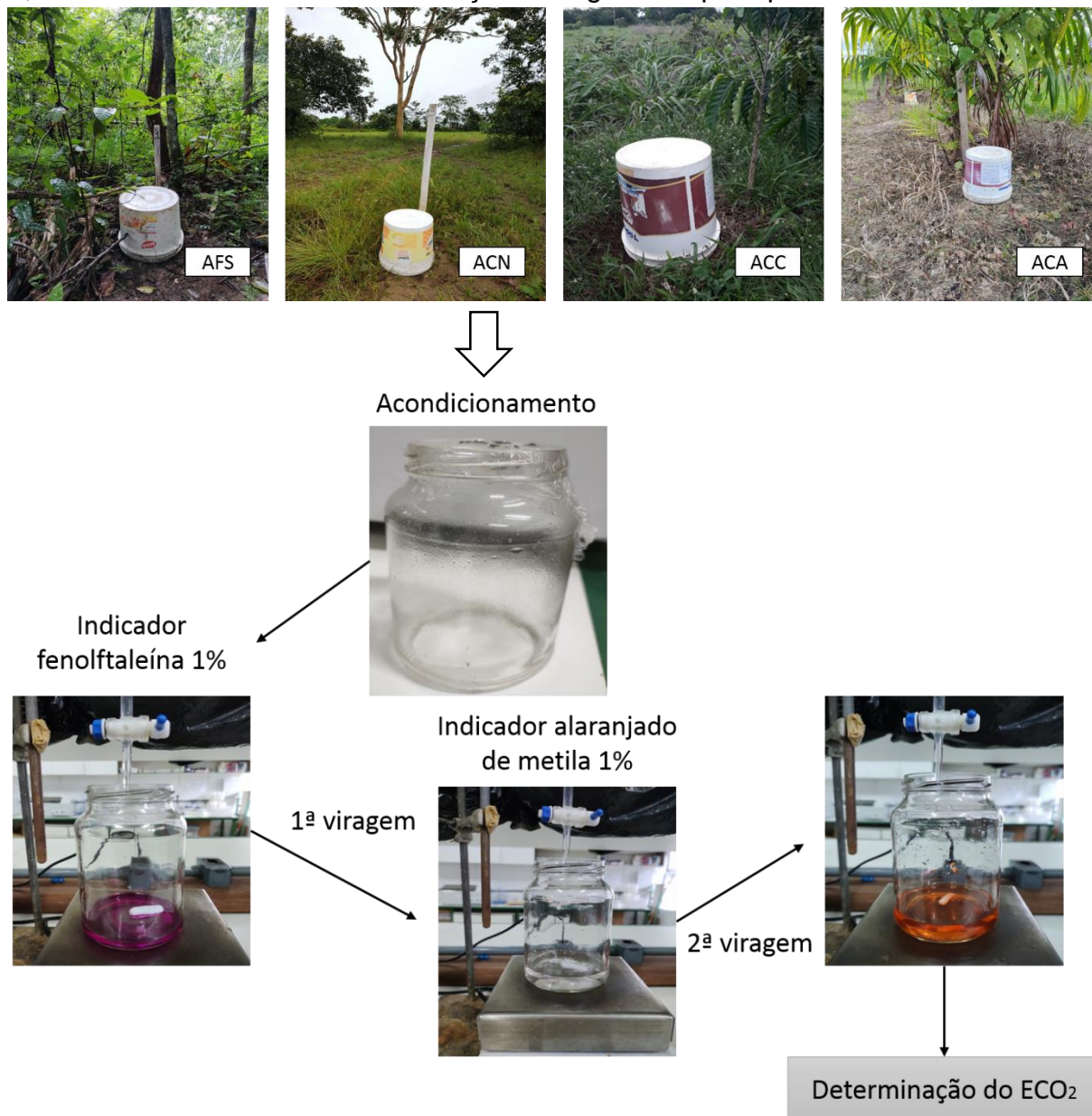


Figura 4. Fluxograma da Metodologia de Grisi desenvolvida em 1978. Fonte: O autor (2022)

As coletas para determinação do ECO_2 foram realizadas mensalmente nas quatro áreas de estudo (AFS, ACN, ACC e ACA) entre outubro de 2021 a setembro de 2022, totalizados ao longo de um ano 960 análises.

3.3. Análise dos Parâmetros Físicos

3.3.1. Densidade do Solo (D_s)

O método de determinação da densidade do solo visa medir a densidade média de um volume conhecido de solo, tendo a densidade relação com a porosidade total e com a composição orgânica e mineralógica média do solo (EMBRAPA, 2017).

A metodologia usada para determinar a densidade do solo foi a do cilindro volumétrico (EMBRAPA, 2017).

Foi coletado a amostra de solo a partir de um cilindro metálico de volume conhecido, foi vedado e acondicionado a amostra e levado ao laboratório para determinação, a amostra posta na estufa a 105°C por 48 horas, posteriormente a amostra resfriou no dessecador e pesada para sua determinação conforme a Equação 2 (EMBRAPA, 2017).

$$D_s = \frac{ms}{v} \quad (2)$$

D_s - Densidade do solo (g/cm^3);

ms - Massa da amostra de solo seco a 105°C, massa constante (g);

v - Volume do cilindro (cm^3).

A densidade do solo foi determinada em duas campanhas de coletas, uma durante a estação chuvosa e outra durante a estação seca, em cada estação foram coletadas nos 10 pontos das quatro áreas de estudo, totalizando 40 amostras por estação, ao longo de um ano foram realizadas 80 análises em duplicata.

3.3.2. Porosidade Total (P_t)

A porosidade total do solo é a fração do volume total em um determinado volume de solo passível de ser ocupada por água e/ou ar. O conhecimento da porosidade total é importante para se entender o movimento e a retenção de água, ar e solutos no solo (EMBRAPA, 2017).

A metodologia usada para determinar a porosidade total baseou-se na saturação do solo por água, onde a água ocupa todo volume dos poros dos solos analisados (EMBRAPA, 2017).

Foi coletado a amostra de solo a partir de um cilindro metálico de volume conhecido, foi vedado e acondicionado a amostra e levado ao laboratório para determinação.

Foi colocado na parte inferior do cilindro tecido preso com uma liga de borracha, onde foram previamente pesados, formando o conjunto amostra-cilindro-tecido-liga, este foi transferido para uma bandeja de plástico com sua altura sendo superior à altura do cilindro, a bandeja de plástico foi adicionada água desaerada até uma coluna de 1cm do cilindro volumétrico (EMBRAPA, 2017).

Foi aguardado a ascensão capilar da água até o topo da amostra, quando esta foi atingida completou a bandeja de plástico com água próxima a borda do cilindro, a amostra ficou nessa condição até aproximadamente 12 horas, após este tempo decorrido a amostra foi imediatamente pesada, o pano e a liga foram retiradas e a amostra colocada dentro de uma lata de alumínio e levado para estufa a 105°C até atingir peso constante, posteriormente a amostra foi esfriada no dessecador e pesada para sua determinação conforme a Equação 3 (EMBRAPA, 2017).

$$P_t = \frac{[(a - b) - (c - d)]}{e} \quad (3)$$

P_t - Porosidade total ($m^3 m^{-3}$).

a - Massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-liga saturado (kg);

b - Massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-liga seco a 105°C (kg);

c - Massa do conjunto cilindro-tecido-liga saturado (kg);

d - Massa do conjunto cilindro-tecido-liga seco a 105°C (kg);

e - Volume total da amostra (m^3).

A porosidade do solo foi determinada em duas campanhas de coletas, uma durante a estação chuvosa e outra durante a estação seca, em cada estação foram coletadas nos 10 pontos das quatro áreas de estudo, totalizando 40 amostras por estação, ao longo de um ano foram realizadas 80 análises em duplicata.

3.3.3. Temperatura do Solo (T)

A temperatura (T) do solo foi analisada *in site* superficialmente, a 5cm e a 10cm abaixo do solo onde se utilizou o termômetro digital tipo espeto que realiza leituras da faixa de -50°C a 300°C.

As temperaturas foram realizadas mensalmente nas três profundidades, nos 10 pontos das quatro áreas de estudo durante os períodos diurnos e noturnos, totalizando desse modo ao longo de um ano 2880 medidas de temperaturas do solo.

As temperaturas medidas às 8 horas da manhã foram classificadas como temperaturas noturnas, pois, caracteriza-se melhor a temperatura noturna. As temperaturas medidas às 18 horas da tarde foram classificadas como temperaturas diurnas, por caracterizar melhor a temperatura diurna.

3.3.4. Umidade Atual do Solo (Us)

A umidade do solo representa o conteúdo de água presente na amostra de determinado solo, podendo ser determinada *in situ* ou por amostragem, para determinação em laboratório (EMBRAPA, 2017).

A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico a partir da coleta de amostra deformada *in situ* (EMBRAPA, 2017), onde as amostras foram coletadas a 5 cm de profundidade.

Foi coletada a amostra de solo deformada *in situ* e posta na lata de alumínio, foi tampada e acondicionada e levada ao laboratório para determinação. A amostra úmida foi pesada e posta em estufa a 105°C por 24 horas até seu peso se tornar constante, passado o tempo necessário a amostra foi posta em dessecador para resfriamento, onde a amostra seca foi pesada e a sua determinação foi realizada conforme a Equação 4 (EMBRAPA, 2017).

$$U = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (4)$$

U - Umidade atual (%);

P_u - Massa da amostra úmida (g);

P_s - Massa da amostra seca a 105° C (g).

A umidade do solo foi analisada mensalmente durante o período diurno nos 10 pontos das quatro áreas de estudo, totalizando ao longo de um ano 480 análises em duplicata.

3.4. Análise da Matéria Orgânica

3.4.1. Carbono Orgânico (CO)

O carbono no solo pode ser encontrado principalmente como componente mineral, em estruturas de carbonatos ou em estruturas orgânicas, componente de resíduos de animais e plantas em diversas fases de transformação (EMBRAPA, 2017).

A determinação de carbono orgânico no solo foi realizada por via úmida pela oxidação com dicromato de potássio, onde foi quantificado somente o carbono proveniente de materiais orgânicos facilmente oxidáveis ou decomponíveis, sendo, portanto, uma reação de oxirredução (EMBRAPA, 2017). Ao final da reação todo o carbono que foi oxidado se transformou em CO₂ com valência +4 (EMBRAPA, 2017).

Foi coletada a amostra de torrão de solo *in situ* em cada área, onde foi posta para secar com circulação de ar de forma natural por aproximadamente 15 dias, em seguida o solo foi peneirado em uma peneira de 80 mesh (EMBRAPA, 2017). Após o solo peneirado, foi pesado aproximadamente 0,5000 g de solo seco em balança analítica e posto em um erlenmeyer de capacidade de 250mL, adicionou-se 10,0 mL de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) 0,0667 mol L⁻¹, na tampa do erlenmeyer foi posto vidro de relógio e colocado em chapa aquecedora a 150 °C durante 5 minutos até a cor da solução se tornar amarelo-castanha (EMBRAPA, 2017). Após a solução ter sido resfriada foi adicionado 80 mL de água destilada medido em proveta, 2 mL de ácido ortofosfórico (H₃PO₄) e 3 gotas de indicador difenilamina [(C₆H₅)₂NH] 1%, onde foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,05 mol/L onde ocorreu a mudança de cor para verde, o volume gasto foi anotado e a determinação de carbono orgânico foi realizado a partir da Equação 5 (EMBRAPA, 2017):

$$C_{org} = \frac{0,003 \cdot V_d \cdot (40 - V_a) \cdot \frac{40}{V_b} \cdot 10}{m} \quad (5)$$

Corg - Concentração de carbono orgânico no solo (g kg^{-1});

Vd - Volume total de dicromato de potássio adicionado na digestão da amostra (mL);

Va - Volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra (mL);

Vb - Volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco aquecido (mL);

Valor 0,003 - Miliequivalente da massa de carbono (peso atômico/valência = 12/4, dividido por 1.000).

Valor 10 - Transformação de % para g kg^{-1} ;

m - Massa da amostra de solo (g).

O carbono orgânico do solo foi determinado em duas campanhas de coletas, uma durante a estação chuvosa e outra durante a estação seca, em cada estação foram coletadas nos 10 pontos das quatro áreas de estudo, totalizando 40 amostras por estação, ao longo de um ano foram realizadas 80 análises em duplicata.

3.4.2. Matéria Orgânica (MO)

A matéria orgânica do solo foi determinada por estimativa a partir da quantidade de carbono orgânico no solo (EMBRAPA, 2011), conforme a Equação 6:

$$MO = Corg * 1,724 \quad (6)$$

MO – Matéria orgânica (g kg^{-1});

Corg - Concentração de carbono orgânico no solo (g kg^{-1});

1,724 – Constante.

A matéria orgânica do solo foi determinada em duas campanhas de coletas, uma durante a estação chuvosa e outra durante a estação seca, em cada estação foram coletadas nos 10 pontos das quatro áreas de estudo, totalizando 40 amostras por estação, ao longo de um ano foram realizadas 80 análises em duplicata.

3.5. Análise Granulométrica

A análise granulométrica visa à quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais do solo, o operacional tem por objetivo a ruptura dos agregados do solo e a individualização dessas partículas, por meio de uma combinação de energia mecânica e química, com a formação de uma suspensão estabilizada, e a quantificação após a separação das frações (areia, silte e argila) (EMBRAPA, 2017).

Foi realizada a determinação da areia, silte e argila logo após a dispersão da amostra com hidróxido de sódio $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e agitação por 16h a 50 rpm de rotação (EMBRAPA, 2017).

Foi pesado 20,00g de amostra do solo TFSA onde foi transferida para uma garrafa pet com auxílio de funil, foi adicionado 100,0mL de água para a garrafa pet em que parte dessa água foi utilizada para lavar o funil como objetivo de não perder massa da amostra (EMBRAPA, 2017). Foi adicionado 10,0mL de solução de hidróxido de sódio $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, tendo como volume final aproximadamente 150,0mL dentro da garrafa pet (EMBRAPA, 2017).

As amostras foram colocadas no agitador tipo Wagner, onde permaneceu por 16h em uma rotação de 50rpm (EMBRAPA, 2017).

3.5.1. Separação da areia

Foi transferido a amostra da garrafa para a peneira de malha de 0,053mm, onde a garrafa e a tampa foram lavadas com água destilada com o objetivo de transferir todo o conteúdo presente na garrafa pet para a proveta de 1L de capacidade, onde o volume foi completado até 1L com água destilada (EMBRAPA, 2017).

A areia retida na peneira foi retirada e posta em uma lata de alumínio limpa e seca, onde foi eliminado o excesso de água e levada a secagem na estufa a 105°C por 24horas (EMBRAPA, 2017). Foi retirado a amostra seca da estufa, esfriado no dessecador e pesado na balança analítica (EMBRAPA, 2017).

3.5.2. Determinação do silte e argila

A temperatura da amostra em suspensão juntamente com a amostra controle foi medida, a amostra em suspensão foi agitada por 1 minuto, imediatamente foi pipetada 25,0mL da suspensão de silte mais argila, onde foi colocado em uma lata de alumínio limpa e seca, onde foi posta na estufa a 105°C

por 24 h. Os 25,00 mL pipetado faz parte da continuidade da etapa anterior que foi a separação da areia (EMBRAPA, 2017).

Foi aguardado o tempo de sedimentação (3h21min) da fração de silte, foi inserido a pipeta a 5cm de profundidade e pipetou 25,0mL da suspensão de argila que foi transferido para uma lata de alumínio limpa e seca, onde foi posta na estufa a 105°C por 24 h, posteriormente foi retirado a amostra da estufa e posta para resfriar no dessecador e pesado em balança analítica (EMBRAPA, 2017).

3.6. Análise Estatística

O tratamento estatístico dos dados da presente pesquisa foi realizado por meio do software estatístico Past 4.03 e a geração dos gráficos no software estatístico Python.

Os dados foram submetidos a análise descritiva obtendo dessa forma a média, desvio padrão, mediana, intervalo interquartil, mínimo, máximo e coeficiente de variação.

Foi gerado a partir dos dados gráficos de linha para verificar a variabilidade sazonal das variáveis de modo temporal, gerando desse modo, uma série temporal das variáveis analisadas, além da geração de gráficos do tipo boxplot para as variáveis que apresentaram distribuição não normal de seus dados, pois, possibilita a melhor visualização da variabilidade das variáveis entre o contraste das estações chuvosa e seca. A geração de mais de dois tipos de gráficos para cada variável serve como complemento da visualização do processo, foi gerado gráficos de barra com seus respectivos erros padrões para comparação das quatro áreas de estudo.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (W) para verificar a distribuição dos dados (paramétricos ou não-paramétricos), onde pode-se observar que parte dos dados possuem um distribuição normal ($p \geq 0,05$) e a outra parte não possuem uma distribuição normal ($p < 0,05$), dessa forma aplicou-se o teste não-paramétrico de Kruskal Wallis, utilizado para comparar três ou mais amostras independentes, com um nível de significância de 5% e o teste paramétrico de Tukey para as amostras que apresentaram uma distribuição normal de seus dados com nível de significância de 5%, esses testes foram os que melhores se adequaram aos dados da pesquisa.

O Kruskal Wallis e de Dunn são testes de comparação de mediana, pois, trata-se da medida de centralidade que melhor representa o conjunto de dados, esse teste não exige normalidade dos dados como pressuposto. Enquanto o teste de Tukey é um teste de comparação de médias que compara dados dentro e entre grupos, sendo a média a

medida de centralidade que melhor representa o conjunto de dados, esse teste exige como pressuposto normalidade dos dados.

Os dados foram submetidos a teste de Kruskal Wallis e o teste de Tukey em função dos dois principais períodos sazonais da região Amazônica, período chuvoso e seco.

Para o teste de Kruskal Wallis rejeitou-se a hipótese nula ($p < 0,05$), sendo necessário aplicar o teste de comparações múltiplas de Dunn para os dados que não apresentaram uma distribuição normal.

Utilizou-se o coeficiente de correlação de postos de Spearman (ρ) para o conjunto de dados que não apresentaram uma distribuição normal de seus dados, sendo uma medida de correlação de dados não-paramétrica que avalia entre o intervalo de -1 e +1, onde aplicou-se o nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise temporal do efluxo de CO₂ no solo nas AFS e ACN e os fatores que o influenciam

As estatísticas descritivas dos dados das variáveis do solo analisados mensalmente durante o período diurno e noturno, durante um ano são apresentadas na Tabela 1, é visível a variabilidade nas duas áreas de estudo o que influencia o processo de ECO₂ no solo. Os dados das variáveis analisados na Tabela 1 foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, os dados não apresentaram uma distribuição normal, sendo, portanto, dados não-paramétricos.

O teste de Kruskal-Wallis mostrou que nem todas as variáveis avaliadas ao longo do ano apresentaram diferença significativa, observou-se que nem todas as variáveis analisadas em função da estação chuvosa e seca durante os períodos diurno e noturno apresentaram diferença significativa, essa diferença foi verificada através do valor de p de cada variável, uma vez que foram menores que o valor significativo estabelecido de 5%, rejeitando desse modo a hipótese nula, posteriormente foi utilizado o teste de *post-hoc* de Dunn para comparações múltiplas, mostrou-se que todas as variáveis referentes ao período diurno apresentaram diferença significativa entre si entre as estações chuvosa e seca, porém durante o período noturno a T_s , T_{5cm} , T_{10cm} da AFS e o ECO₂ da ACN se mostram estatisticamente iguais entre si (Tabela 1), tendo essas variáveis sofrido pouca flutuação ao longo do ano.

As médias das taxas de ECO₂ para a AFS foram de $2,03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e para ACN foram de $1,76 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ dentro de 24hrs de experimento durante a estação chuvosa

na região, já durante estação seca para a AFS foram de $1,61 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e para ACN foram de $1,43 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, ocorrendo uma redução na atividade microbiana no solo durante o período seco de 13,3% para AFS e 11,18% para a ACN. Desse modo, podemos verificar que a área que mais emitiu CO_2 do solo para a atmosfera foi a AFS e a que menos emitiu foi a ACN tanto durante a estação chuvosa como durante a estação seca, corroborando com Morén e Lindroth (2000) e Shibistova et al. (2002) que afirmam que locais com coberturas vegetais mais densos apresentam uma maior taxa de ECO_2 em comparação a locais como vegetação mais esparsas, isso se deve a sua alta diversidade de espécies (SILVA^a et al., 2016). O maior valor mediano em relação ao ECO_2 foi encontrado na AFS durante o período noturno na estação chuvosa ($1,38 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o menor valor mediano foi encontrado na ACN durante o período diurno na estação seca ($0,34 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Segundo Silva et al. (2019) a temperatura do solo influencia o processo de ECO_2 , mas a umidade do solo é determinante, pois, vem ser o fator limitante da atividade microbiana no solo, desse modo, a AFS foi a que obteve maior umidade do solo durante a estação chuvosa e as menores temperaturas, emitindo mais CO_2 na interface solo-atmosfera, em contrapartida a ACN obteve a menor umidade e as maiores temperaturas do solo durante a estação chuvosa quando comparada a AFS, emitindo menos CO_2 para a atmosfera, durante a estação chuvosa e seca.

Tabela 1. Estatística descritiva da temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$), temperatura a 5 cm de profundidade ($^{\circ}\text{C}$), temperatura a 10 cm de profundidade do solo, umidade do solo (%) e efluxo de CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante o período diurno e noturno, para estação chuvosa e seca entre setembro/2021 e outubro/2022 em área de floresta secundária e campo natural na região de Humaitá, AM, Brasil.

Variável	Estação	Período Diurno		Valor de p
		Média \pm DP	Mediana \pm AI	
T_s AFS	Chuvosa	$25,79 \pm 0,61$	$25,80 \pm 0,90$	$1,4 \times 10^{-6**}$
	Seca	$26,60 \pm 0,63$	$26,45 \pm 0,97$	
T_s ACN	Chuvosa	$29,65 \pm 1,78$	$29,50 \pm 1,93$	$1,09 \times 10^{-9**}$
	Seca	$32,43 \pm 2,20$	$32,15 \pm 2,30$	
$T_{5\text{cm}}$ AFS	Chuvosa	$25,85 \pm 0,41$	$25,90 \pm 0,58$	$6,43 \times 10^{-5**}$
	Seca	$26,32 \pm 0,50$	$26,25 \pm 0,80$	
$T_{5\text{cm}}$ ACN	Chuvosa	$30,30 \pm 1,35$	$29,95 \pm 1,48$	$1,88 \times 10^{-10**}$
	Seca	$33,16 \pm 2,38$	$32,50 \pm 3,13$	
$T_{10\text{cm}}$ AFS	Chuvosa	$25,74 \pm 0,42$	$25,80 \pm 0,60$	$1,75 \times 10^{-3**}$
	Seca	$26,08 \pm 0,44$	$26,10 \pm 0,70$	
$T_{10\text{cm}}$ ACN	Chuvosa	$30,03 \pm 1,10$	$30,0 \pm 1,48$	$5,97 \times 10^{-12**}$
	Seca	$32,92 \pm 2,22$	$32,40 \pm 2,85$	

U _S AFS	Chuvosa	29,00 ± 3,18	29,58 ± 3,86	3,08x10 ^{-17**}
	Seca	14,13 ± 3,29	14,96 ± 5,41	
U _S ACN	Chuvosa	18,24 ± 2,92	18,44 ± 4,29	3,92x10 ^{-17**}
	Seca	5,97 ± 3,37	5,59 ± 6,51	
ECO ₂ AFS	Chuvosa	0,61 ± 0,15	0,61 ± 0,10	1,76x10 ^{-13**}
	Seca	0,36 ± 0,04	0,36 ± 0,06	
ECO ₂ ACN	Chuvosa	0,62 ± 0,09	0,61 ± 0,10	9,91x10 ^{-17**}
	Seca	0,34 ± 0,05	0,34 ± 0,04	
Período Noturno				
Variável	Estação	Média ± DP	Mediana ± AI	Valor de p
T _S AFS	Chuvosa	25,19 ± 0,71	25,40 ± 1,40	0,38
	Seca	25,32 ± 0,52	25,50 ± 0,93	
T _S ACN	Chuvosa	28,91 ± 2,06	29,40 ± 3,13	1,44x10 ^{-2**}
	Seca	30,45 ± 2,53	29,90 ± 3,80	
T _{5cm} AFS	Chuvosa	25,07 ± 0,59	25,20 ± 1,00	0,88
	Seca	25,13 ± 0,59	25,05 ± 0,78	
T _{5cm} ACN	Chuvosa	27,65 ± 1,21	28,00 ± 2,18	7,18x10 ^{-4**}
	Seca	28,86 ± 1,98	28,50 ± 1,68	
T _{10cm} AFS	Chuvosa	25,14 ± 0,52	25,20 ± 0,70	0,41
	Seca	25,10 ± 0,37	25,15 ± 0,60	
T _{10cm} ACN	Chuvosa	27,24 ± 0,91	27,35 ± 1,48	1,92x10 ^{-5**}
	Seca	28,41 ± 1,76	27,45 ± 1,55	
ECO ₂ AFS	Chuvosa	1,42 ± 0,36	1,38 ± 0,70	2,76x10 ^{-2**}
	Seca	1,25 ± 0,18	1,22 ± 0,29	
ECO ₂ ACN	Chuvosa	1,14 ± 0,24	1,12 ± 0,36	0,41
	Seca	1,09 ± 0,17	1,09 ± 0,19	

T_S= temperatura superficial, T_{5cm}= temperatura a 5 cm de profundidade, T_{10cm}= temperatura a 10 cm de profundidade; U_S= umidade do solo; ECO₂= efluxo de dióxido de carbono; DP= desvio padrão; AI= amplitude interquartil; Valores medianos diferem estatisticamente pelo teste post-hoc de Dunn (**p<0,05).

Os dados do ECO₂ obtidos experimentalmente entre outubro de 2021 a setembro de 2022 permitem verificar a variabilidade temporal nas AFS (Figura 5) e na ACN (Figura 6), pode-se observar a alta variabilidade temporal, principalmente entre as diferentes estações do ano nas duas áreas. Durante a estação chuvosa ocorreu maior produção de ECO₂ no solo e durante a estação seca ocorreu a redução da produção.

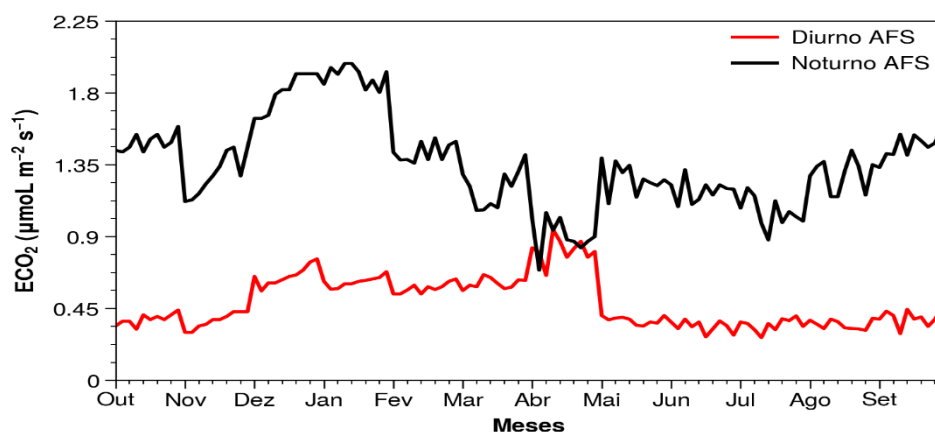


Figura 5. Série temporal do efluxo de CO₂ durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na AFS.

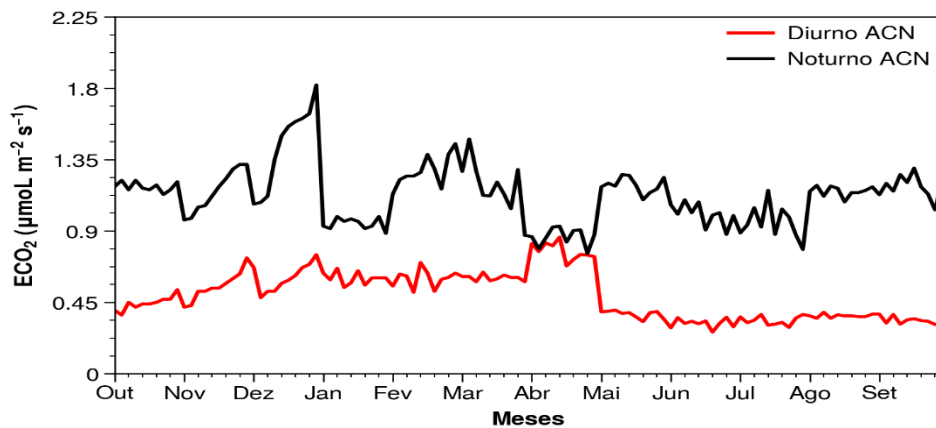


Figura 6. Série temporal do efluxo de CO₂ durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACN.

Na Figura 5 observou-se que no mês de abril o ECO₂ diurno se aproximou ao do período noturno, tendo uma diferença sutil entre os dois períodos, o mesmo observou-se na ACN (Figura 6) um comportamento atípico na análise da variabilidade ao longo do tempo, visto que o ECO₂ durante o período noturno se mostra superior ao do período diurno de modo acentuado e significativo, fato esse que se deve provavelmente a saturação da solução alcalina durante a experimentação, o que impediu a absorção do CO₂ pela solução.

A diferença do ECO₂ diurno entre a estação chuvosa e seca é acentuada e a diferença do ECO₂ noturno entre as diferentes estações do ano é sutil, na AFS as medianas tanto do período diurno (Figura 7.A) como do período noturno (Figura 7.B) durante as diferentes estações do ano se mostram estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Dunn, já na ACN durante o período noturno (Figura 8.B) as medianas se

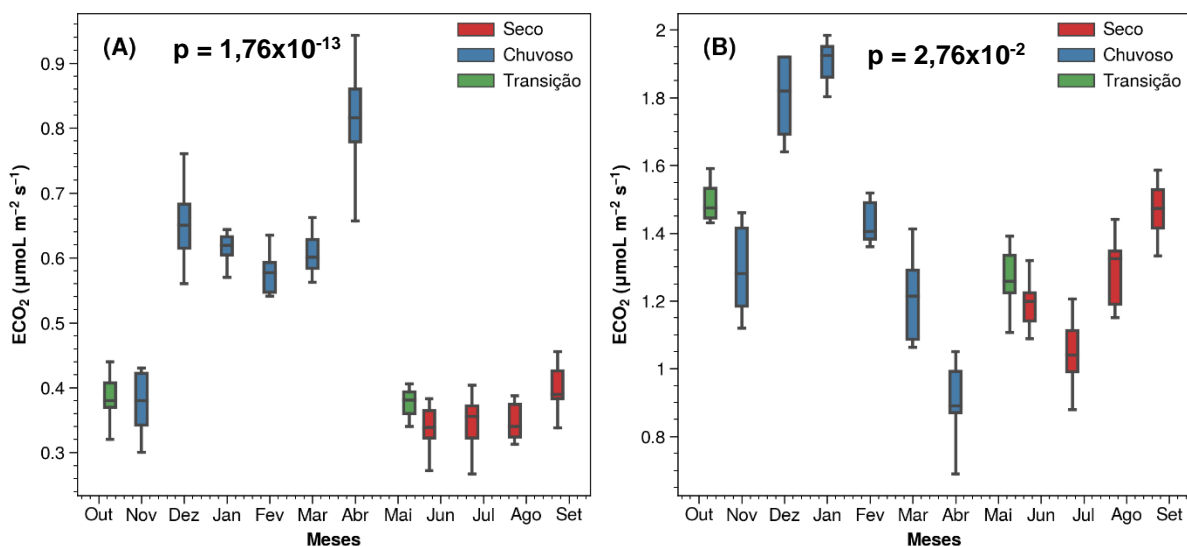


Figura 7. Boxplot do efluxo de CO₂ durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na AFS.

mostraram estatisticamente iguais e durante o período diurno (Figura 8.A) estatisticamente diferente entre as diferentes estações do ano.

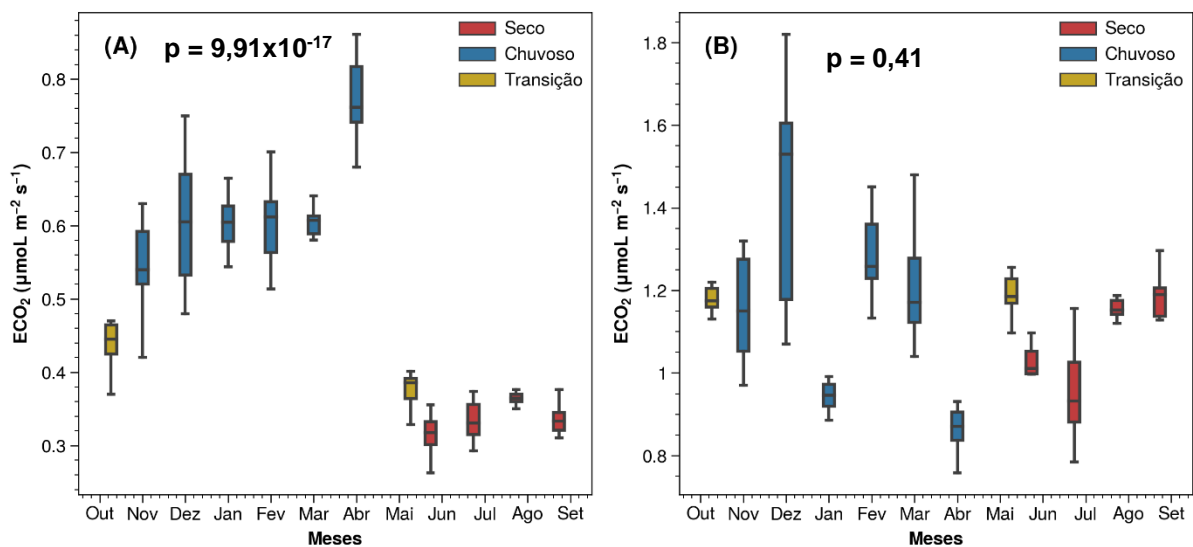


Figura 8. Boxplot efluxo de CO₂ durante o período diurno (A) e efluxo de CO₂ durante o período noturno (B) na ACN.

Em ambos, o ECO₂ é maior durante o período noturno em comparação ao período diurno corroborando como os resultados encontrados por outros autores (ALVES et al., 2006; ARAÚJO, et al., 2013; DARENOVA et al., 2014; HOLANDA et al., 2015; ARAÚJO et al., 2016) fato provavelmente relacionado as baixas temperaturas durante o período noturno o que pode levar ao aumento da umidade relativa, propiciando desse modo uma maior atividade microbiana do solo (ALVES et al., 2006). Segundo Morén e Lindroth (2000), isso ocorre devido a absorção fotossintética pela vegetação do solo durante o dia, reduzindo a emissão e durante a noite ocorre a respiração radicular, aumentando desse modo a emissão de CO₂ para a atmosfera.

Pode-se observar que o ECO₂ é maior durante a estação chuvosa/período noturno tanto na AFS (Figura 7.B) quanto na ACN (Figura 8.B), durante a estação seca/período diurno o ECO₂ é menor (Figura 7.A/8.A). Darenova et al. (2014) ressalta que durante a estação chuvosa os valores de ECO₂ podem ser subestimados devido as chuvas, pois, criam-se barreiras físicas no solo que impede o escape do CO₂ do solo para a atmosfera, além de reduzir a aeração do solo (JOO et al., 2012). Outro inconveniente que pode ocorrer durante o processo de mensuração do ECO₂ do solo para a atmosfera é que por vezes, o CO₂ produzido pela respiração das raízes pode ser dissolvido na seiva do xilema e movido para o caule o que pode colaborar para o ECO₂ no troco as árvores, subestimando a mensuração (DARENOVA et al., 2014).

A alta taxa de ECO_2 na AFS durante o período chuvoso provavelmente se deve a acelerada decomposição dos resíduos orgânicos presente no solo (ARAÚJO et al., 2016), visto que o solo analisado é extremamente rico em serapilheira, fonte de nutriente para o solo (HOLANDA et al., 2015, FERREIRA et al., 2017), isso propicia a atividade microbiana no solo, durante a estação chuvosa ocorre um maior incremento de carbono no solo (GOMES et al., 2021). Em contraste a isto, durante a estação seca ocorreu um incremento na quantidade de carbono orgânico e matéria orgânica no solo, a AFS ganhou cerca de 0,75% de carbono e a ACN ganhou cerca de 24,25% carbono no solo, provavelmente devido ao processo de mineralização do solo entre as estações, na AFS tanto a quantidade de carbono como de matéria orgânica não se diferenciaram estatisticamente durante as duas diferentes estações do ano pelo teste de Tukey (Tabela 2), a AFS mostra-se com a quantidade de carbono quase constante ao longo do ano, corroborando com Silva^a et al. (2016). Em relação a ACN o incremento foi mais acentuado entre as estações chuvosa e seca, onde o carbono orgânico e a matéria orgânica se diferenciaram estaticamente entre nas duas estações do ano pelo teste de Tukey. O fato do maior incremento de carbono no solo ocorrer durante a estação seca, provavelmente se deve a intensa atividade microbiana do solo durante a estação chuvosa evidenciada pela alta emissão de CO_2 , onde seu aporte final de carbono foi possível quantificar somente durante o período seca.

Tabela 2. Estatística descritiva da densidade do solo (g cm^{-3}), porosidade do solo ($\text{m}^{-3} \text{m}^{-3}$), carbono orgânico do solo (g kg^{-1}), matéria orgânica do solo (g kg^{-1}) e textura do solo (g kg^{-1}) durante a estação chuvosa e seco em área de floresta secundária e campo natural na região de Humaitá, AM, Brasil.

Variável	Estação	Análise Sazonal				
		Média ± DP	Mínimo	Máximo	CV	Valor de p
D _s AFS	Chuvosa	0,89 ± 0,06	0,78	0,98	7,08	1,05x10 ^{-4**}
	Seca	1,09 ± 0,06	0,89	1,22	10,62	
D _s ACN	Chuvosa	1,23 ± 0,07	1,07	1,32	5,89	1,41x10 ^{-2**}
	Seca	1,31 ± 0,06	1,21	1,31	4,32	
P _s AFS	Chuvosa	0,59 ± 0,04	0,54	0,66	7,38	1,45x10 ^{-8**}
	Seca	0,44 ± 0,02	0,41	0,47	4,74	
P _s ACN	Chuvosa	0,51 ± 0,02	0,47	0,54	4,40	1,4x10 ^{-12**}
	Seca	0,33 ± 0,02	0,28	0,36	7,04	
CO AFS	Chuvosa	18,65 ± 3,22	14,56	22,81	18,65	0,91
	Seca	18,51 ± 2,62	14,54	21,80	14,17	
CO ACN	Chuvosa	11,12 ± 2,36	7,41	14,83	21,19	9,2x10 ^{-3**}
	Seca	14,68 ± 3,05	11,14	21,86	20,77	
MOS AFS	Chuvosa	32,15 ± 5,55	25,10	39,33	17,28	0,91
	Seca	31,91 ± 4,52	25,07	37,58	14,16	
MOS ACN	Chuvosa	19,18 ± 4,06	12,77	25,57	21,19	8,31x10 ^{-3**}
	Seca	25,41 ± 5,27	19,21	37,68	20,72	
Textura do Solo AFS	Areia	236,34 ± 49,60	155,27	329,79	20,96	-
	Silte	537,83 ± 73,48	384,37	622,62	13,66	-
	Argila	225,56 ± 32,00	196,46	285,84	14,19	-

Textura do Solo ACN		Areia	210,78 ± 20,80	185,87	244,94	9,86	-
		Silte	662,77 ± 66,55	514,22	759,87	10,04	-
		Argila	126,44 ± 56,89	54,26	253,31	44,99	-

D_s= densidade do solo, P_s= porosidade do solo, CO= carbono orgânico; MOS= matéria orgânica do solo; DP= desvio padrão; CV= coeficiente de variação; Valores médios diferem estatisticamente pelo teste Tukey; (**p<0,05).

Durante a estação chuvosa ocorreu uma intensa atividade microbiana do solo, caracterizada pelo maior ECO₂ no solo (Silva^a et al., 2016), os atributos do solo analisados contribuíram para esse processo, durante o período chuvoso na AFS o solo estava mais propício, pois o solo se apresentava menos denso (Figura 9.A), mais poroso (Figura 9.B) o que facilita o escape do CO₂ do solo. Na ACN o solo se apresentou mais denso (Figura 10.A), menos poroso (Figura 10.B) e como uma menor quantidade de carbono no solo em comparação a AFS. Porém durante o período seco, os atributos do solo em ambas as áreas se inverteram, os solos ficaram mais densos

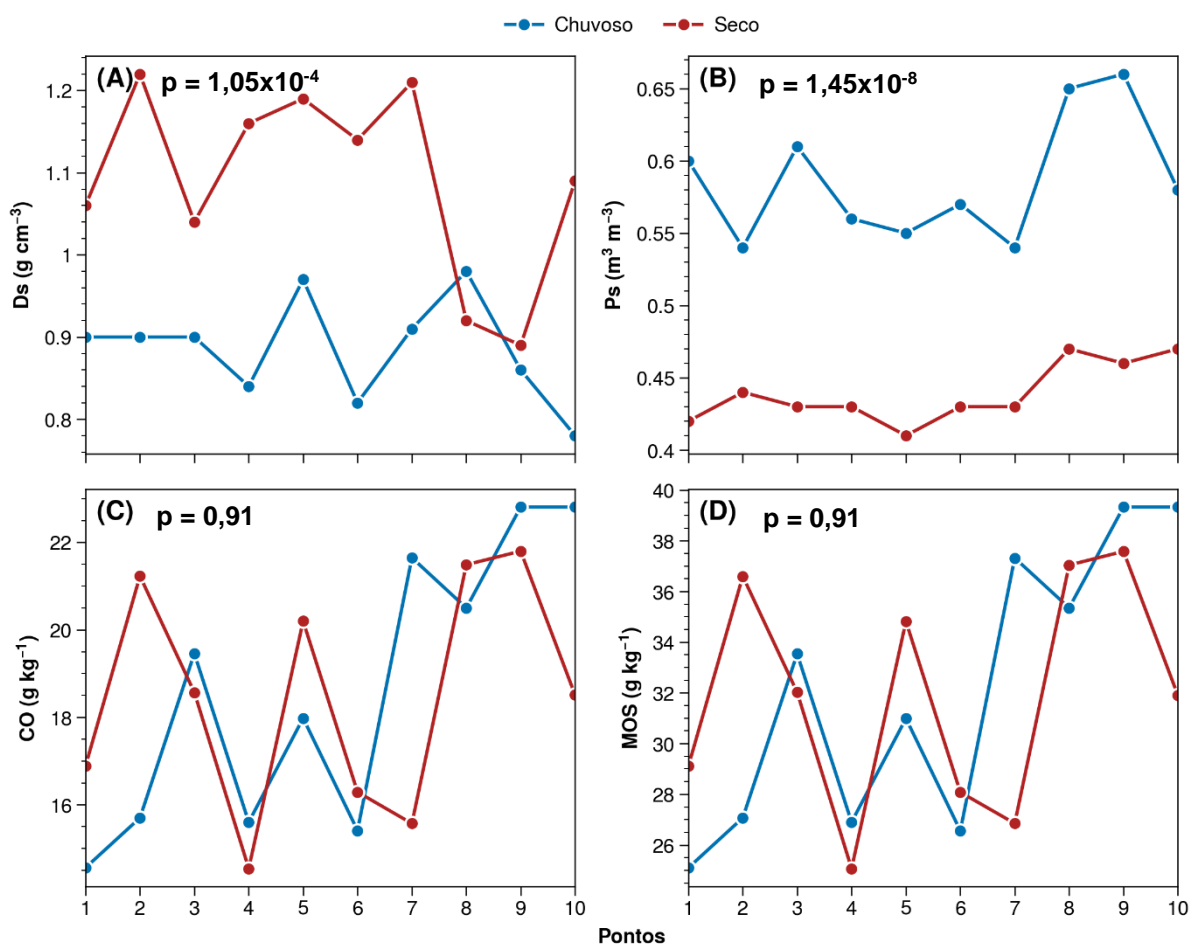


Figura 9. Variabilidade dos atributos do solo durante as diferentes estações do ano, densidade do solo (A), porosidade do solo (B) carbono orgânico do solo (C), matéria orgânica do solo na AFS.

e menos porosos. A Figura 9 (AFS) e Figura 10 (ACN) mostram a variabilidade dos atributos do solo nos 10 pontos de cada área de estudo.

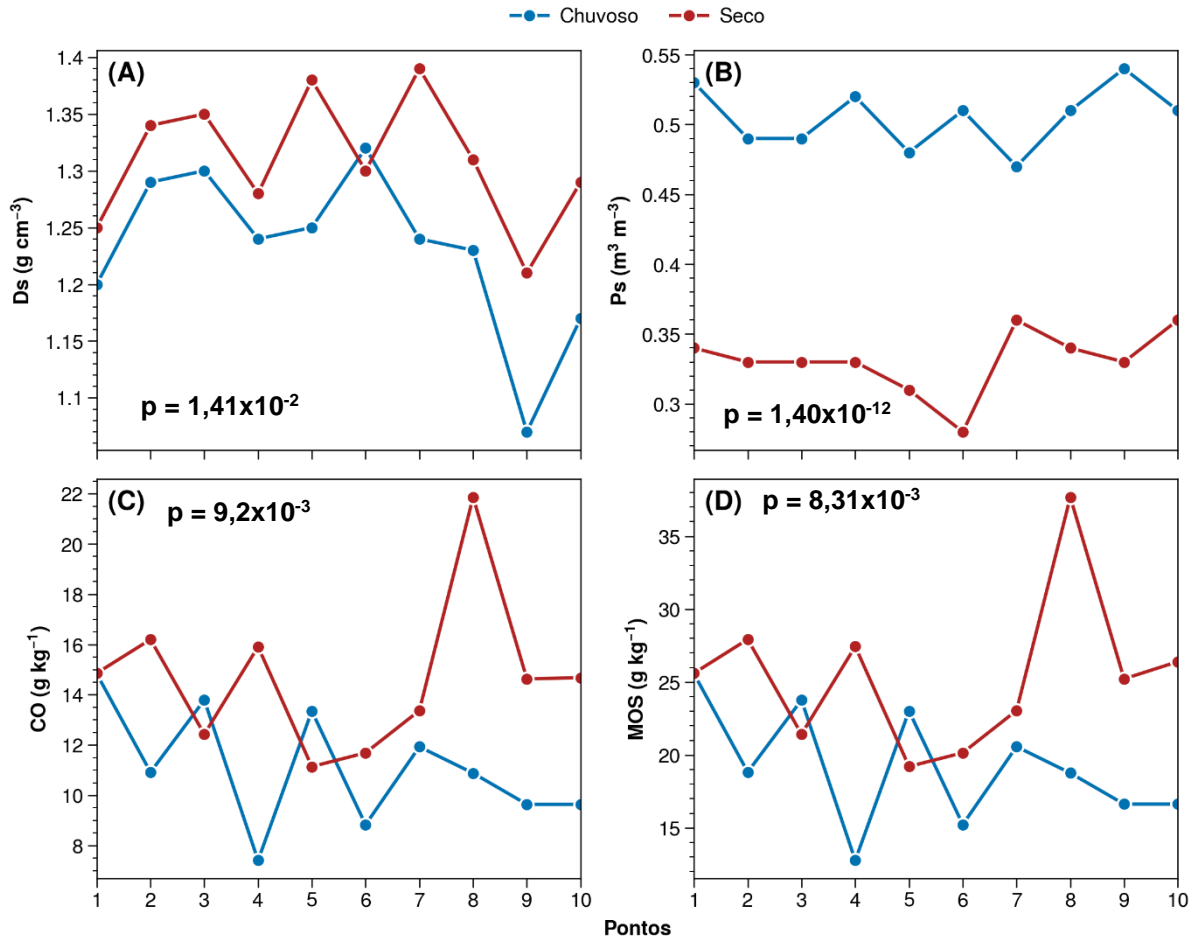


Figura 10. Variabilidade dos atributos do solo durante as diferentes estações do ano, densidade do solo (A), porosidade do solo (B) carbono orgânico do solo (C), matéria orgânica do solo na ACN.

Pode-se observar que os atributos do solo das AFS (Figura 9) e ACN (Figura 10) variam durante as diferentes estações do ano, a densidade do solo durante a estação seca é mais densa em relação a estação chuvosa, com exceção do ponto 8 que obtive comportamento invertido na AFS (Figura 9.A) em relação aos outros pontos na ACN (Figura 10.A), segundo Mantovanelli et al. (2015) o alto adensamento ocorre provavelmente devido aos altos teores de silte no solo, superiores ou proporcionais a soma da areia e argila o que promove o melhor agrupamento das partículas do solo, maior exposição do solo as ações de intemperismo, o que corrobora como os resultados encontrados visto que a ACN possuiu as densidades mais elevadas, essa área possui perturbações antrópicas com a utilização de trator em seus entorno o que colabora para

a compactação do solo e diminuição da porosidade, além de possuir alto teor de silte em comparação a AFS.

Durante a estação chuvosa os solos são mais porosos em relação ao período seco, nas duas áreas de estudo observa-se esse comportamento, tanto na AFS (Figura 9.B) quanto na ACN (Figura 10.B), segundo Mantovanelli et al. (2020) a porosidade é um indicador de compactação do solo, isto conseqüentemente gera a diminuição da porosidade (MANTOVANELLI et al., 2015), essa diminuição ocorreu entre a estação chuvosa para a estação seca devido provavelmente a compressão do solo durante a estação seca.

O carbono orgânico do solo variou entre as diferentes estações do ano, durante a estação chuvosa sua concentração foi menor e durante a estação seca sua concentração aumentou, para a AFS a queda da quantidade de carbono foi ligeiramente sutil, tanto que entre a estação chuvosa e seca não houve diferença estatística entre si (Figura 9.C), em contrapartida na ACN o aumento da concentração de carbono no solo foi mais acentuada e houve diferença estatística entre as diferentes estações (Figura 10.C), a matéria orgânica do solo cresceu da estação chuvosa para a seca, tendo o mesmo comportamento tanto para a AFS (Figura 9.D) quanto para a ACN (Figura 10.D).

A variabilidade do carbono orgânico e matéria orgânica nos 10 pontos foram grandes, ao passo que na AFS praticamente se mostrou constante entre as diferentes estações, provavelmente devido ao constante processo do ciclo de carbono (Silva^a et al., 2016) nessa área, sendo que os solos das florestas possuem grande heterogeneidade espacial (MORÉN & LINDROTH, 2000), colaborando para esse processo, tendo o menor impacto em relação ao aporte de carbono nessa área. Na ACN ocorreu um incremento de carbono durante a estação seca, o alto ECO_2 durante a estação chuvosa evidenciou uma intensa atividade microbiana do solo no sentido de fornecer nutrientes para o solo (MORÉN & LINDROTH, 2000), quantidade essa que foi verificada durante a estação seca na ACN, esse incremento de carbono nesta área pode ter ocorrido pelo fato de alguns pontos de coleta está próximo de árvores que colabora para a entrada de carbono no solo, visto que a queda natural de folhas das árvores influencia a atividade biológica do solo, principalmente a ciclagem biogeoquímica e a decomposição das folhas por organismos edáficos fornecendo matéria orgânica para o solo (LIRA-GUEDES et al., 2021). Segundo Silva et al. (2016^b) o aporte de carbono no solo controla o ECO_2 no solo, de modo direto devido a composição de espécies vegetais disposto no solo ou de modo indireto ao afetar o microclima de uma região.

A Figura 11 mostra a análise comparativa da umidade do solo por meio da série temporal entre as AFS e ACN ao longo de um ano, pode-se observar diferenças significativas entre as diferentes estações do ano por meio do gráfico boxplot, tanto a AFS (Figura 12.A) como a ACN (Figura 12.B) se mostraram estatisticamente diferentes entre as diferentes estações do ano.

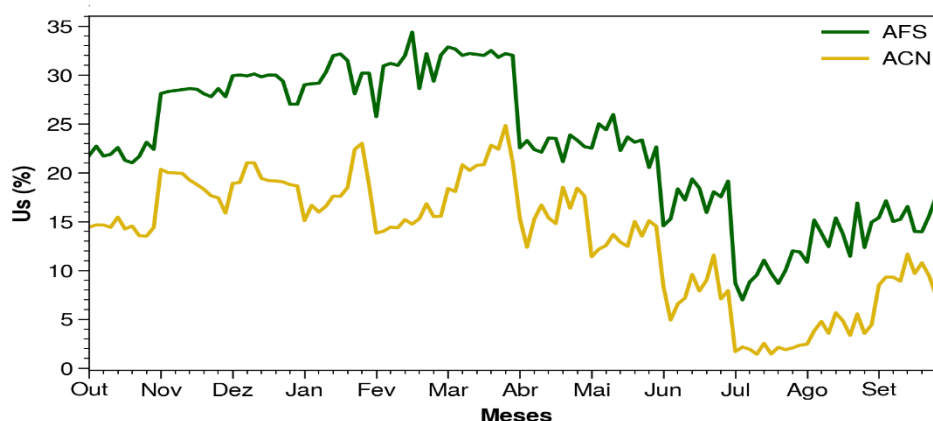


Figura 11. Série temporal da análise comparativa da umidade do solo durante as diferentes estações do ano nas AFS e ACN.

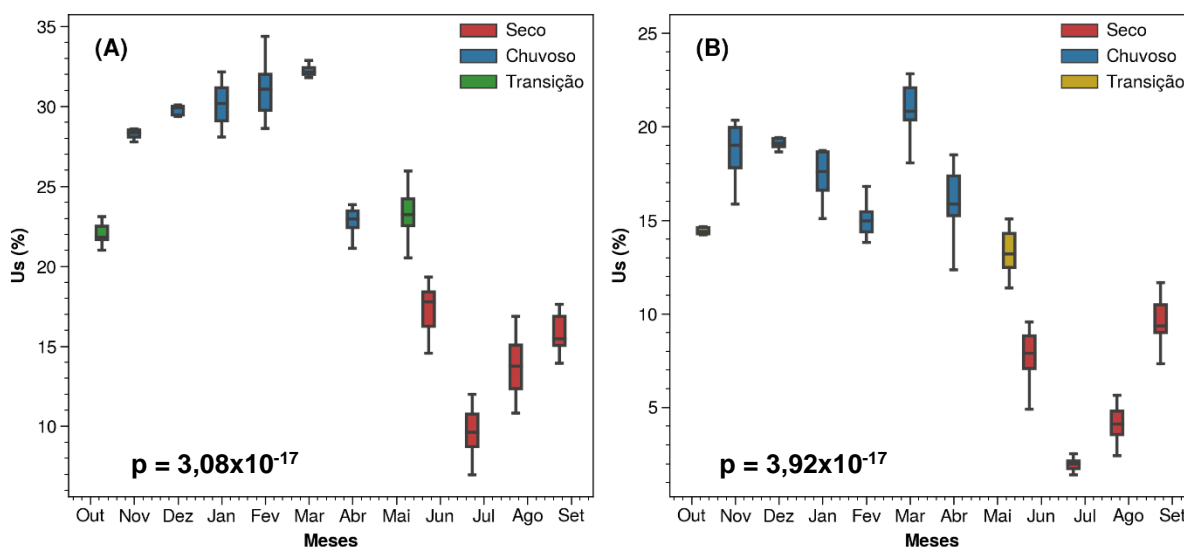


Figura 12. Boxplot da umidade do solo AFS (A) e umidade do solo ACN (B) durante as diferentes estações do ano.

Nos estudos realizados por Mantovanelli et al. (2020) na mesma região em áreas de campo natural e floresta nativa obtiveram resultados de umidade próxima da encontrada na presente pesquisa sendo 30% para a área de floresta nativa e 17% em área de campo natural durante o período chuvoso na região, corroborando com os resultados encontrados.

Tanto o solo de AFS quanto ACN perderam água para a atmosfera o que refletiu na menor quantidade de água, menor umidade, e menor atividade microbiana no solo durante a estação seca.

A umidade do solo na AFS é maior em relação a ACN, esse resultado é esperado visto que a AFS possui um solo rico em serapilheira e copas que protegem seus solos da incidência direta das radiações solares (SILVA et al., 2016^b), fazendo como que o solo perca uma menor quantidade de água para a atmosfera tendo um solo mais úmido (ARAÚJO et al., 2016; GOMES et al., 2021), o mesmo não ocorre nas ACN que possui seu solo mais exposto as radiações solares. Ao longo do ano a umidade do solo na AFS se mostrou superior em relação a ACN, porém a AFS sofreu perda da quantidade de água em seu solo por meio da evapotranspiração das folhas (LIRA-GUEDES et al. 2021), conforme observar-se na Figura 12.A (AFS) e 12.B (ACN) que houve uma queda significativa da umidade do solo nessa área entre a estação chuvosa e seca. Na ACN houve perda do quantitativo de água drasticamente entre as diferentes estações do ano, tendo valor mediano na estação seca de 5,59%, esse resultado é esperado, pois, trata-se de uma área como solos expostos devido a retirada de sua cobertura vegetal por meio de trator de forma constante, diante disso seu solo recebe de forma intensa a radiação solar.

A baixa taxa hídrica do solo principalmente durante o período seco pode diminuir a taxa de ECO_2 no solo (SHIBISTOVA et al., 2002), corroborando como os resultados encontrados durante a estação seca, onde observa-se diminuição na atividade microbiana do solo.

Segundo Lira-Guedes et al. (2021) em relação a umidade do solo afirmam que existe uma umidade ótima que favorece o escape das moléculas de gás CO_2 do solo em direção a atmosfera, na presente pesquisa o maior escape de CO_2 se deu a aproximadamente 29,5% de umidade durante a estação chuvosa na AFS.

A respiração do solo é governada por muitos fatores, onde a temperatura é um deles, a temperatura do solo afeta esse processo, pois, altera a população de microrganismos (LUI et al, 2016) e raízes de plantas presentes no solo (MORÉN & LINDROTH, 2000).

Em relação a temperatura superficial, pode-se observar que, de modo geral, os menores valores foram registrados durante o período noturno em relação ao período diurno tanto na AFS (Figura 13) quanto na ACN (Figura 14), pode-se notar diferença significativa entre a estação seca e chuvosa. Na AFS no mês de maio o período de

transição da estação chuvosa para a seca as temperaturas superficiais do período diurno e noturno se mostraram próximas.

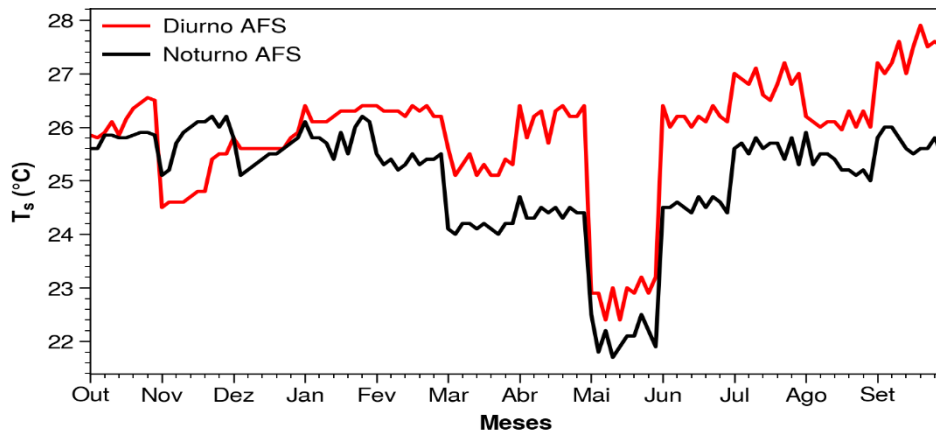


Figura 13. Série temporal da temperatura superficial durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na AFS.

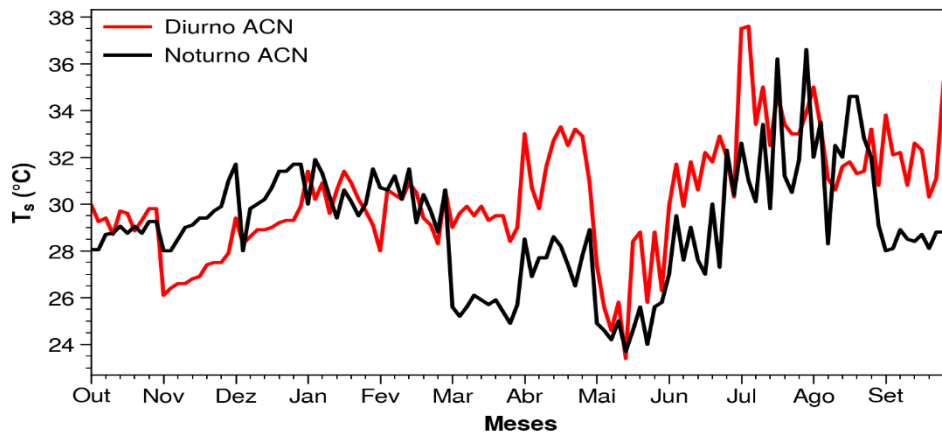


Figura 14. Série temporal da temperatura superficial durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACN.

Observa-se no gráfico boxplot da AFS para o período diurno (Figura 15.A) que os valores medianos são significativamente diferentes, mostrando-se diferentes estatisticamente entre si, porém durante o período noturno (Figura 15.B) os valores medianos são bem próximos, mostrando-se estatisticamente iguais.

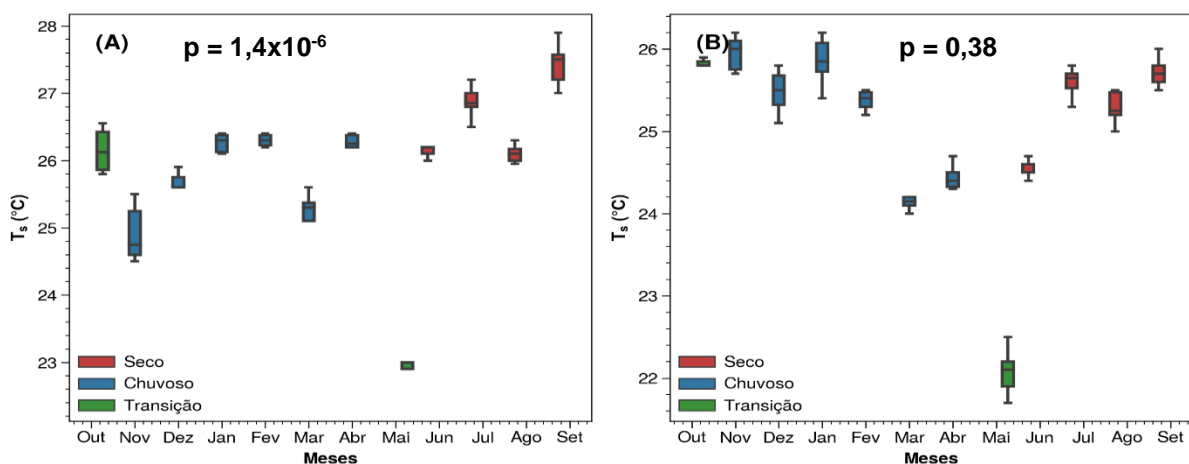


Figura 15. Boxplot da temperatura superficial durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na AFS.

Observa-se no gráfico boxplot da ACN para o período diurno (Figura 16.A) que os valores medianos são significativamente diferentes, tanto para o período diurno como para o período noturno (Figura 16.B), mostrando-se estatisticamente diferentes entre si.

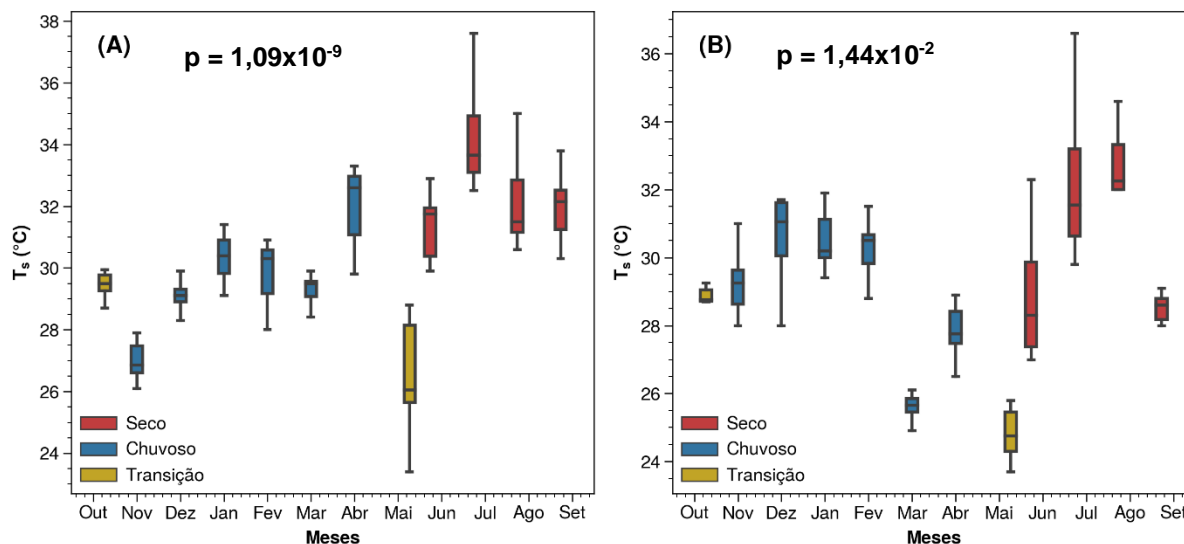


Figura 16. Boxplot da temperatura superficial durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACN.

Em relação a temperatura 5cm de profundidade do solo pode-se observar que são em geral menores durante o período noturno em relação ao período diurno tanto na AFS (Figura 17) quanto na ACN (Figura 18), pode-se notar diferença significativa entre a estação seca e chuvosa durante o período diurno na AFS (Figura 19.A), durante o período noturno a diferença é menos significativa (Figura 19.B), sendo desse modo a temperatura a 5cm de profundidade estatisticamente diferente durante o período diurno e durante o período noturno estatisticamente iguais entre si, tendo pouca variabilidade entre as diferentes estações do ano. Nota-se que durante o período noturno na AFS, a estação chuvosa registrou valor mediano maior a temperatura a 5cm e durante a estação seca valor mediano menor, em contraste como o que se costuma observar. Na série temporal da AFS (Figura 17) observa-se que durante o período de transição no mês de maio a temperatura a 5cm de profundidade do solo tiveram valores bem próximas entre os períodos diurnos e noturnos.

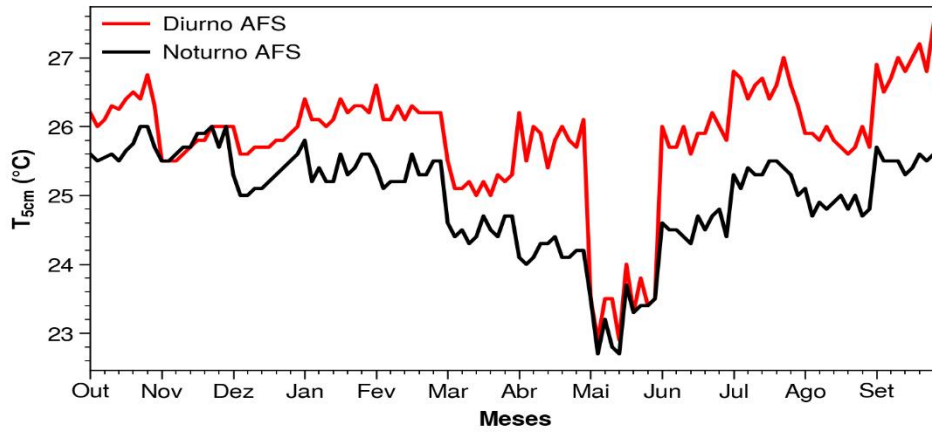


Figura 17. Série temporal da temperatura a 5cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na AFS.

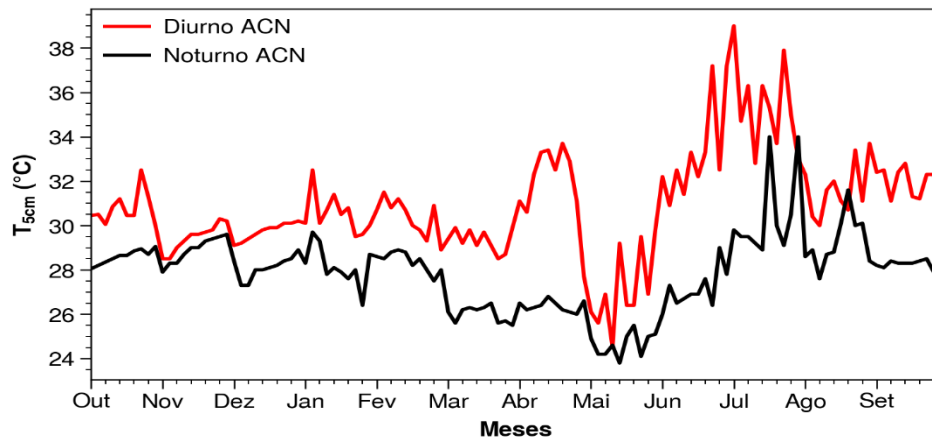


Figura 18. Série temporal da temperatura a 5cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACN.

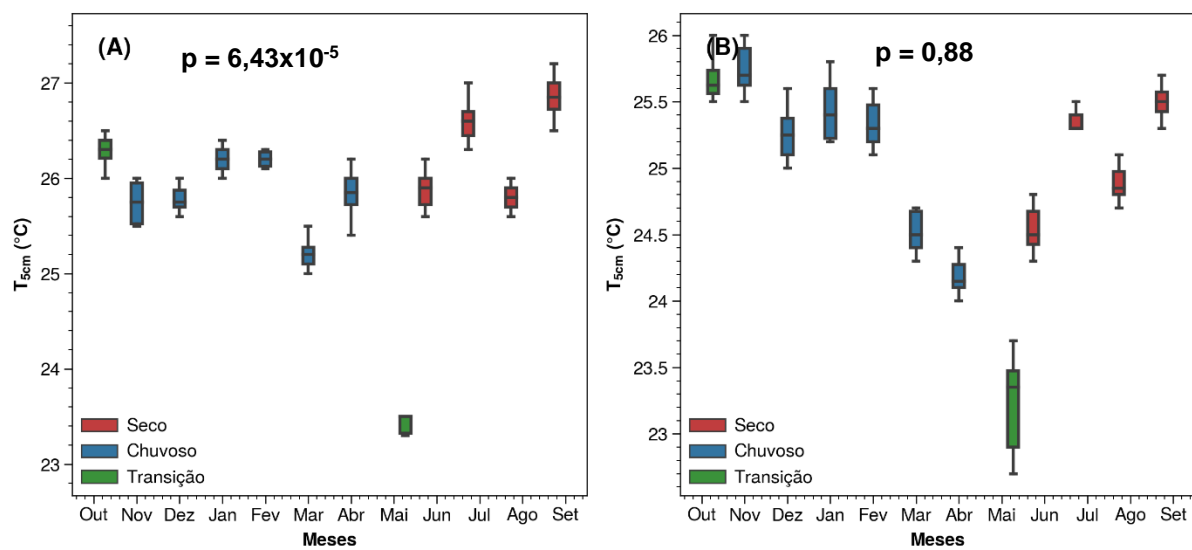


Figura 19. Boxplot da temperatura a 5cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na AFS.

Ocorreu uma alta variabilidade da temperatura a 5cm de profundidade no solo na ACN, devido provavelmente ao seu solo exposto. Durante o período diurno (Figura 20.A) e noturno (Figura 20.B) os valores medianos foram significativamente diferentes, havendo diferença estatística nos dois períodos nessa área.

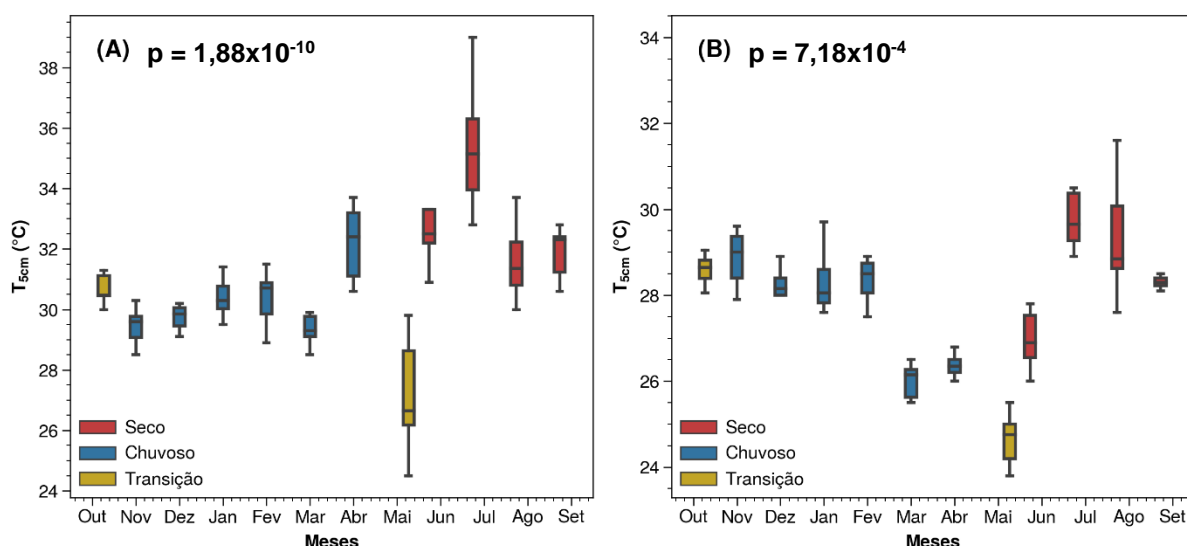


Figura 20. Boxplot da temperatura a 5cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACN.

Para a temperatura a 10cm de profundidade do solo mostrou-se similar ao comportamento da temperatura a 5cm, durante o período noturno as temperaturas se mostram mais amenas em relação ao período diurno nas duas áreas, AFS (Figura 21) e ACN (Figura 22). Pode-se notar diferença significativa entre os valores medianos durante a estação seca e chuvosa durante o período diurno (Figura 23.A), sendo estaticamente diferentes entre si. Durante o período noturno na AFS os valores medianos tiveram uma diferença levemente sutil, sendo estatisticamente iguais entre si (Figura 23.B). Na AFS entre os meses de maio a junho período de transição da estação entre chuvosa e seca as temperaturas 10cm de profundidade do período diurno e noturno se mostraram próximas. Nota-se que durante o período noturno na AFS, a estação chuvosa registrou valor mediano maior a temperatura a 10cm e durante a estação seca valor mediano menor, em contraste como o que se costuma observar. A variabilidade temporal da temperatura a 10 cm de profundidade entre o período diurno e noturno são baixas na AFS.

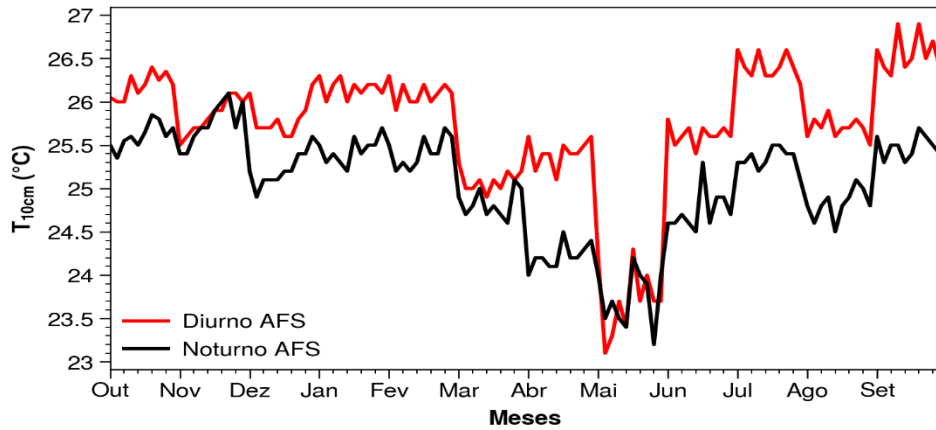


Figura 21. Série temporal da temperatura a 10cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na AFS.

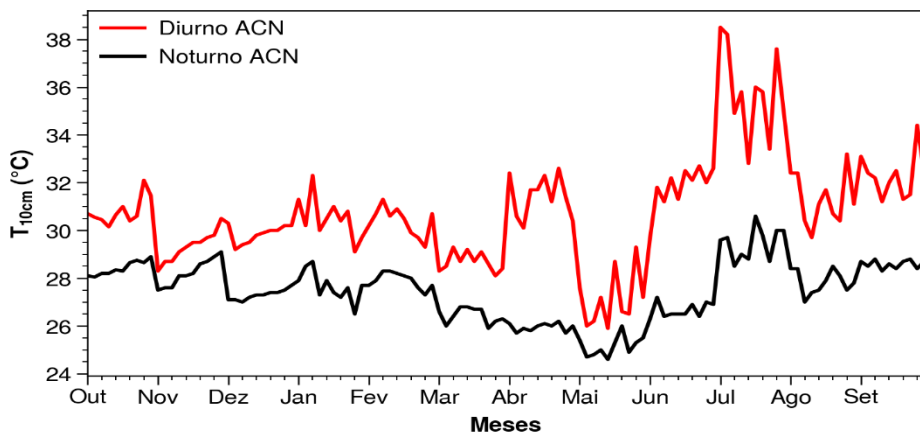


Figura 22. Série temporal da temperatura a 10cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACN.

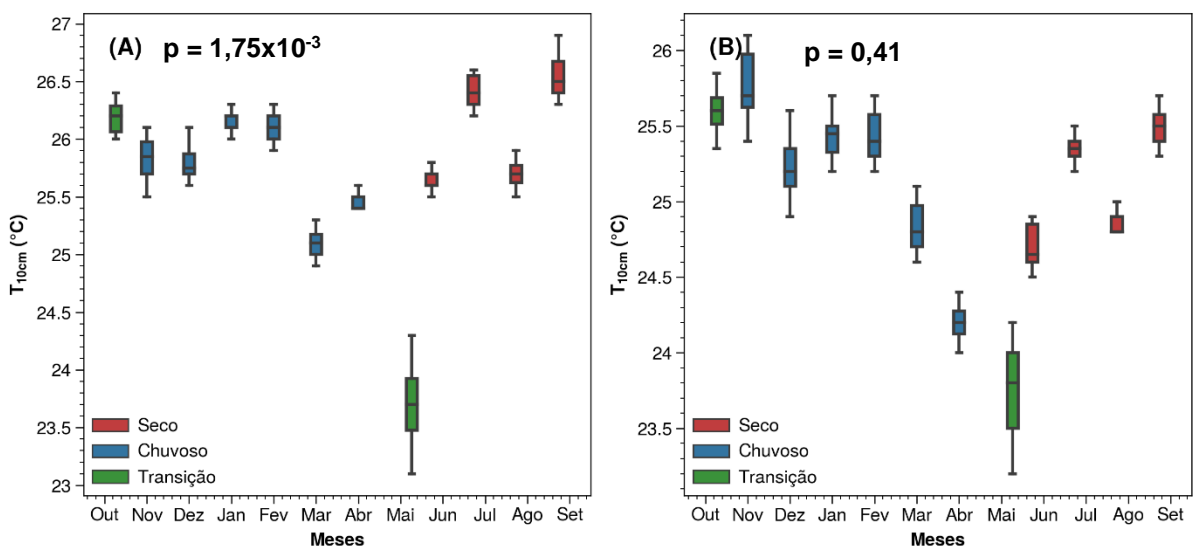


Figura 23. Boxplot da temperatura a 10cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na AFS.

A temperatura a 10cm de profundidade do solo na ACN durante o período noturno mostram-se mais amenas em relação ao período diurno nas duas áreas. Pode-se notar diferença significativa entre os valores medianos durante a estação seca e chuvosa durante o período diurno (Figura 24.A) e noturno (Figura 24.B), sendo estaticamente diferentes entre si para os dois períodos.

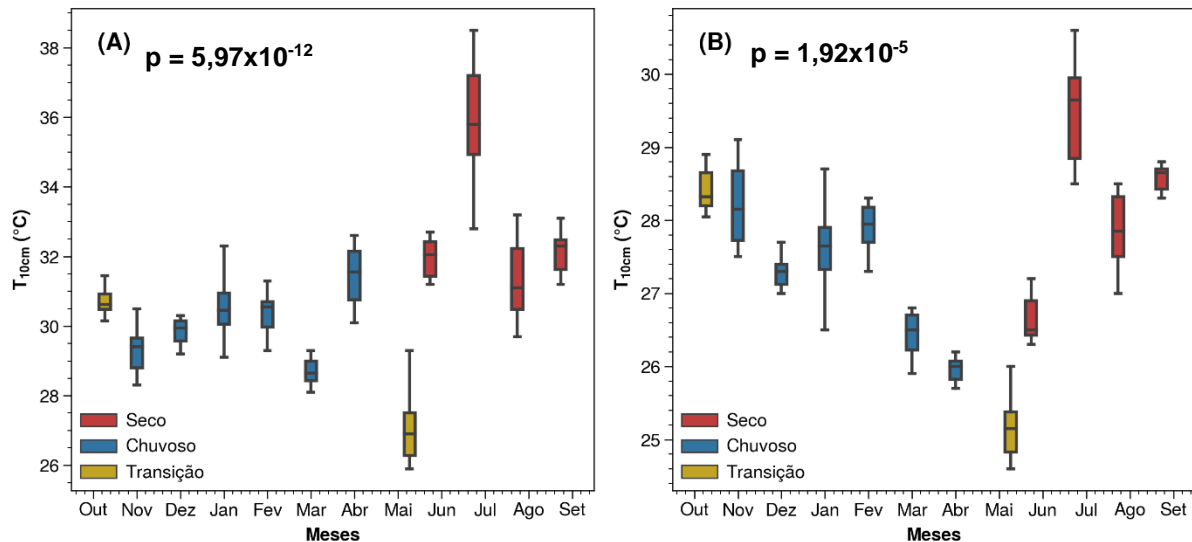


Figura 24. Boxplot da temperatura a 10cm de profundidade do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACN.

A temperatura do solo variou entre as diferentes profundidades, na AFS durante a estação chuvosa/período diurno os maiores valores medianos foram registrados a 5cm de profundidade e durante a estação seca/período diurno na superfície do solo. Na ACN ao longo das diferentes estações os maiores valores medianos foram registrados a profundidade de 10cm corroborando com Marén e Lindroth (2000). Durante o período noturno tanto na AFS como na ACN nos diferentes períodos os maiores valores medianos foram registrados na superfície do solo. Após a aplicação do coeficiente de correlação de postos de Spearman (ρ) nas duas áreas de estudo (AFS e ACN), durante dois períodos (diurno e noturno) e nas diferentes estações (chuvosa e seca) do ano, observou-se que, na AFS durante o período diurno/chuvosa (Figura 25.A) ocorreu correlação significativa entre ECO_2 e T_s , para a AFS durante o período noturno/chuvosa (Figura 25.B) o ECO_2 possuiu correlação significativa com a T_s , T_{5cm} e T_{10cm} . Durante o período diurno/seca na AFS (Figura 25.C), não ocorreu correlação significativa entre o ECO_2 as variáveis, durante o período noturno/seca (Figura 25.D) não ocorreu correlação significativa entre o ECO_2 e as variáveis.

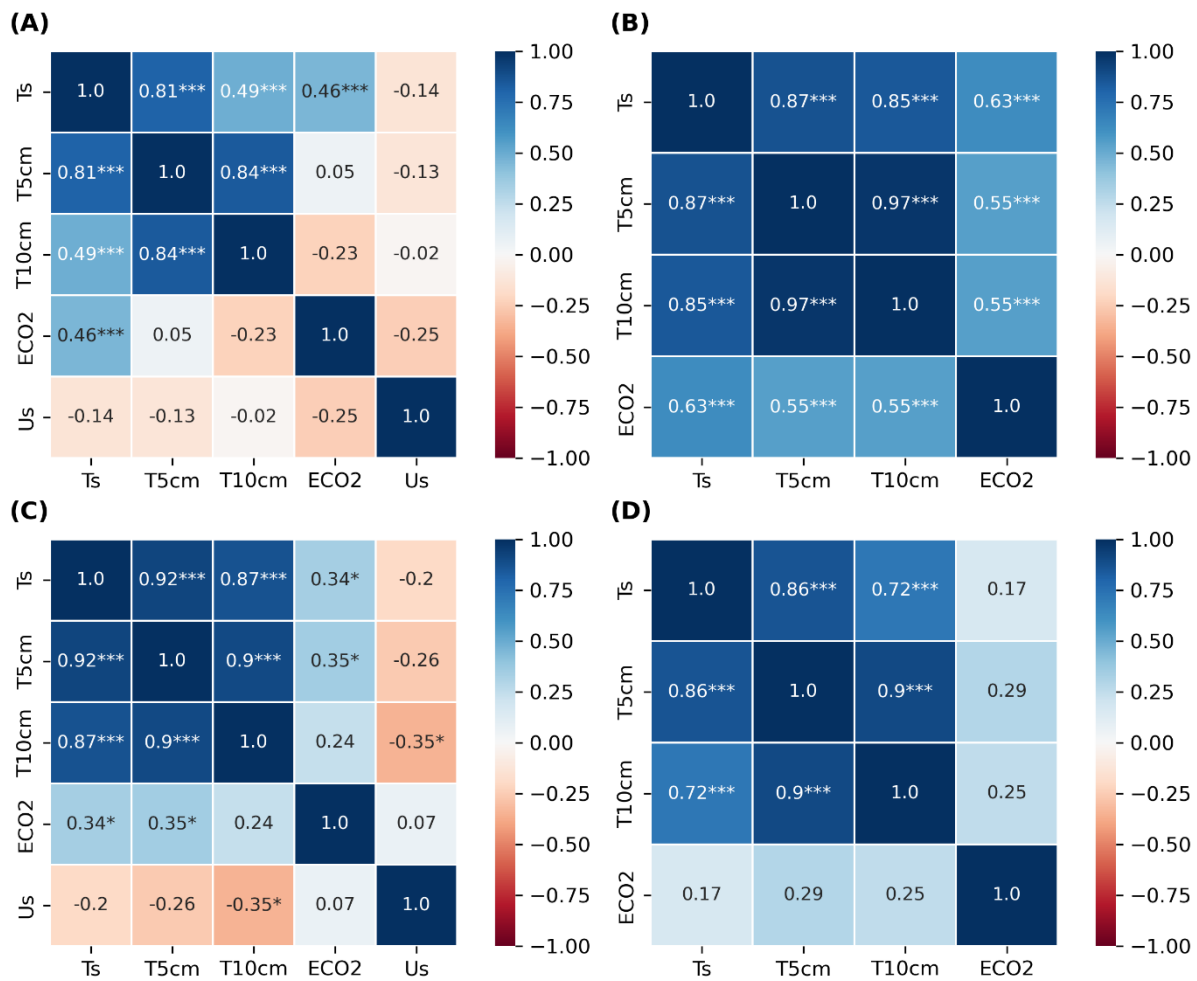


Figura 25. Correlação de Spearman (ρ) entre as cinco variáveis durante o período diurno e noturno, durante a estação chuvoso e seca na região de Humaitá, AM, Brasil; A – AFS diurno/chuvoso; B – AFS noturno/chuvoso; C – AFS diurno/seco; D – AFS noturno/seco.

Observou-se que após a aplicação da correlação de Spearman, na ACN durante o período diurno/chuvosa (Figura 26.A) ocorreu correlação significativa entre ECO_2 e a T_s e $T_{10\text{cm}}$, para a ACN durante o período noturno/chuvosa (Figura 26.B) o ECO_2 não possuiu correlação significativa com as variáveis. Durante o período diurno/seca na ACN (Figura 26.C), não ocorreu correlação significativa entre o ECO_2 e as variáveis, durante o período noturno/seca (Figura 26.D) não ocorreu correlação significativa entre ECO_2 e as variáveis.

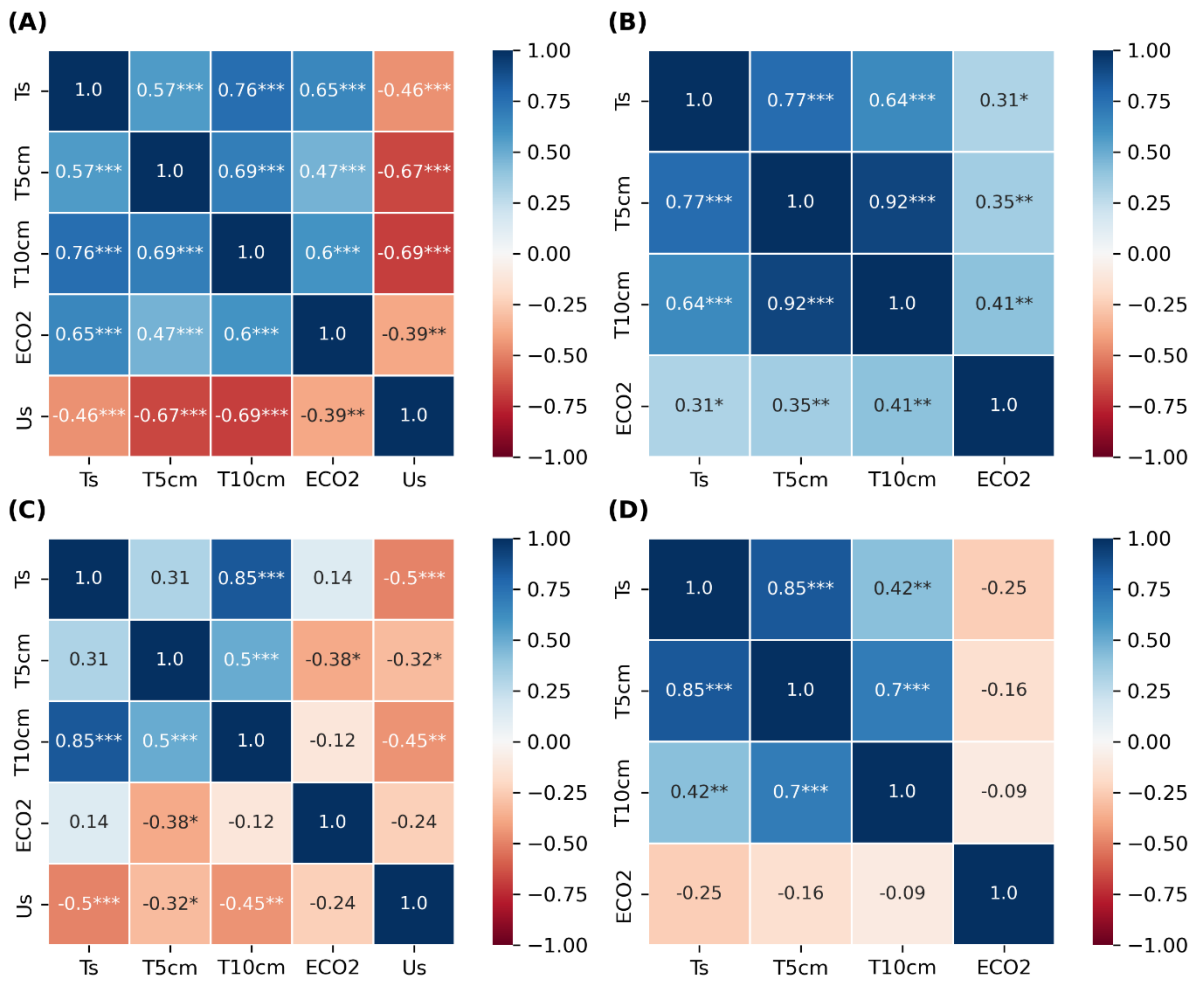


Figura 26. Correlação de Spearman (ρ) entre as cinco variáveis durante o período diurno e noturno, durante a estação chuvoso e seca na região de Humaitá, AM, Brasil; A – ACN diurno/chuvoso; B – ACN noturno/chuvoso; C – ACN diurno/seco; D – ACN noturno/seco.

Entre as variáveis que foram analisadas mensalmente ao longo de um ano e correlaciona-las com o processo de ECO_2 não foi possível atribuir esse processo a somente uma dessas variáveis, esses resultados mostram-se coerentes visto que a metodologia empregada para quantificar o ECO_2 é extremamente sensível as mudanças ocorridas no solo não tendo portanto uma linearidade nesse processo, mas uma variabilidade de acordo com as mudanças sofridas no meio, quando se utiliza equipamentos para realizar a mensuração é possível verificar correlações significativas entre as variáveis.

Tendo em vista que as ações antrópicas podem trazer alterações na cobertura vegetal do solo, reduzindo-a e, por consequência reduzindo o sequestro de carbono da atmosfera, como também o estoque de carbono no solo, os resultados dessa pesquisa sugere que sejam tomadas medidas que busquem a preservação de florestas secundárias bem como de áreas nativas e recuperação de áreas degradadas, de forma a colaborar na conservação do bioma Amazônico e mitigar a emissão de CO₂ para a atmosfera, reduzindo as consequências do efeito estufa para o meio ambiente e social.

4.2. Análise temporal do efluxo de CO₂ no solo nas ACC e ACA e os fatores que o influenciam

A estatística descritiva dos dados das variáveis do solo analisados mensalmente durante o período diurno e noturno, durante um ano são apresentadas na Tabela 3, é visível a variabilidade nas duas áreas de estudo o que influencia o processo de ECO₂ no solo. Os dados das variáveis analisados na Tabela 3 foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, os dados não apresentaram uma distribuição normal, tendo, portanto, dados não-paramétricos.

Foi realizada a análise não-paramétrica de comparação de Kruskal-Wallis, observou-se que nem todas as variáveis analisadas em função da estação chuvosa e seca durante os períodos diurno e noturno apresentaram diferença estatística, essa diferença estatística foi verificada através do valor de p de cada variável, uma vez que foram menores que o valor significativo estabelecido de 5%, rejeitando desse modo a hipótese nula, posteriormente foi utilizado o teste de *post-hoc* de Dunn para comparações múltiplas, mostrou-se que nem todas as variáveis referentes ao período diurno apresentaram diferença estatística entre as estações chuvosa e seca, a T_{5cm}, T_{10cm} e ECO₂ da ACC se mostraram estaticamente iguais. Durante o período noturno a T_s e T_{5cm} da ACA se mostram estatisticamente iguais entre si (Tabela 3), tendo essas variáveis sofrido pouca flutuação ao longo do ano.

As médias das taxas de ECO₂ para a ACC foram de 1,79 μmol m⁻² s⁻¹ e para ACA foram de 1,84 μmol m⁻² s⁻¹ dentro de 24hrs de experimento durante a estação chuvosa na região, já durante estação seca para a ACC foram de 1,60 μmol m⁻² s⁻¹ e para ACA foram de 1,52 μmol m⁻² s⁻¹, ocorrendo uma redução na atividade microbiana no solo durante o período seco de 10,61% para ACC e 17,39% para a ACA. Desse modo, pode-se verificar que a área que mais emitiu CO₂ do solo para a atmosfera foi a ACC (3,39 μmol m⁻² s⁻¹) e a que menos emitiu foi a ACA (3,36 μmol m⁻² s⁻¹) entre o interstício de

um ano, porém observa-se que os efluxos das duas áreas cultivadas foram bastante próximos. A ACC possui um solo rico em folhas que caíram de seu cultivo e se encontram em decomposição o que provavelmente se deve a alta emissão de CO₂ do solo para a atmosfera, evidenciado pela alta concentração de carbono orgânico e matéria orgânica nessa área quando comparada a ACA, corroborando com Morén & Lindroth (2000) e Shibistova et al. (2002) que afirmam que locais com coberturas vegetais mais densos apresentam uma maior taxa de ECO₂ em comparação a locais como vegetação mais esparsas, isso é evidenciado, visto que a ACC possui seus cultivos mais próximos um do outro, enquanto na ACA seus cultivos se encontram mais esparsos, como pode-se observar no mapa de localização na Figura 3.

O maior valor mediano em relação ao ECO₂ foi encontrado na ACC durante o período noturno na estação chuvosa (1,41 μmol m⁻² s⁻¹) e o menor valor mediano foi encontrado na ACA durante o período diurno na estação seca (0,36 μmol m⁻² s⁻¹).

Tabela 3. Estatística descritiva da temperatura superficial (°C), temperatura a 5 cm de profundidade (°C), temperatura a 10 cm de profundidade do solo, umidade do solo (%) e efluxo de CO₂ (μmol m⁻² s⁻¹) durante o período diurno e noturno, para estação chuvosa e seca entre setembro/2021 e outubro/2022 em área de cultivo de café e cultivo de açaí na região de Humaitá, AM, Brasil.

Variável	Estação	Período Diurno		Valor de p
		Média ± DP	Mediana ± AI	
T _S ACC	Chuvosa	27,25 ± 0,95	27,20 ± 1,00	2,68 x 10 ^{-2**}
	Seca	25,34 ± 1,74	26,05 ± 3,43	
T _S ACA	Chuvosa	28,83 ± 1,20	28,80 ± 1,48	1,69 x 10 ^{-3**}
	Seca	30,34 ± 5,90	30,20 ± 10,23	
T _{5cm} ACC	Chuvosa	27,01 ± 0,71	26,90 ± 0,84	0,96
	Seca	25,06 ± 1,25	25,60 ± 2,18	
T _{5cm} ACA	Chuvosa	27,62 ± 0,75	27,40 ± 0,84	1,81 x 10 ^{-3**}
	Seca	27,75 ± 3,59	27,43 ± 6,48	
T _{10cm} ACC	Chuvosa	26,99 ± 0,68	26,83 ± 0,88	0,52
	Seca	25,28 ± 1,09	25,65 ± 2,18	
T _{10cm} ACA	Chuvosa	27,32 ± 0,77	27,08 ± 0,70	1,47 x 10 ^{-3**}
	Seca	26,62 ± 2,18	26,65 ± 4,23	
U _S ACC	Chuvosa	19,57 ± 2,72	19,32 ± 2,78	3,85 x 10 ^{-15**}
	Seca	8,56 ± 5,45	5,61 ± 10,06	
U _S ACA	Chuvosa	17,72 ± 2,99	17,81 ± 3,97	5,39 x 10 ^{-16**}
	Seca	7,09 ± 4,61	5,32 ± 9,10	
ECO ₂ ACC	Chuvosa	1,20 ± 0,39	0,60 ± 0,08	0,065
	Seca	1,23 ± 0,13	0,39 ± 0,05	
ECO ₂ ACA	Chuvosa	1,22 ± 0,25	0,61 ± 0,08	1,25 x 10 ^{-3**}
	Seca	1,16 ± 0,10	0,36 ± 0,04	
Variável	Estação	Período Noturno		Valor de p
		Média ± DP	Mediana ± AI	

T _S ACC	Chuvosa	28,25 ± 2,01	28,70 ± 1,40	7,75 x 10 ^{-8**}
	Seca	28,72 ± 3,45	28,30 ± 5,70	
T _S ACA	Chuvosa	26,68 ± 0,97	28,68 ± 1,51	0,055
	Seca	29,49 ± 3,99	29,40 ± 5,90	
T _{5cm} ACC	Chuvosa	28,72 ± 2,12	29,05 ± 1,94	1,79 x 10 ^{-13**}
	Seca	28,68 ± 3,44	28,55 ± 4,90	
T _{5cm} ACA	Chuvosa	29,74 ± 0,70	29,70 ± 1,01	0,98
	Seca	30,01 ± 3,65	30,35 ± 5,60	
T _{10cm} ACC	Chuvosa	28,55 ± 2,08	28,80 ± 2,25	3,17 x 10 ^{-12**}
	Seca	28,29 ± 3,04	28,30 ± 4,53	
T _{10cm} ACA	Chuvosa	29,62 ± 1,04	29,80 ± 1,06	9,46 x 10 ^{-3**}
	Seca	29,93 ± 3,21	30,65 ± 5,10	
ECO ₂ ACC	Chuvosa	0,59 ± 0,08	1,41 ± 0,69	2,18x10 ^{-16**}
	Seca	0,37 ± 0,04	1,25 ± 0,14	
ECO ₂ ACA	Chuvosa	0,62 ± 0,07	1,30 ± 0,33	3,18 x 10 ^{-17**}
	Seca	0,36 ± 0,03	1,16 ± 0,14	

T_S= temperatura superficial, T_{5cm}= temperatura 5 cm de profundidade, T_{10cm}= temperatura 10 cm de profundidade; U_S= umidade do solo; ECO₂= efluxo de dióxido de carbono; DP= desvio padrão; AI= amplitude interquartil; Valores medianos diferem estatisticamente pelo teste post-hoc de Dunn (**p<0,05).

A temperatura do solo influencia o processo de ECO₂, mas a umidade do solo é determinante, pois, vem ser o fator limitante da atividade microbiana no solo (SILVA et al., 2019), desse modo, a ACC foi a que obteve maior umidade do solo durante a estação chuvosa e as menores temperaturas, emitindo mais CO₂ na interface solo-atmosfera, em contrapartida a ACA obteve a menor umidade e as maiores temperaturas do solo durante a estação chuvosa quando comparada a ACC, emitindo menos CO₂ para a atmosfera, durante a estação chuvosa e seca.

Os dados do ECO₂ obtidos experimentalmente entre outubro de 2021 a setembro de 2022 permitem verificar a variabilidade temporal nas ACC (Figura 27) e na ACA (Figura 28), pode-se observar a alta variabilidade temporal, principalmente entre as diferentes estações do ano nas duas áreas. Durante a estação chuvosa ocorreu maior produção de ECO₂ no solo e durante a estação seca ocorreu a redução da atividade microbiana.

Na Figura 27 na ACC observou-se que no mês de novembro o ECO₂ diurno e noturno se igualou e em abril o ECO₂ diurno se aproximou ao do período noturno, o mesmo observou-se na ACA (Figura 28) no mês de abril um comportamento atípico na análise da variabilidade ao longo do tempo, visto que o ECO₂ durante o período noturno se mostra superior ao do período diurno de modo acentuado e significativo ao longo de um ano, isso ocorreu provavelmente a saturação da solução alcalina, uma limitação da metodologia.

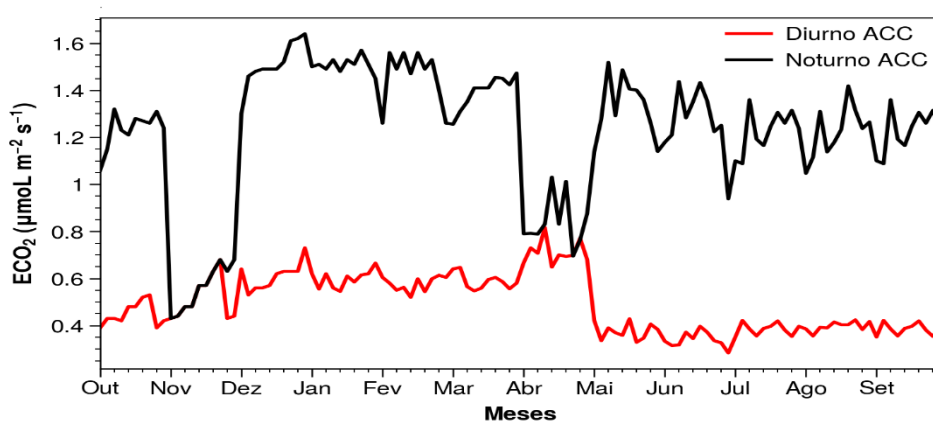


Figura 27. Série temporal do efluxo de CO₂ no solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACC.

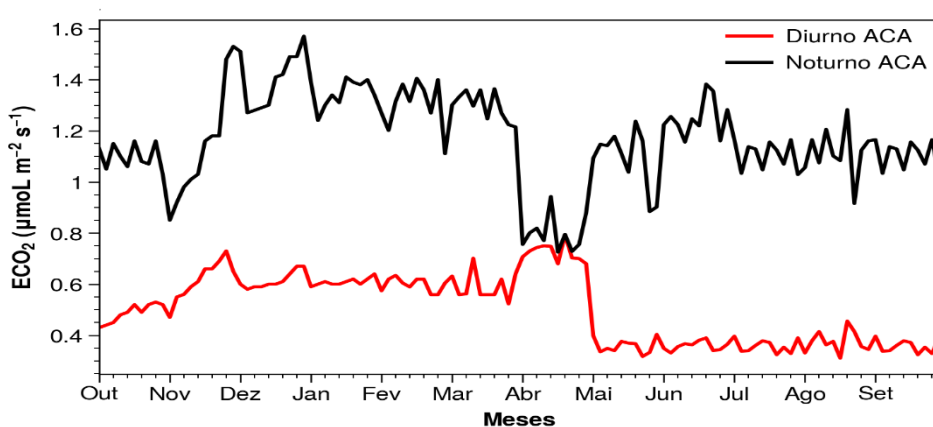


Figura 28. Série temporal do efluxo de CO₂ no solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACA.

A diferença do ECO₂ diurno entre a estação chuvosa e seca é acentuada e a diferença do ECO₂ noturno entre as diferentes estações do ano é sutil, na ACC as medianas do período diurno (Figura 29.A) se mostram estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Dunn, para o período noturno (Figura 29.B) se mostram estatisticamente iguais.

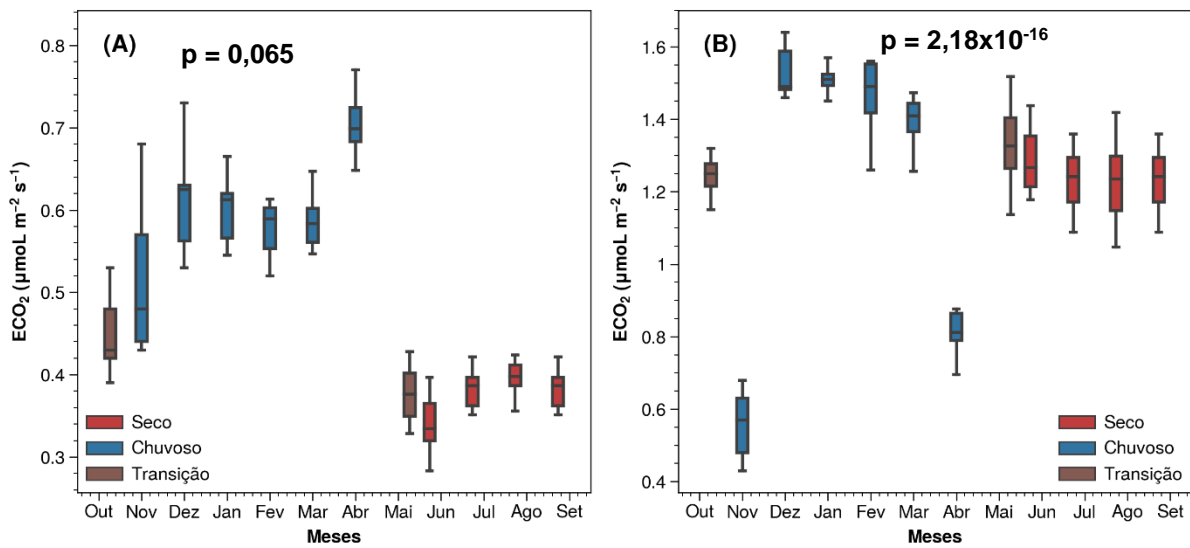


Figura 29. Boxplot do efluxo de CO₂ no solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACC.

Na ACA tanto durante o período diurno (Figura 30.A) como durante o período noturno (Figura 30.B) as medianas se mostraram estatisticamente diferente.

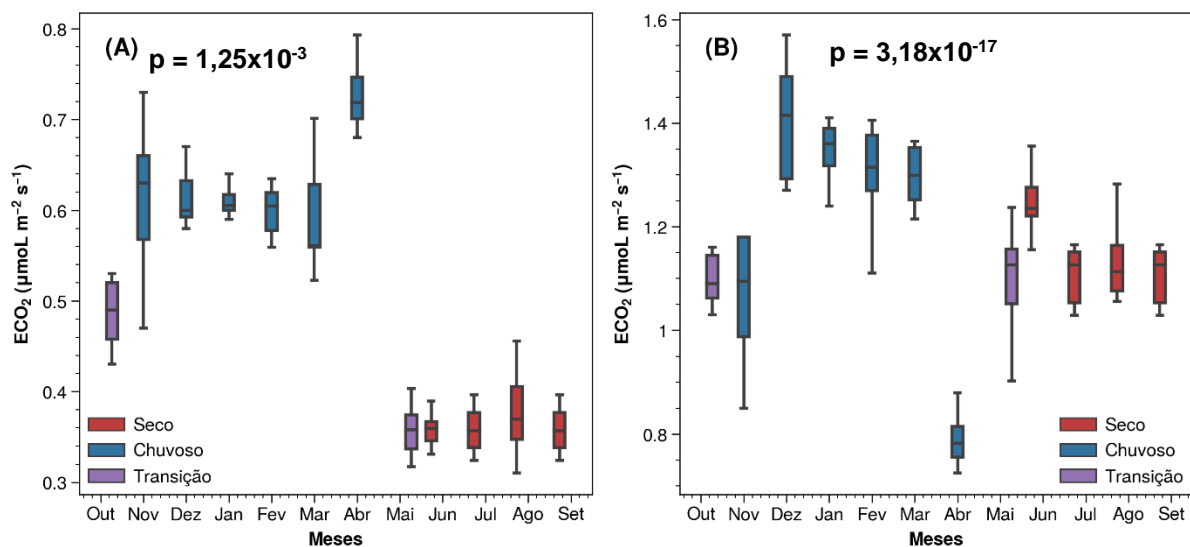


Figura 30. Boxplot do efluxo de CO₂ no solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACA.

Em ambos, o ECO₂ é maior durante o período noturno em comparação ao período diurno (ALVES et al., 2006; ARAÚJO et al., 2013; DARENOVA et al., 2014; HOLANDA et al., 2015; ARAÚJO et al., 2016) corroborando como os resultados encontrados, fato provavelmente relacionado as baixas temperaturas durante o período noturno o que pode levar ao aumento da umidade relativa, propiciando desse modo uma maior atividade microbiana do solo (ALVES et al., 2006). Segundo Morén & Lindroth (2000), isso ocorre devido a absorção fotossintética pela vegetação durante o dia reduzindo a

emissão e durante a noite ocorre a respiração radicular, aumentando desse modo a emissão de CO₂ para a atmosfera durante o período noturno.

Pode-se observar que o ECO₂ é maior durante a estação chuvosa/período noturno tanto na ACC (Figura 29.B) quanto na ACA (Figura 30.B), durante a estação seca/período diurno o ECO₂ é menor para as duas áreas de cultivo (Figura 29.A/30.A). Darenova et al. (2014) ressalta que durante a estação chuvosa os valores de ECO₂ podem ser subestimados devido as chuvas, pois, criam-se barreiras físicas no solo que impede o escape do CO₂ do solo para a atmosfera, além de reduzir a aeração do solo (JOO et al., 2012).

A alta taxa de ECO₂ na ACC durante o período chuvoso provavelmente se deve a acelerada decomposição dos resíduos orgânicos presente no solo (ARAÚJO et al., 2016) como as folhas que caem de seu cultivo, isso propicia a atividade microbiana no solo, durante a estação chuvosa ocorre um maior incremento de carbono no solo (GOMES et al., 2021), isso foi evidenciado na ACC com um incremento de 15,70% de carbono orgânico e matéria orgânica durante a estação chuvosa em relação a estação seca na região Amazônica. Em contraste a isto durante a estação seca ocorreu um incremento na quantidade de carbono orgânico e matéria orgânica no solo na ACA com o incremento de 12,92% de carbono e matéria orgânica no solo. Na ACC o carbono orgânico e a matéria orgânica se diferenciaram estatisticamente entre as diferentes estações do ano pelo teste de Tukey, já a ACA o carbono orgânico e a matéria orgânica do solo se mostram estatisticamente iguais entre as diferentes estações ao longo de um ano de análise (Tabela 4).

O fato do maior incremento de carbono no solo na ACA ocorrer durante a estação seca, provavelmente se deve a intensa atividade microbiana do solo durante a estação chuvosa evidenciada pela alta emissão de CO₂, onde seu aporte final de carbono foi possível quantificar somente durante o período seca.

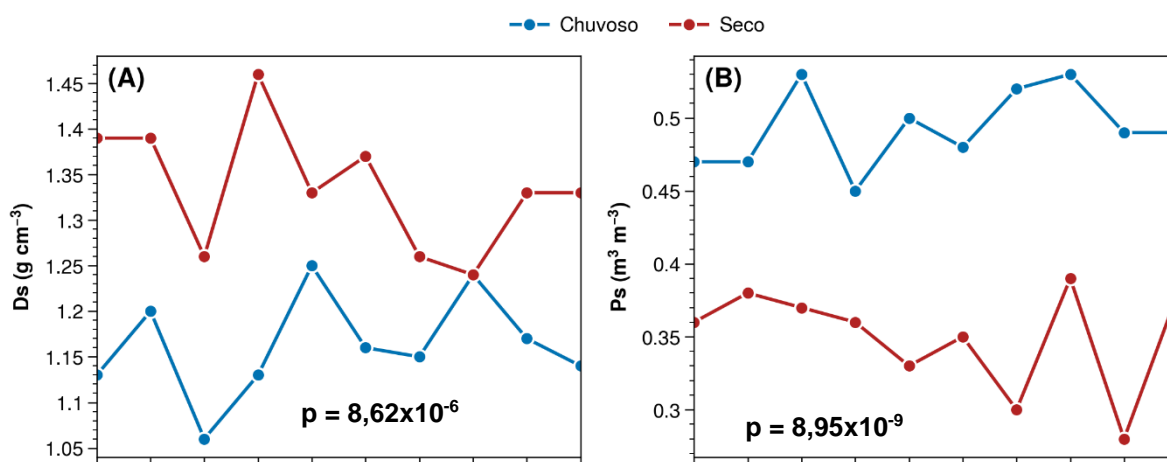
Tabela 4. Estatística descritiva da densidade do solo (g cm⁻³), porosidade do solo (m⁻³ m⁻³), carbono orgânico do solo (g kg⁻¹), matéria orgânica do solo (g kg⁻¹) e textura solo (g kg⁻¹) durante a estação chuvosa e seco em área de cultivo de café e cultivo de açaí na região de Humaitá, AM, Brasil.

Análise Sazonal						
Variável	Estação	Média ± DP	Mínimo	Máximo	CV	Valor de p
D _s ACC	Chuvosa	1,16 ± 0,06	1,06	1,25	4,83	8,62 x 10 ⁻⁶
	Seca	1,34 ± 0,07	1,24	1,46	5,19	
D _s ACA	Chuvosa	1,25 ± 0,05	1,16	1,32	4,33	5,49 x 10 ⁻³
	Seca	1,36 ± 0,10	1,21	1,51	7,33	
P _s ACC	Chuvosa	0,49 ± 0,03	0,45	0,53	5,50	8,95 x 10 ⁻⁹
	Seca	0,35 ± 0,04	0,28	0,39	10,35	
P _s ACA	Chuvosa	0,49 ± 0,04	0,43	0,55	7,81	6,48 x 10 ⁻¹⁰

CO ACC	Seca	0,33 ± 0,02	0,31	0,36	5,63	3,40 x 10 ⁻²
	Chuvosa	18,36 ± 4,85	9,38	23,11	26,41	
CO ACA	Seca	15,47 ± 2,11	12,63	19,86	13,65	0,15
	Chuvosa	11,86 ± 2,79	8,40	11,23	23,55	
MOS ACC	Seca	13,62 ± 1,71	11,23	17,75	12,53	3,40 x 10 ⁻²
	Chuvosa	31,65 ± 8,36	16,18	39,84	26,40	
MOS ACA	Seca	26,67 ± 3,64	21,77	34,23	13,65	0,26
	Chuvosa	20,44 ± 4,81	14,48	27,41	23,55	
Textura do Solo ACC	Seca	22,61 ± 3,48	19,10	30,60	15,38	-
	Chuvosa	227,71 ± 24,28	184,24	259,80	10,66	
Textura do Solo ACA	Seca	583,35 ± 24,22	2560,51	640,14	4,15	-
	Chuvosa	188,86 ± 17,15	165,54	217,81	9,08	
Textura do Solo ACC	Seca	337,17 ± 83,85	223,58	421,08	24,87	-
	Chuvosa	460,49 ± 90,54	321,79	577,54	19,66	
Textura do Solo ACA	Seca	202,34 ± 50,88	73,37	257,13	25,15	-
	Chuvosa					

D_S= densidade do solo, P_S= porosidade do solo, CO= carbono orgânico; MOS= matéria orgânica do solo; DP= desvio padrão; CV= coeficiente de variação; Valores médios diferem estatisticamente pelo teste Tukey; (**p<0,05).

Durante a estação chuvosa ocorreu uma intensa atividade microbiana do solo, caracterizada pelo maior ECO₂ no solo (SILVA et al., 2016^a), os atributos do solo analisados contribuíram para esse processo, durante o período chuvoso na ACC o solo estava mais propício, pois o solo se apresentava menos denso em relação a ACA o que facilitou o escape do CO₂ do solo. Na ACA o solo se apresentou mais denso e como uma menor quantidade de carbono no solo em comparação a ACC. Em relação a porosidade do solo durante a estação chuvosa as porosidades médias das duas áreas foram iguais (0,49 m³ m⁻³), durante a estação seca tanto a ACC quanto a ACA tiveram a porosidade do solo reduzida. Porém durante o período seco, os solos ficaram mais densos e menos porosos. A Figura 31 (ACC) e Figura 32 (ACA) mostram a variabilidade dos atributos do solo nos 10 pontos de cada área de estudo.



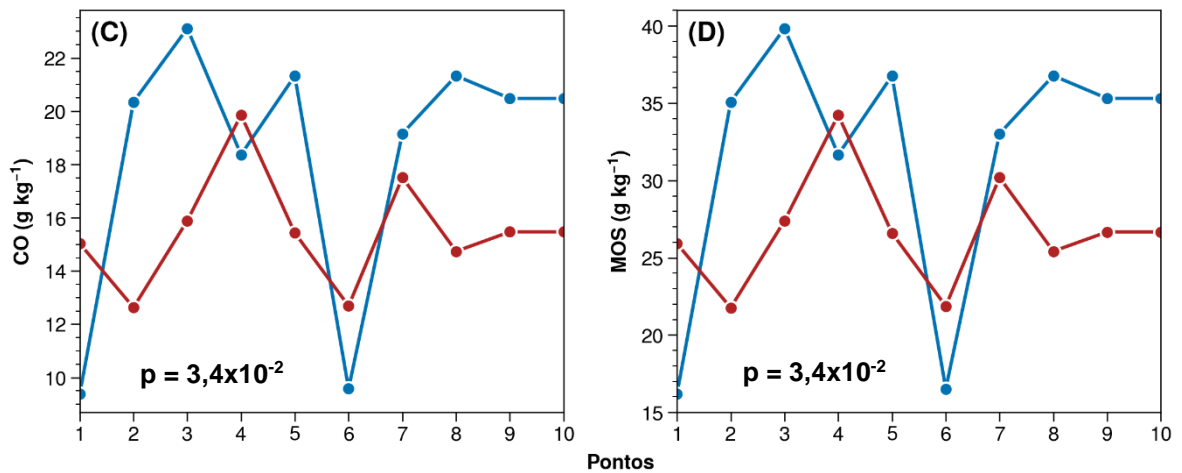


Figura 31. Variabilidade dos atributos do solo durante as diferentes estações do ano, densidade do solo (A), porosidade do solo (B) carbono orgânico do solo (C), matéria orgânica do solo na ACC.

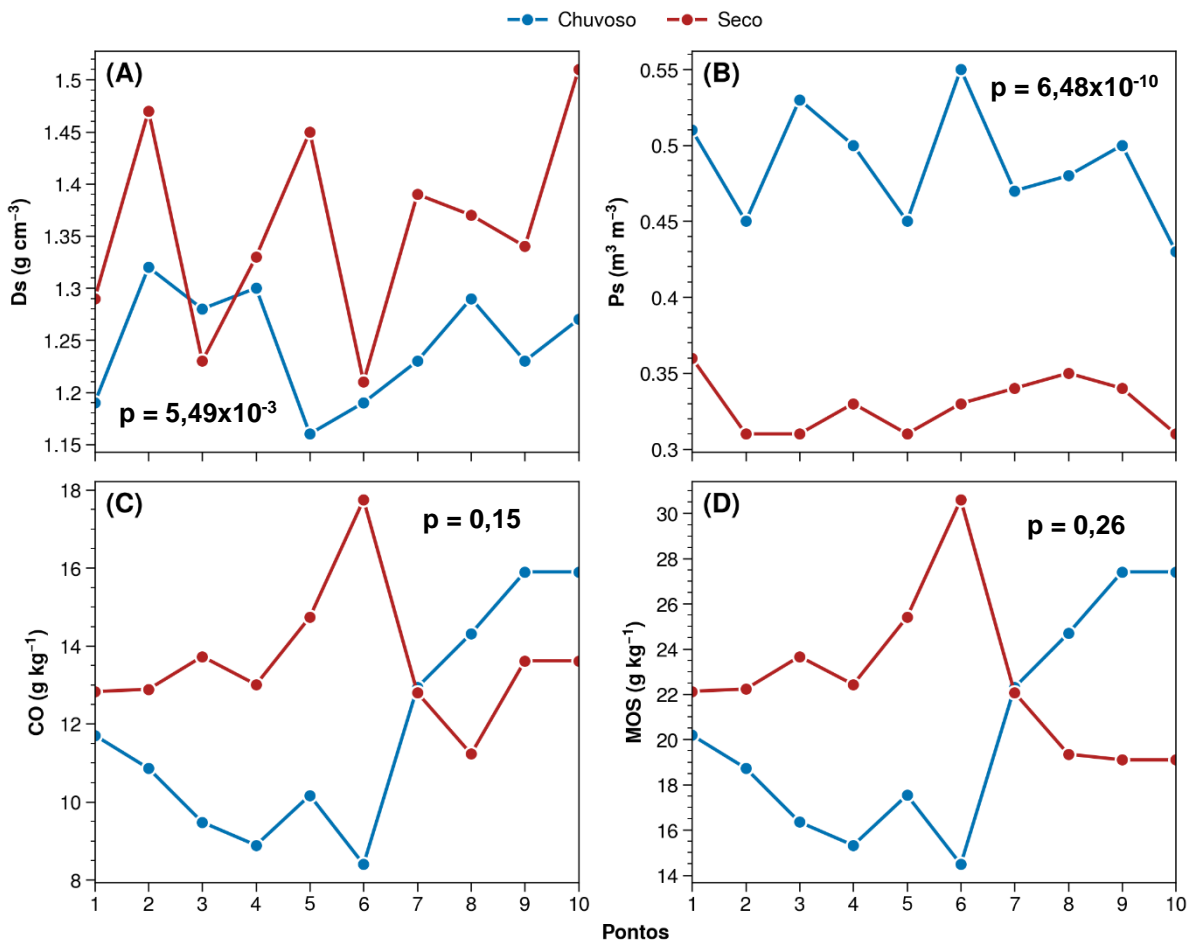


Figura 32. Variabilidade dos atributos do solo durante as diferentes estações do ano, densidade do solo (A), porosidade do solo (B) carbono orgânico do solo (C), matéria orgânica do solo na ACA.

Pode-se observar que os atributos do solo das ACC (Figura 31) e ACA (Figura 32) variam durante as diferentes estações do ano, a densidade do solo durante a estação seca é mais densa em relação a estação chuvosa, com exceção do ponto 3 que obtive

comportamento invertido na ACA (Figura 32.A) em relação aos outros pontos na ACC, nesta área no ponto 8 a densidade se mostrou constante entre as diferentes estações do ano (Figura 31.A) segundo Mantovanelli et al. (2015) o alto adensamento ocorre provavelmente devido aos altos teores de silte no solo, superiores ou proporcionais a soma da areia e argila o que promove o melhor agrupamento das partículas do solo, maior exposição do solo as ações de intemperismo, o que corrobora como os resultados encontrados visto que tanto a ACC e ACA possuem as densidades elevadas, principalmente durante a estação seca, as duas áreas possuem perturbações antrópicas com a utilização de trator em seus entorno o que colabora para a compactação do solo e diminuição da porosidade.

Durante a estação chuvosa os solos são mais porosos em relação ao período seco, nas duas áreas de estudo observa-se esse comportamento, tanto na ACC (Figura 31.B) quanto na ACA (Figura 32.B), segundo Mantovanelli et al. (2020) a porosidade é um indicador de compactação do solo, isto conseqüentemente gera a diminuição da porosidade (MANTOVANELLI et al., 2015), essa diminuição ocorreu entre a estação chuvosa para a estação seca devido provavelmente a compressão do solo durante a estação seca.

O carbono orgânico do solo variou entre as diferentes estações do ano, durante a estação chuvosa sua concentração foi maior para a ACC e durante a estação seca sua concentração diminuiu (Figura 31.C) mostrando-se estatisticamente diferente entre as diferentes estações do ano. Para a ACA ocorreu o aumento da quantidade de carbono entre a estação chuvosa e seca, não havendo diferença estatística entre si (Figura 32.C), o mesmo comportamento foi observado para a quantidade de matéria orgânica da ACC (Figura 31.D) e ACA (Figura 32.D), a variabilidade do carbono orgânico e matéria orgânica nos 10 pontos para as duas áreas foram grandes.

Na ACA ocorreu um incremento de carbono durante a estação seca, o alto ECO_2 durante a estação chuvosa evidenciou uma intensa atividade microbiana do solo no sentido de fornecer nutrientes para o solo (MORÉN & LINDROTH, 2000) nesta área, durante a estação seca ocorreu a diminuição dessa atividade, evidenciada pela diminuição da taxa de ECO_2 no solo.

A Figura 33 mostra a análise comparativa por meio da série temporal entre as ACC e ACA ao longo de um ano, pode-se observar similaridade no comportamento da umidade ao longo do ano para as duas áreas de estudo, observa-se ainda a queda abrupta da umidade durante a estação seca em ambas.

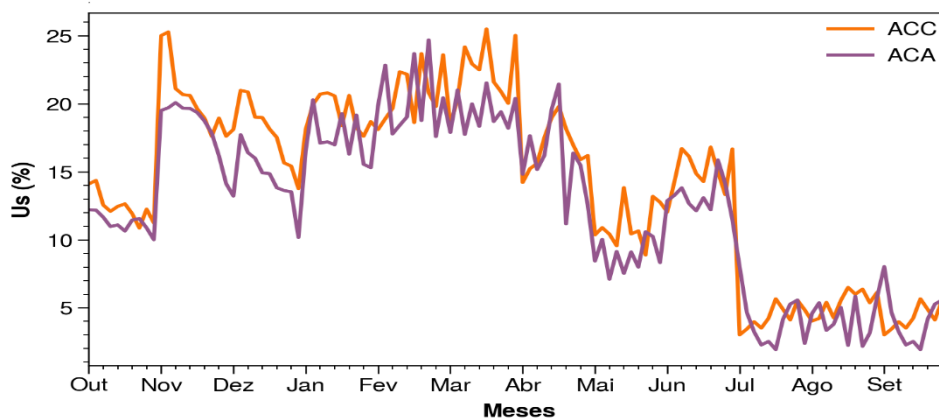


Figura 33. Série temporal da análise comparativa da umidade do solo durante as diferentes estações do ano nas ACC e ACA.

Por meio do gráfico boxplot pode-se observar que tanto a ACC (Figura 34.A) como a ACA (Figura 34.B) apresentam diferença entre as umidades durante as diferentes estações do ano, mostrando-se estatisticamente diferentes entre as diferentes estações do ano pelo teste de comparação de Dunn.

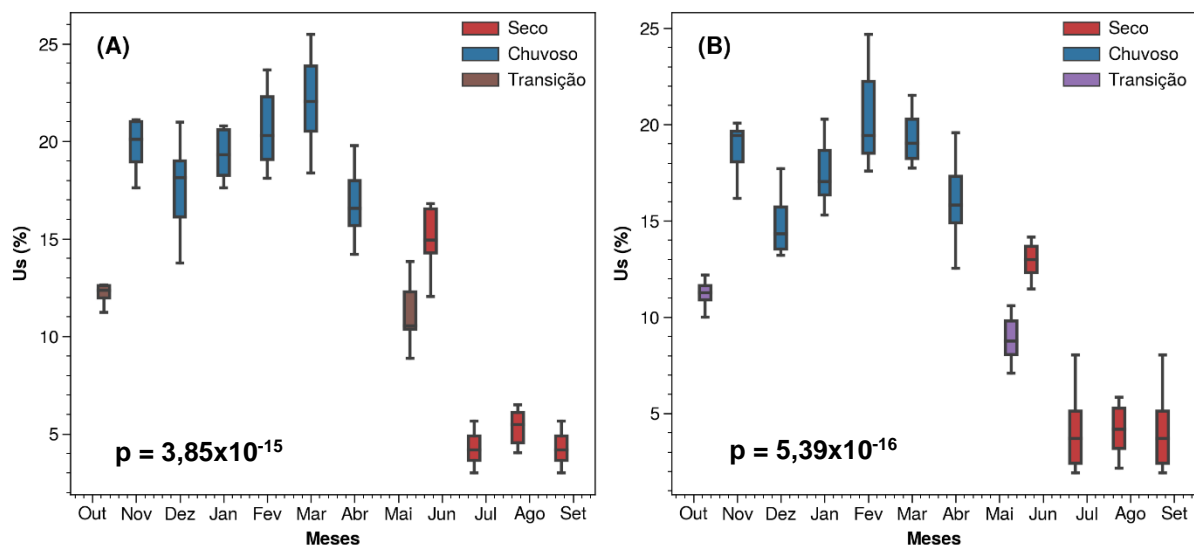


Figura 34. Boxplot da umidade do solo ACC (A) e umidade do solo ACA (B) durante as diferentes estações do ano.

Tanto o solo da ACC quanto ACA perderam água para a atmosfera durante a estação seca o que refletiu na menor quantidade de água no solo e consequentemente a menor umidade, segundo Silvestre et al. (2017) as plantações de açaí quando submetidas as condições de déficit hídricos diminuem a assimilação de CO₂, pois seus estômatos se fecham para evitar a perda de água. Corroborando com os resultados encontrados durante a estação seca, onde ocorreu diminuição da taxa do ECO₂ nessa área, Shibistova et al., 2002, Matsunaga et al. (2018) e Souza et al. (2022) encontraram

resultados semelhantes quanto a diminuição de umidade no solo, reduzindo o ECO_2 no solo indicando a menor atividade microbiana ou morte do microrganismo nesse solo.

O baixo potencial hídrico nas folhas e/ou solo reduz a taxa de assimilação de CO_2 e da condutância estomática (EMBRAPA, 2014; NEVES et al., 2019), explicando em parte a redução da taxa do ECO_2 no solo. Devido à escassez hídrica as plantas fecham seus estômatos para evitar perder água para o meio e consequentemente reduz a assimilação de CO_2 da atmosfera (EMBRAPA, 2014).

A estação seca de longa duração representa um problema no crescimento e produção do açaizeiro em regiões de terra firme no bioma Amazônico, pois, afeta a fisiologia do açaí, porém o cultivar BRS-PA tolera déficit hídrico moderado de 70% de capacidade de campo (SILVESTRE et al., 2017).

A umidade do solo na ACC é maior em relação a ACA, esse resultado é esperado visto que a ACC possui seu solo menos exposto a incidência solar ao passo que a ACA possui um solo mais exposta a incidência solar, fazendo como que perca uma maior quantidade de água para a atmosfera.

Na ACC e ACA houveram perdas do quantitativo de água no solo drasticamente entre as diferentes estações do ano, tendo valores medianos na estação seca de 5,61% para a ACC e 5,32% para a ACA, esses resultados são esperados, pois, trata-se de uma área como solos mais expostos a intensa radiação solar, principalmente a ACA.

Em relação a temperatura superficial pode-se observar que em geral os menores valores foram registrados durante o período noturno em relação ao período diurno tanto na ACC (Figura 35) quanto na ACA (Figura 36), pode-se notar uma leve diferença entre as temperaturas diurnas e noturnas nas duas áreas. Na ACC entre os meses de março e abril as temperaturas superficiais do período diurno e noturno evidenciaram

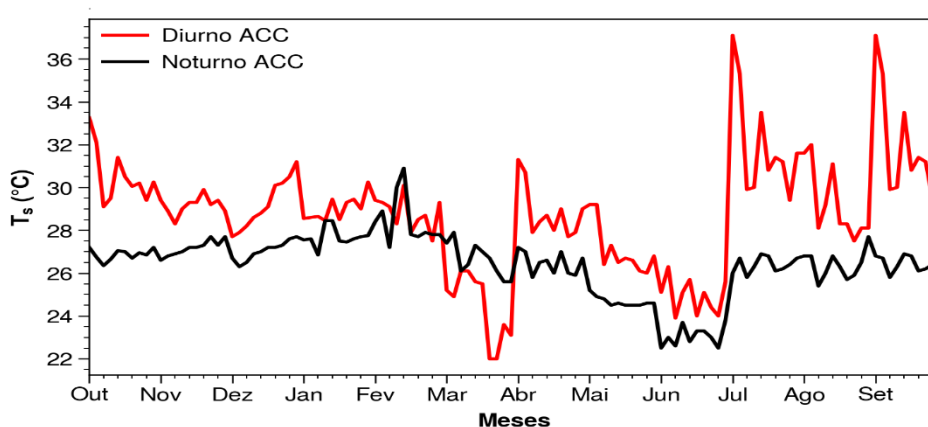


Figura 35. Série temporal da temperatura superficial do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACC.

comportamento invertido, as temperaturas diurnas foram inferiores em relação as temperaturas noturnas, um comportamento atípico ao longo do ano.

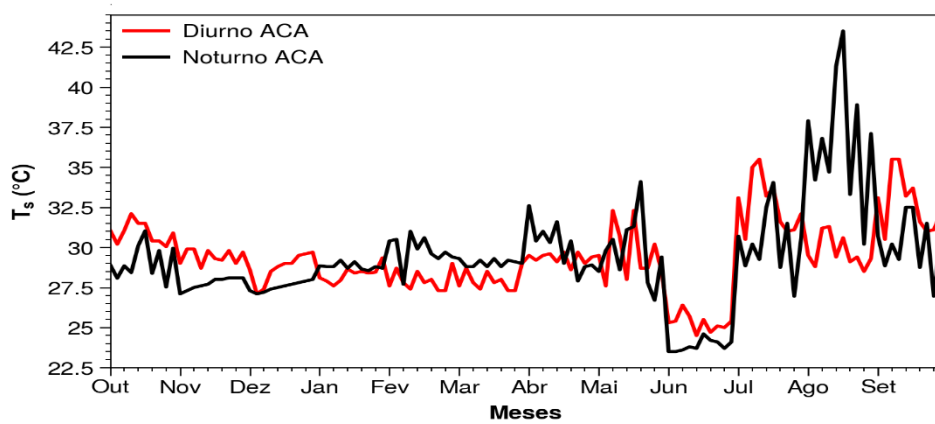


Figura 36. Série temporal da temperatura superficial do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACA.

Observa-se no gráfico boxplot da ACC para o período diurno (Figura 37.A) e para o período noturno (Figura 37.B) que os valores medianos são significativamente diferentes, mostrando-se diferentes estatisticamente entre si. Durante o período noturno na ACC as temperaturas superficiais durante a estação chuvosa mostraram-se superior em relação a estação seca, um comportamento sazonal atípico.

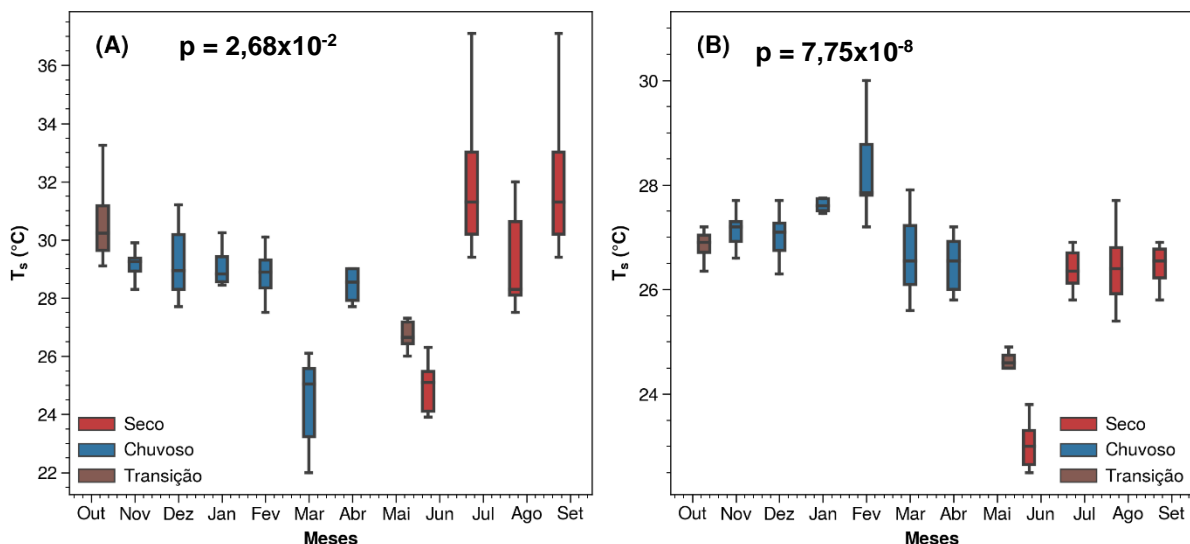


Figura 37. Boxplot da temperatura superficial durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACC.

Observa-se no gráfico boxplot da ACA para o período diurno (Figura 38.A) que os valores medianos são significativamente diferentes, para o período noturno (Figura 38.B) mostrando-se estatisticamente iguais entre si.

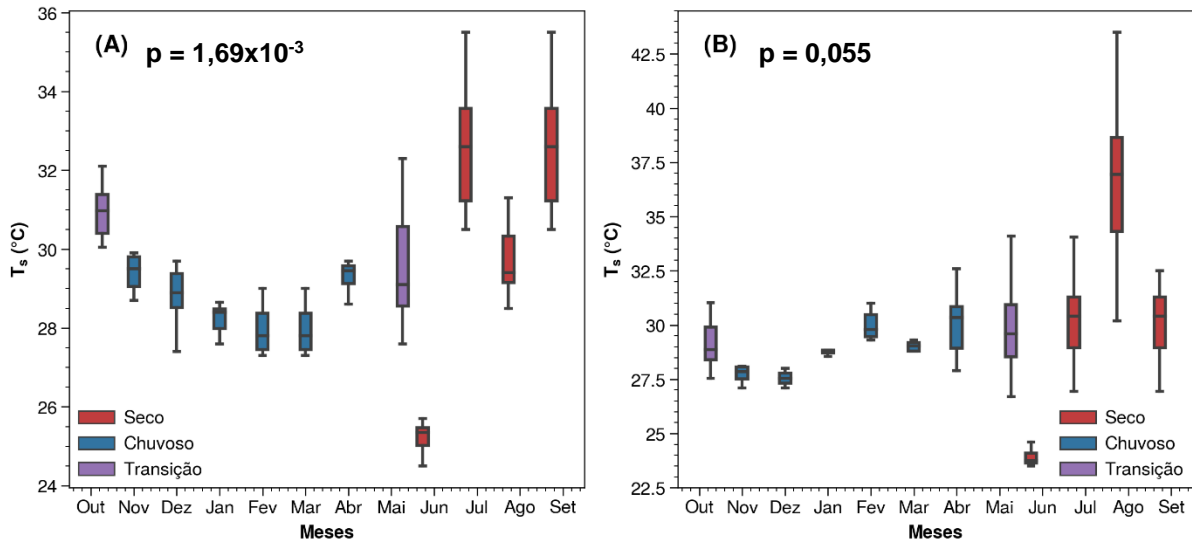


Figura 38. Boxplot da temperatura superficial durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACA.

Em relação a temperatura 5cm de profundidade do solo pode-se observar que são em geral menores durante o período noturno em relação ao período diurno tanto na ACC (Figura 39) quanto na ACA (Figura 40), na ACC no mês de março ocorreu inversão da temperatura, o período diurno registrou valores menores em relação ao período noturno, tendo um comportamento atípico.

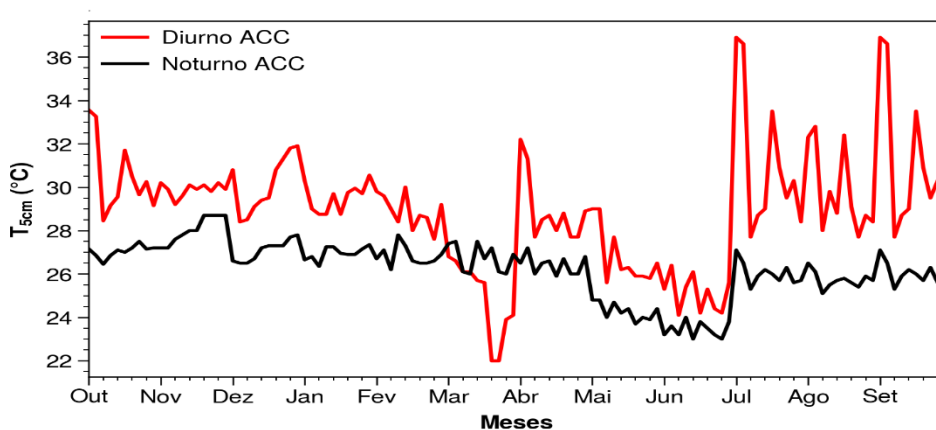


Figura 39. Série temporal da temperatura a 5cm do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACC.

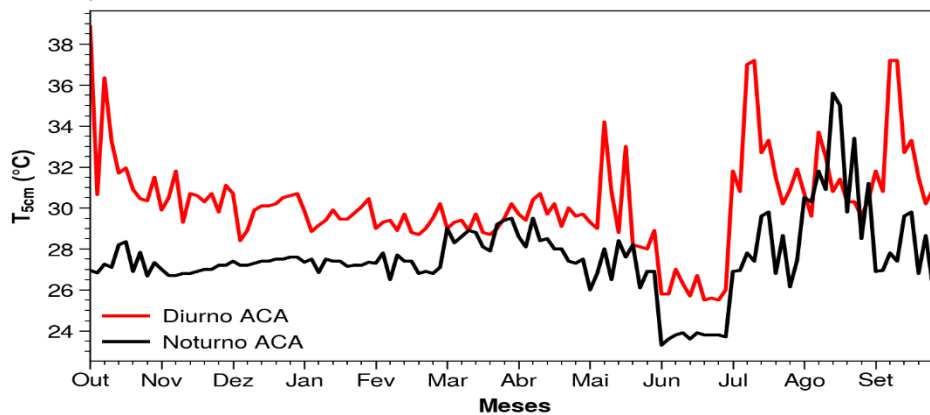


Figura 40. Série temporal da temperatura a 5cm do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACA.

Pode-se notar que não ocorre diferença significativa entre a estação seca e chuvosa durante o período diurno na ACC (Figura 41.A), sendo estatisticamente iguais, porém durante o período noturno (Figura 41.B) ocorre diferente estatisticamente entre as diferentes estações do ano. Durante o período diurno a estação chuvosa registrou valores medianos superiores em relação a estação seca, um comportamento sazonal atípico, a temperatura noturna obteve o mesmo comportamento.

Nota-se que durante o período noturno na ACC, a estação chuvosa registrou valor mediano maior a temperatura a 5cm e durante a estação seca valor mediano menor, em contraste como o que se costuma observar nas temperaturas superficiais do solo.

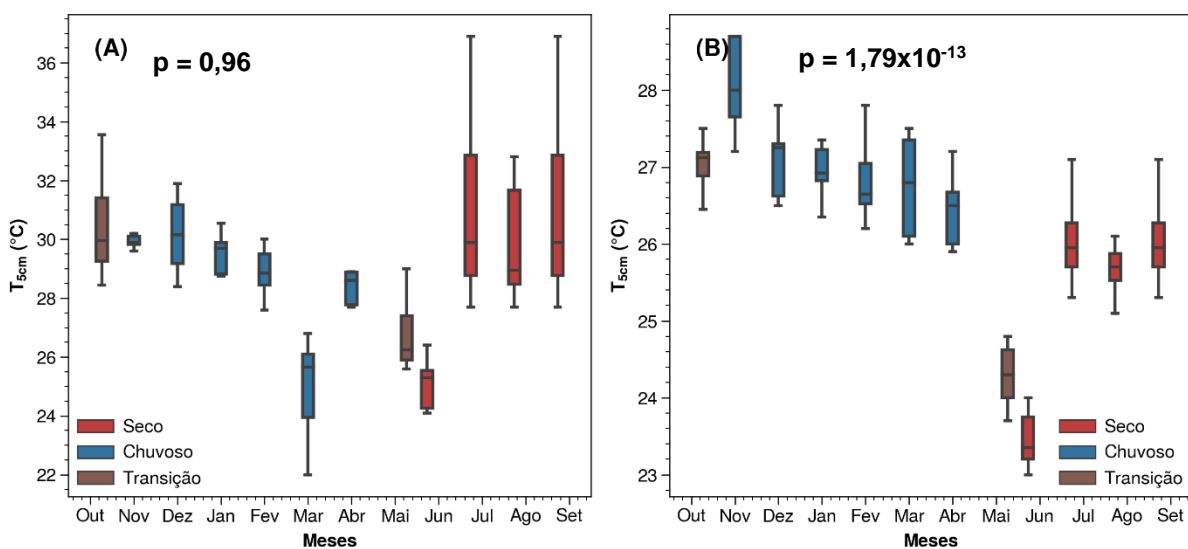


Figura 41. Boxplot da temperatura a 5cm durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACC.

Durante o período diurno na ACA (Figura 42.A) as medianas foram estatisticamente diferentes e durante a o período noturno (Figura 42.B) foram estatisticamente iguais entre as diferentes estações do ano.

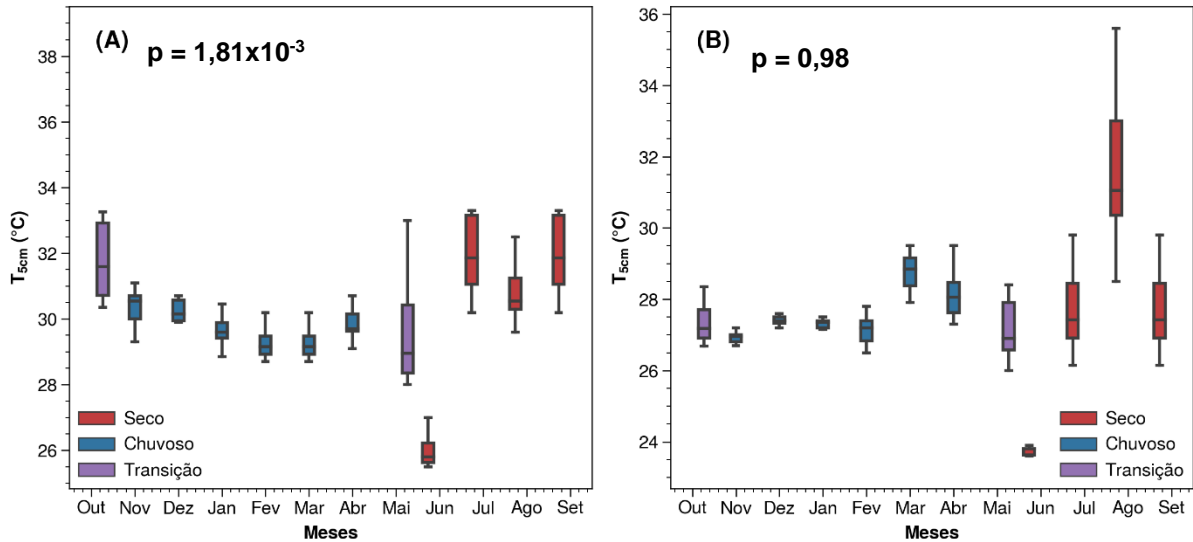


Figura 42. Boxplot da temperatura a 5cm durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACA.

Para a temperatura a 10cm de profundidade do solo mostrou-se similar ao comportamento da temperatura a 5cm de profundidade, durante o período noturno as temperaturas se mostram mais amenas em relação ao período diurno nas duas áreas, ACC (Figura 43) e ACA (Figura 44).

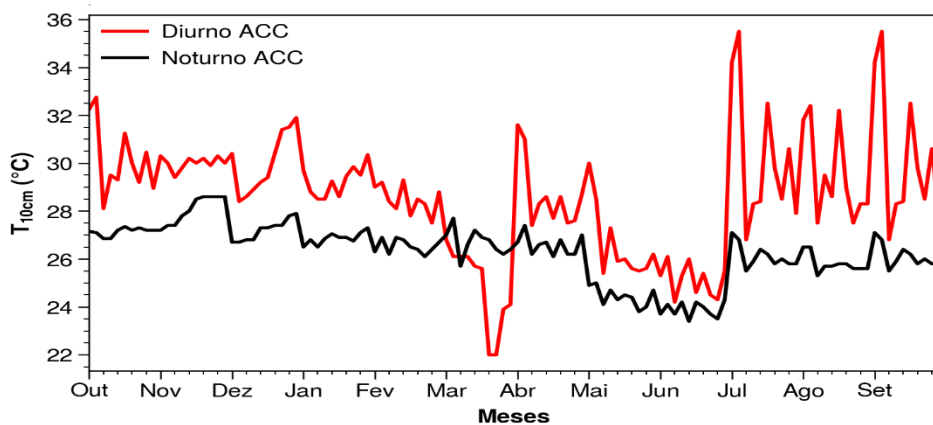


Figura 43. Série temporal da temperatura a 10cm do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACC.

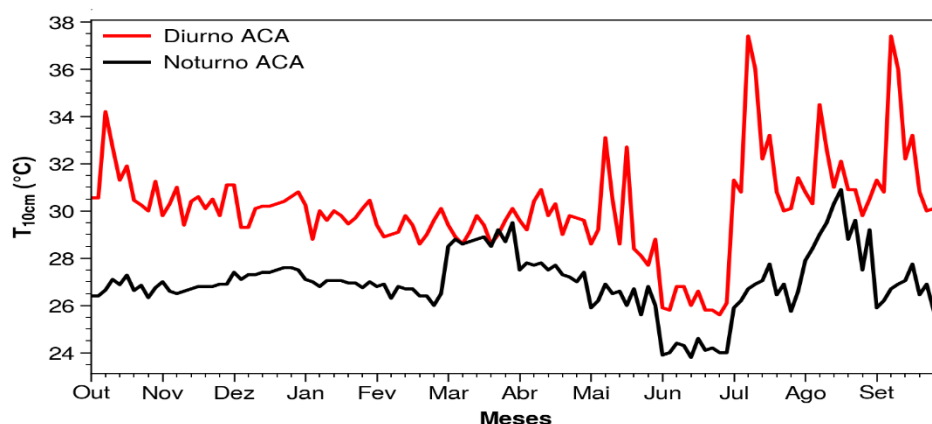


Figura 44. Série temporal da temperatura a 10cm do solo durante outubro de 2021 a setembro de 2022 na ACA.

Pode-se notar similaridade entre os valores medianos durante a estação seca e chuvosa na ACC durante o período diurno (Figura 45.A), sendo estaticamente iguais entre si. Durante o período noturno na ACC os valores medianos tiveram diferença, sendo estatisticamente diferente entre si (Figura 45.B). Nota-se que durante o período noturno na ACC, a estação chuvosa registrou valor mediano maior a temperatura a 10cm e durante a estação seca valor mediano menor, em contraste como o que se costuma observar, tendo o mesmo comportamento da temperatura a 5cm de profundidade.

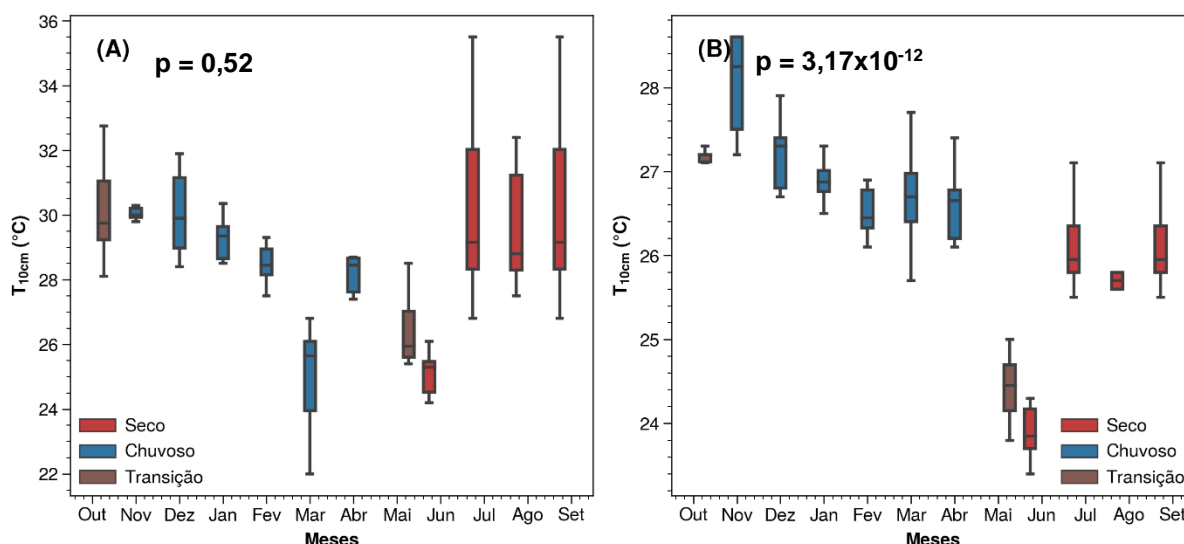


Figura 45. Boxplot da temperatura a 10cm durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACC.

Para a temperatura a 10cm de profundidade do solo na ACA durante o período noturno as temperaturas se mostram mais amenas em relação ao período diurno. Pode-se notar diferença significativa entre os valores medianos durante a estação seca e chuvosa durante o período diurno (Figura 46.A) e noturno (Figura 46.B), sendo estaticamente diferentes entre si para os dois períodos.

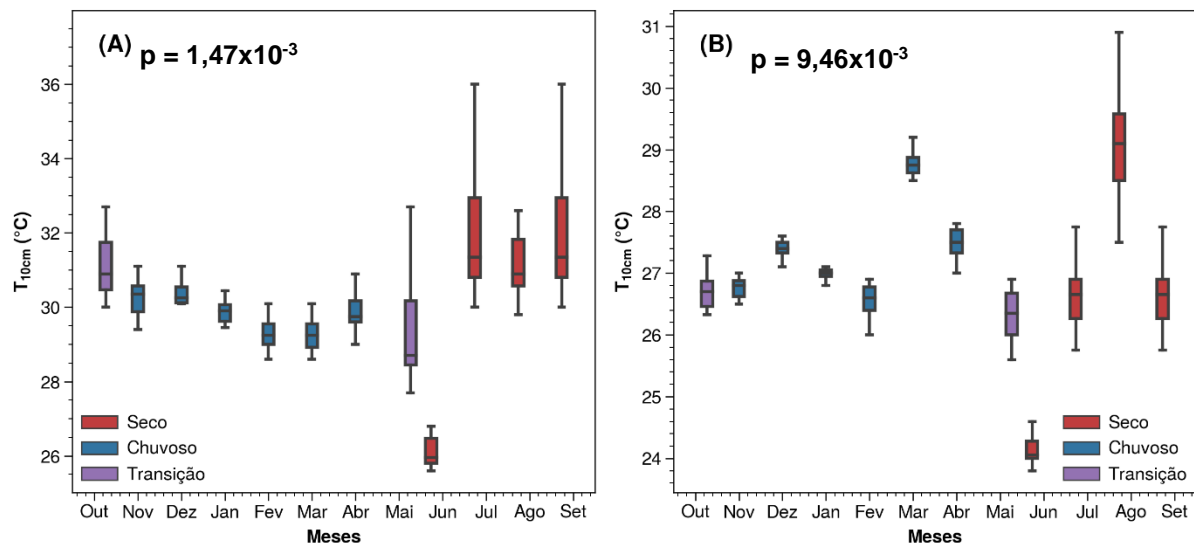


Figura 46. Boxplot da temperatura a 10cm durante o período diurno (A) e durante o período noturno (B) na ACA.

Após a aplicação do coeficiente de correlação de postos de Spearman (ρ) nas duas áreas de estudo (ACC e ACA), durante dois períodos (diurno e noturno) e nas diferentes estações (chuvosa e seca) do ano, observou-se que, na ACC durante o período diurno/chuvosa (Figura 47.A) ocorreu correlação significativa entre ECO_2 e a umidade, para o período noturno/chuvosa (Figura 47.B) o ECO_2 possuiu correlação significativa com a T_s . Durante o período diurno/seca na ACC (Figura 47.C), ocorreu correlação significativa entre o ECO_2 e T_{10cm} , durante o período noturno/seca (Figura 47.D) ocorreu correlação significativa entre o ECO_2 a T_{5cm} e T_{10cm} .

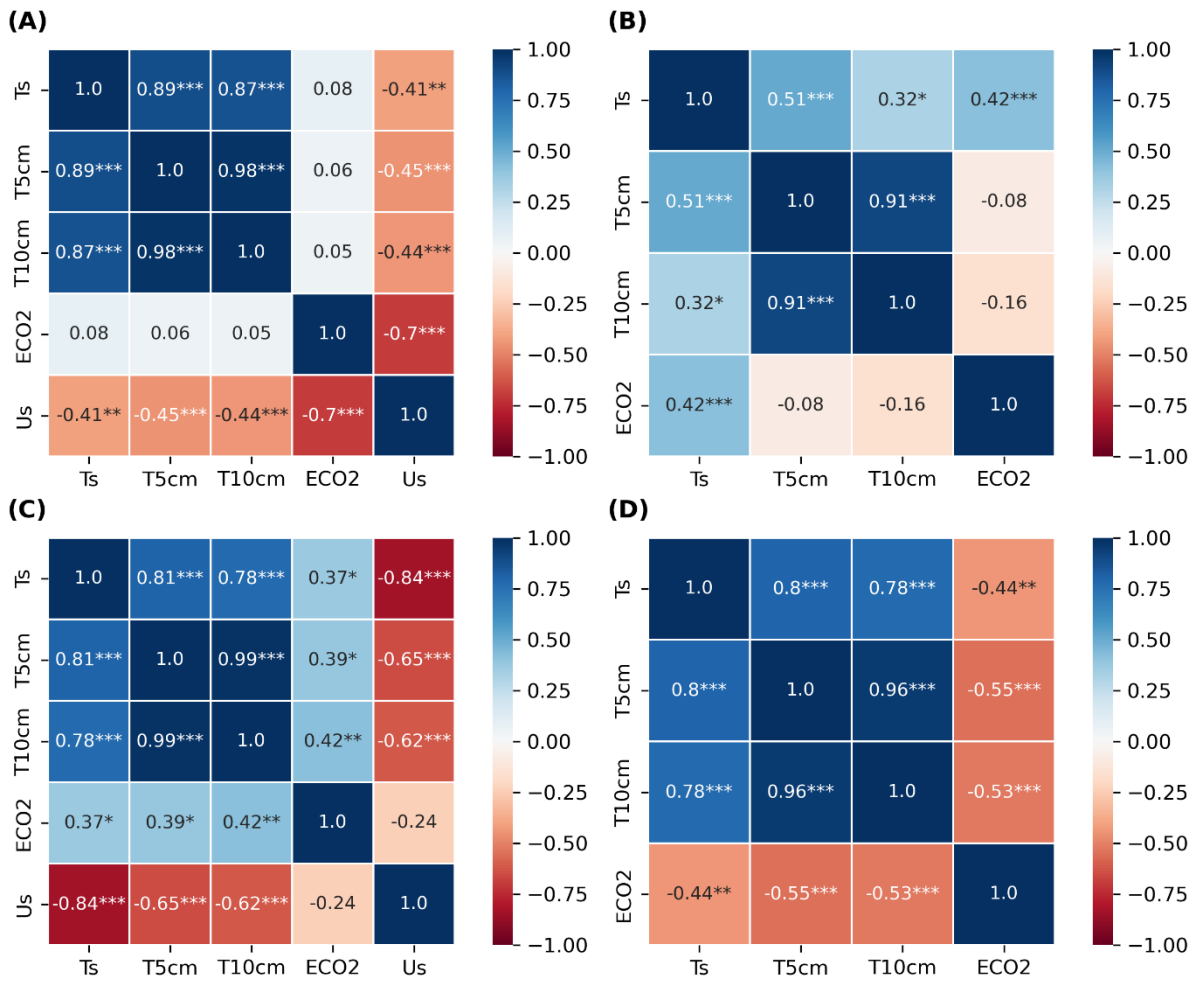


Figura 47. Correlação de Spearman (ρ) entre as cinco variáveis durante o período diurno e noturno, durante a estação chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil; A – ACC diurno/chuvosa; B – ACC noturno/chuvosa; C – ACC diurno/seco; D – ACC noturno/seco.

Observou-se que após a aplicação da correlação de Spearman, na ACA durante o período diurno/chuvosa (Figura 48.A) o coeficiente de Spearman mostrou que existe correlação significativa entre ECO_2 e T_s , para a ACA durante o período noturno/chuvosa (Figura 48.B) o ECO_2 não possuiu correlação significativa com nenhuma variável analisada. Durante o período diurno/seca na ACA (Figura 48.C) não ocorreu correlação significativa com nenhuma variável analisada, durante o período noturno/seca (Figura 48.D) ocorreu correlação significativa entre ECO_2 e a T_{5cm} .

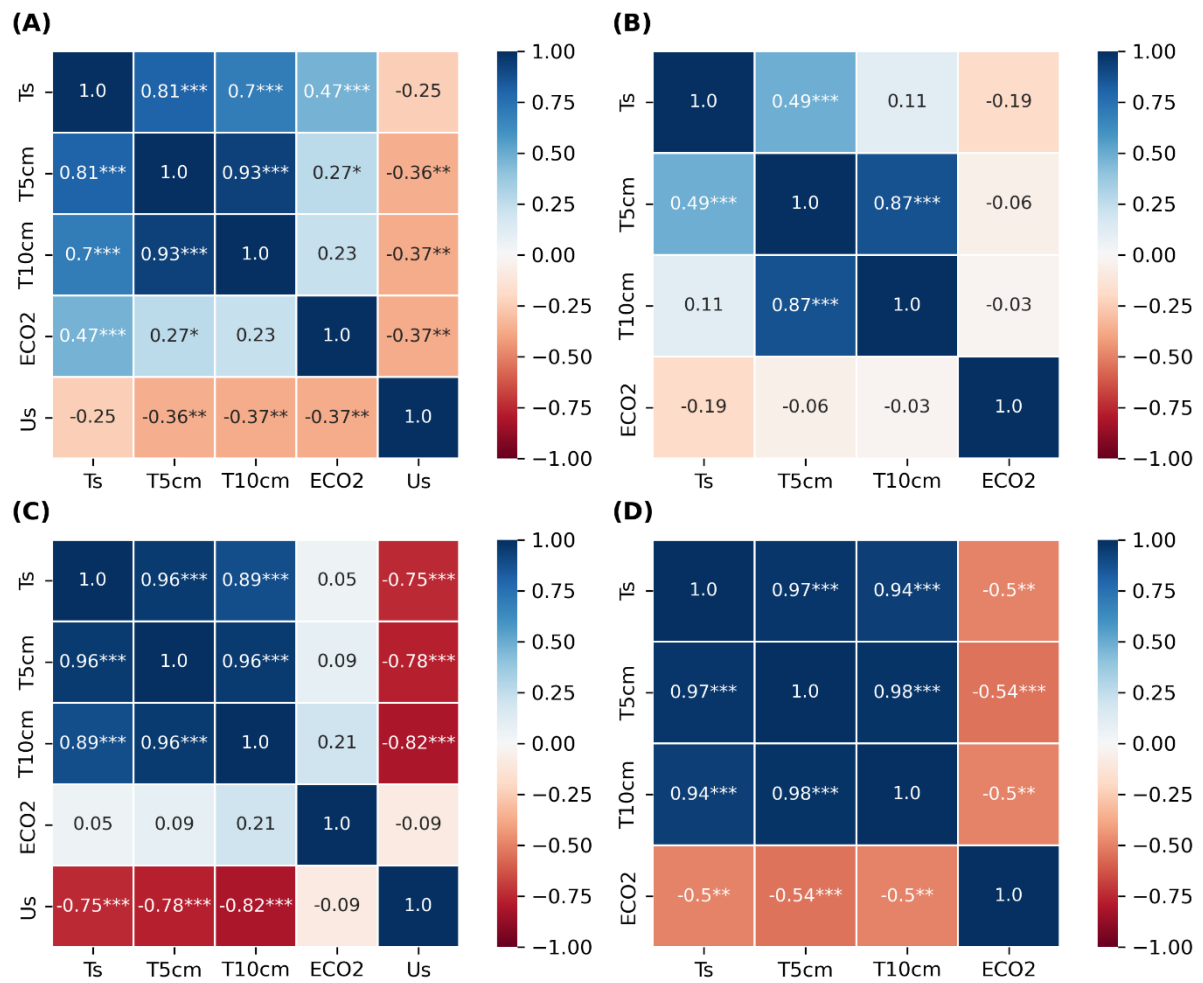


Figura 48. Correlação de Spearman (ρ) entre as cinco variáveis durante o período diurno e noturno, durante a estação chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil; A – ACA diurno/chuvosa; B – ACA noturno/chuvosa; C – ACA diurno/seco; D – ACA noturno/seco.

Entre as variáveis que foram analisadas mensalmente ao longo de um ano e correlaciona-las com o processo de ECO_2 não foi possível atribuir esse processo a somente uma dessas variáveis.

É possível verificar mudanças sazonais nos atributos do solo, as mudanças sazonais relacionadas as condições ambientais afetam a produtividade e estabilidade de cultivos, afetando a área foliar fotossintetizante (EMBRAPA, 2014) e conseqüentemente a dinâmica do processo de ECO_2 .

Tendo em vista que as ações antrópicas podem trazer alterações na cobertura vegetal do solo, reduzindo-a e, por conseqüência diminuindo o sequestro de carbono da atmosfera, como também o estoque de carbono no solo, os resultados dessa pesquisa sugere que sejam tomadas medidas que busquem a utilização de sistemas agroflorestais como forma de utilizar o solo de modo sustentável (SILVA et al., 2016^a) de forma a

colaborar na conservação do bioma Amazônico e mitigar a emissão de CO₂ para a atmosfera, reduzindo as consequências do efeito estufa para o meio ambiente e social.

A implementação do sistema agroflorestais juntamente com a recuperação de áreas degradadas além de promover a sustentabilidade do meio ambiente pode gerar renda e emprego para a comunidade local e diversificar a produção (SILVA et al., 2016^a).

4.3. Análise temporal do ECO₂ no solo comparativa entre as AFS, ACN, ACC e ACA e os fatores que o influenciam

Aplicando o teste de comparação de Kruskal-Wallis para as quatro áreas de estudo (AFS, ACN, ACC e ACA) durante a estação chuvosa/período diurno (Figura 49.A) não ocorreu diferença estatística entre as suas medianas, durante a estação seca/período diurno (Figura 49.A) ocorreu diferença estatística entre as medianas da AFS e ACC pelo teste de comparação de Dunn, entre as AFS/ACN/ACA se mostraram estatisticamente iguais. Durante a estação chuvosa/período noturno (Figura 49.B) ocorreu diferença estatística entre as quatro áreas pelo teste de Kruskal-Wallis, durante a estação seca/período noturno (Figura 49.B) a AFS é estatisticamente igual a ACC, a AFS é estatisticamente diferente entre as ACN e ACA.

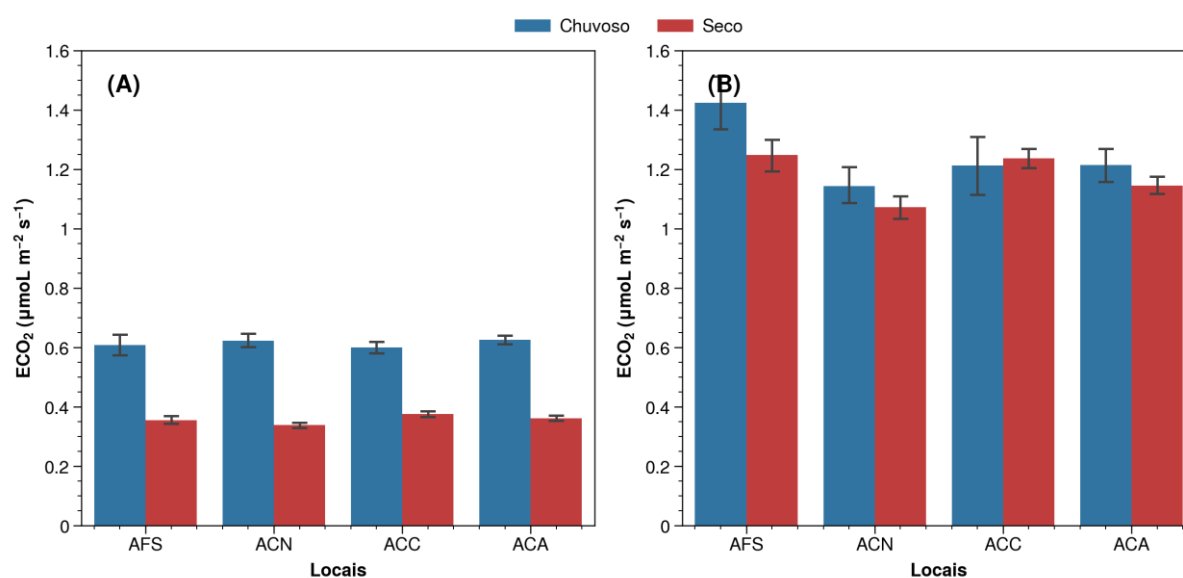


Figura 49. Valores medianos do efluxo de CO₂ no solo durante o período diurno (A) e noturno (B), durante a estação chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil.

É possível verificar mudanças no ECO₂ no solo ao longo das diferentes estações do ano, esse processo decorre das mudanças dos atributos do solo que mudaram também ao longo do ano. Durante o período noturno ocorreu a maior emissão de CO₂

do solo para a atmosfera em todas as áreas em relação ao período diurno (ALVES et al., 2006; ARAÚJO, et al., 2013; DARENOVA et al., 2014; HOLANDA et al., 2015; ARAÚJO et al., 2016), com exceção da ACC durante o período noturno (Figura 49.B) que seu ECO_2 foi levemente maior durante a estação seca em comparação a estação chuvosa.

Durante a estação chuvosa ocorreu a maior emissão de CO_2 evidenciada pela alta atividade microbiana do solo durante essa estação (SILVA et al., 2016^a) e durante a estação seca essa emissão reduziu devido ao déficit hídrico no solo e nas folhas das plantas que reduz a assimilação de CO_2 pelos seus estômatos (EMBRAPA, 2014).

A AFS foi a área que mais emitiu CO_2 do solo para a atmosfera ao longo de um ano, esse fato decorre dos atributos desse solo, essa área possui uma baixa densidade do solo (Figura 50.A) em relação as outras áreas. As ACN/ACC/ACA possuem densidades elevadas e porosidades baixas (Figura 50.B) em relação a AFS, reflexo do impacto antrópico nas ACN/ACC/ACA corroborando com Mantovanelli et al. (2015), a AFS e ACC foram as áreas que obtiveram as maiores taxas de carbono no solo (Figura 50.C)

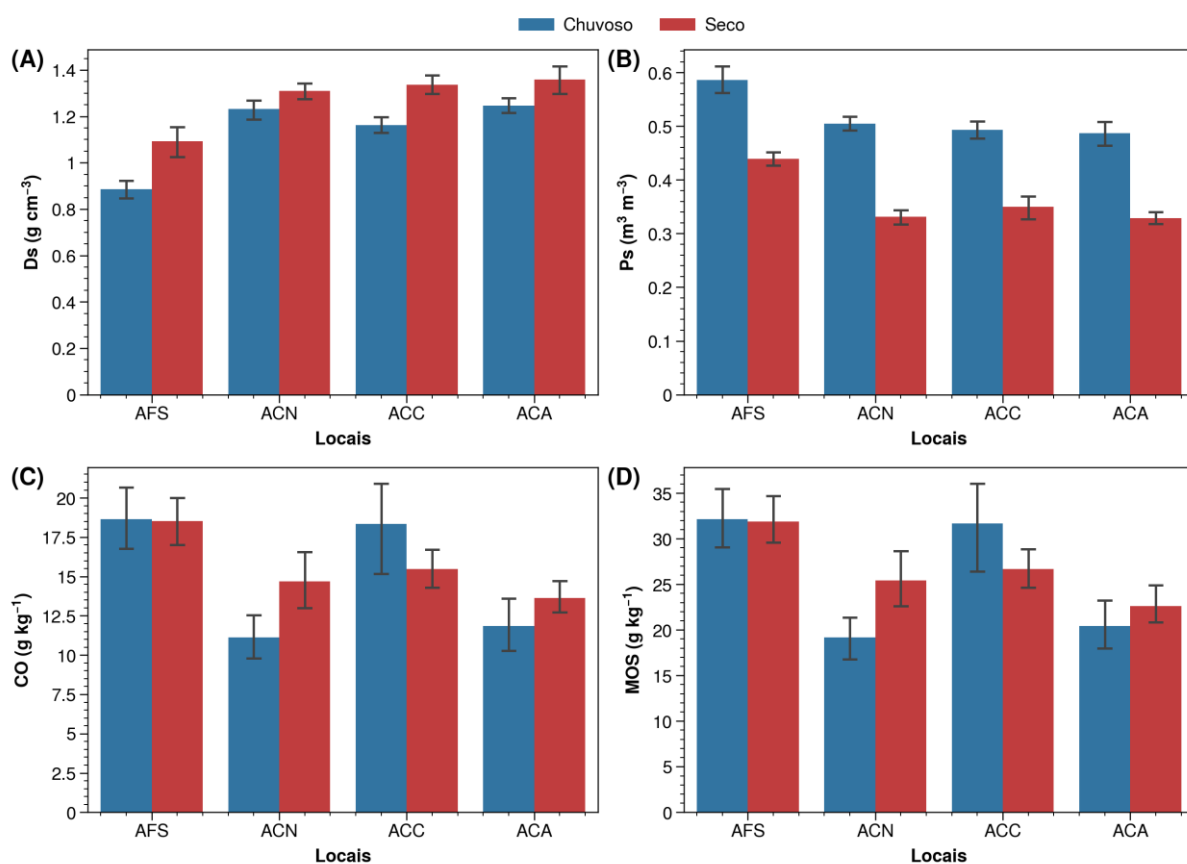
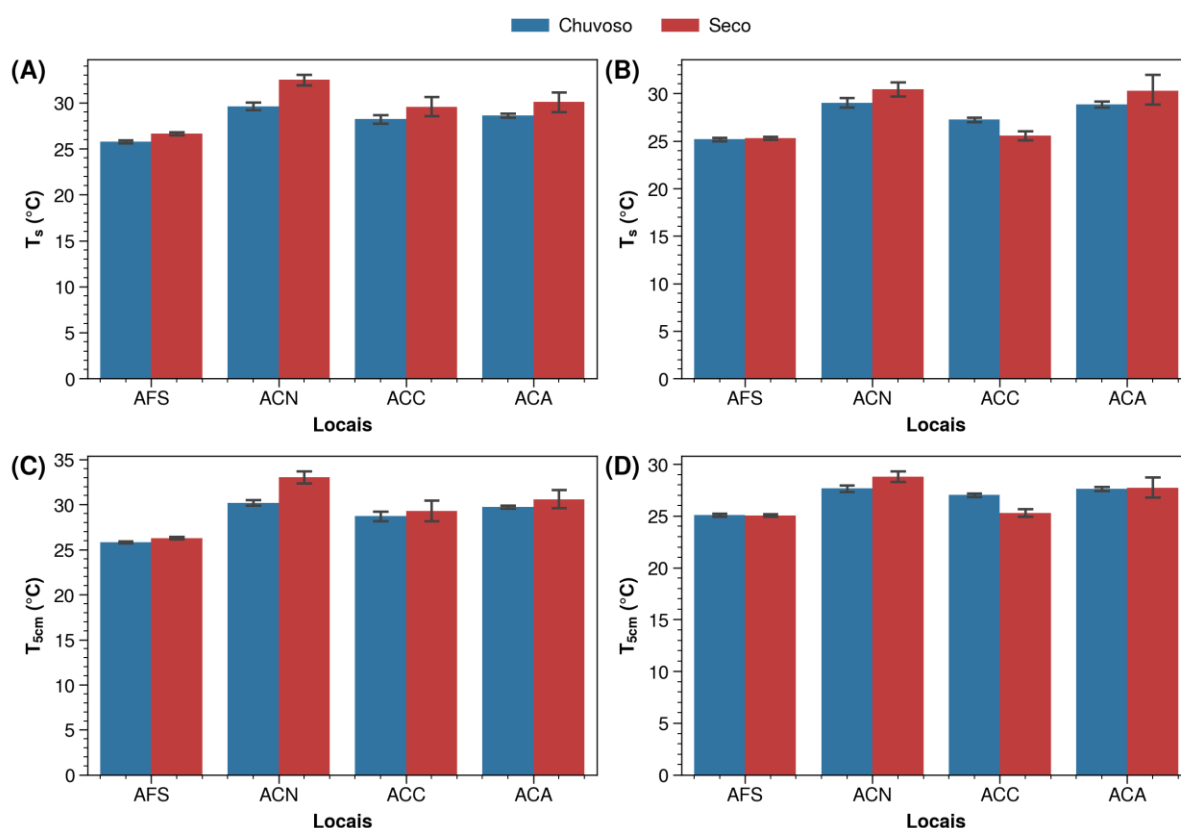


Figura 50. Valores médios da densidade do solo (A), porosidade do solo (B), carbono orgânico do solo (C), matéria orgânica do solo (D) durante a estação chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil.

A AFS e ACC foram as áreas que obtiveram as maiores taxas de carbono (Figura 50.C) e matéria orgânica no solo (Figura 50.D) e as áreas que mais emitiram CO₂ do solo para a atmosfera devido ao maior aporte de carbono em seu solo, controlando o processo de ECO₂ (SILVA et al., 2016^b). A ACN e ACA foram as duas áreas que tiveram menor aporte de carbono em seu solo e menos emitiram CO₂ para a atmosfera, segundo Silva^a et al. (2016) em áreas de monocultivos como ocorre na ACA pode ocorrer o menor ECO₂ no solo para a atmosfera devido a menor quantidade de biomassa, carbono e raízes em seus solos.

A temperatura é uma variável abiótica que fornece energia para os processos vitais do solo e das plantas (EMBRAPA, 2014). Segundo Silva^a et al. (2016) as áreas que possuem baixas diversidade de espécies registram temperaturas elevadas em comparação com áreas de maiores diversidades de espécies que registram temperaturas mais amenas, corroborando com os resultados encontrados, visto que a AFS registrou as menores temperaturas juntamente com a ACC, já as ACN e ACA registram as maiores temperaturas (Figura 51).



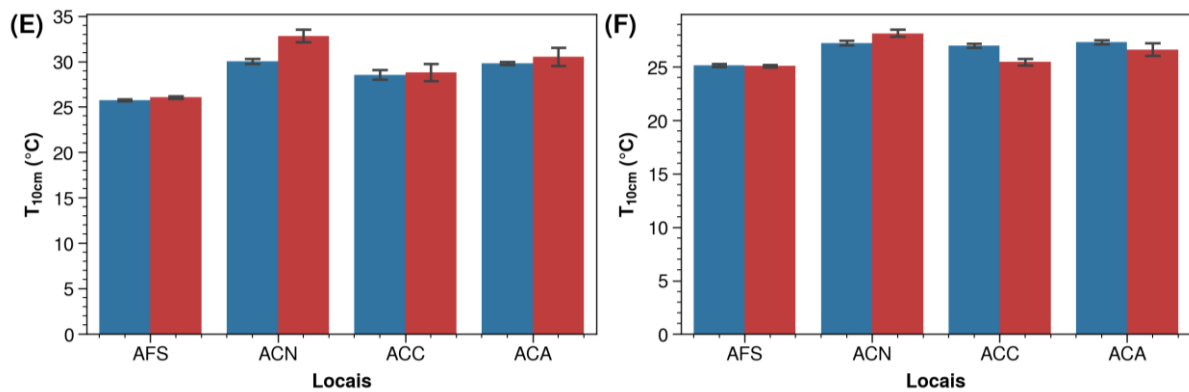


Figura 51. Valores medianos da temperatura superficial do solo durante o período diurno (A) e noturno (B), temperatura a 5cm de profundidade do solo durante o período diurno (C) e noturno (D), temperatura a 10cm de profundidade do solo durante o período diurno (E) e noturno (F) durante a estação chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil.

A temperatura superficial, 5cm e 10cm de profundidade apresentaram similaridade em seu comportamento.

A umidade é uma variável abiótica que controla o processo de CO_2 no solo e muda de forma sazonal ao longo do ano (Figura 52).

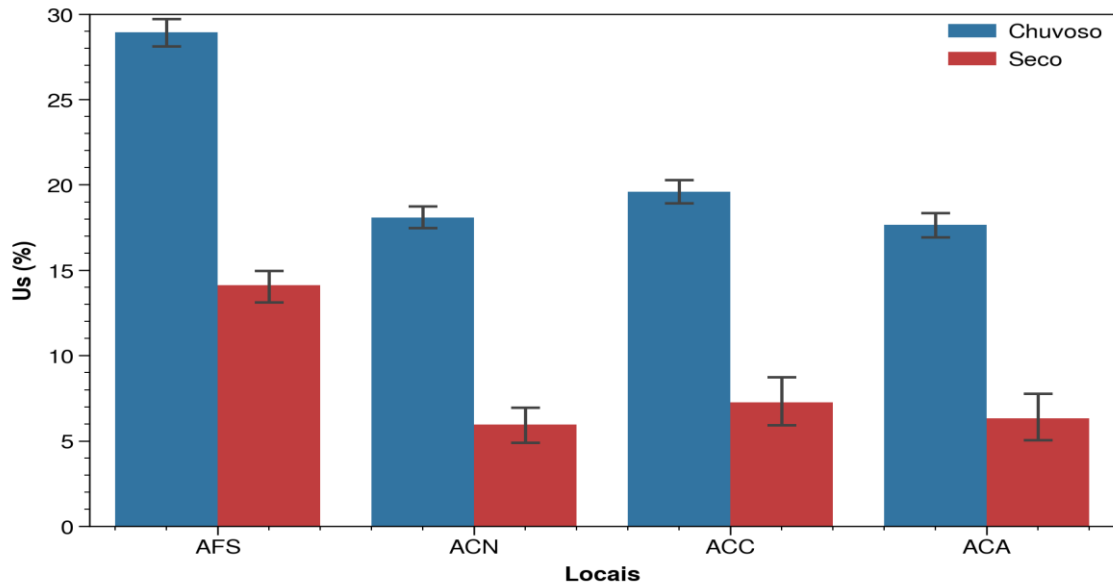


Figura 52. Valores medianos da umidade do solo durante a estação chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil.

Durante a estação chuvosa a umidade do solo é maior em todas as áreas de estudo e durante a estação seca a umidade do solo decresce de modo drástico, a AFS por possuir a maior diversidade de espécie em relação as ACN/ACC/ACA tende a possuir maior umidade do solo (SILVA et al.,2016^a).

Em relação a textura do solo (Figura 53) as áreas analisadas possuem altos teores de silte, acompanhado dos teores de areia e argila, nota-se que a área que possui o maior teor de silte é a ACN, segundo Mantovanelli et al. (2015) o silte é responsável pelo maior adensamento do solo, entupindo os poros dos solos, impedindo desse modo o ECO_2 no solo.

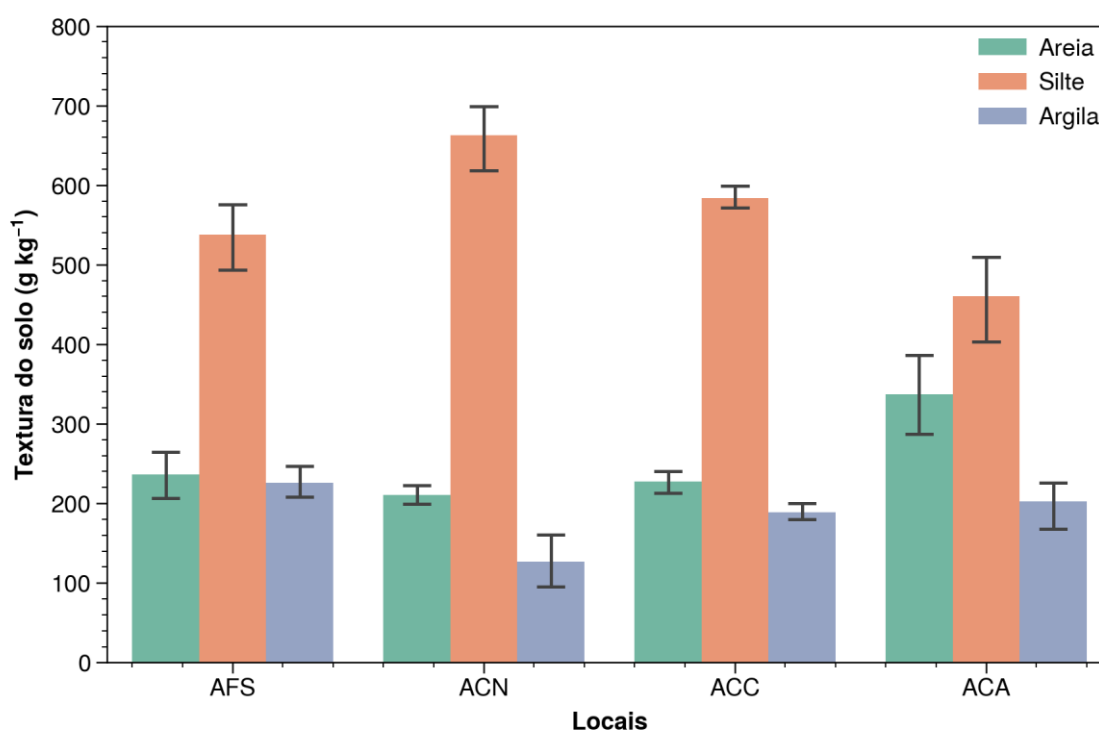


Figura 53. Valores médios da textura do solo durante a estação chuvosa e seca na região de Humaitá, AM, Brasil.

Pode-se verificar que o processo de ECO_2 no solo sofre influência sazonal e dos atributos do solo.

Quantificar o ECO_2 é um processo extremamente sensível as mudanças ocorridas no solo não tendo portanto uma linearidade nesse processo, mas uma variabilidade de acordo com as mudanças sofridas no meio, quando se utiliza equipamentos para realizar a mensuração é possível verificar correlações significativas entre as variáveis.

5. CONCLUSÃO

A maior taxa de ECO_2 no solo ocorreu na AFS e ACC, e a menor taxa de ECO_2 no solo ocorreu na ACN e ACA ao longo de um ano. Em todas as quatro áreas estudadas a taxa de ECO_2 foi maior durante a estação chuvosa e menor durante a estação seca.

A AFS possuiu as menores temperaturas, maior umidade, maiores teores de carbono orgânico e matéria orgânica, menor densidade, maior porosidade do solo. Esses atributos do solo se devem ao baixo impacto antrópico nessa área e a sua alta biodiversidade.

A ACN foi a área de estudo que menos emitiu CO_2 do solo para a atmosfera, possuiu temperaturas elevadas, baixa umidade, teores de carbono e matéria orgânica baixa, alta densidade e baixa porosidade. Essa área sofre consequências de impactos antrópicos em seu entorno.

A ACC possuiu atributos do solo próximas da AFS principalmente temperaturas, carbono orgânico e matéria orgânica do solo, essa área apesar de possuir impacto antrópico evidenciado pelo alta densidade e baixa porosidade do solo reflexo do processo de compactação, possui seus cultivos bem próximos um do outro sombreando seu solo, além de possui intenso processo de ciclo do carbono.

A ACA possuiu comportamento e atributos do solo próximos da ACN, com temperaturas elevadas, baixa umidade do solo, baixa quantidade de carbono e matéria orgânica no solo.

Apesar da AFS emitir mais CO_2 para a atmosfera sua preservação é de extrema importância, pois, pode-se verificar que o ciclo de carbono nesse ecossistema é constante, visto que não houve diferença estatística na quantidade de carbono entre as diferentes estações do ano.

A mensuração do ECO_2 no solo é um processo extremamente complexo, sendo necessário a análise conjunto com os atributos do solo, não sendo possível atribuir esse processo a somente uma variável de modo isolado.

A presente pesquisa sugere a preservação de áreas de florestas e a implementação para as áreas de cultivo os sistemas agroflorestais, pois, auxiliará na ciclagem de carbono e na manutenção do conforto térmico em seu entorno, bem como na mitigação da emissão de CO_2 para atmosfera, sendo, portanto, a molécula de CO_2 capturada durante o processo de fotossíntese nessas áreas.

6. REFERÊNCIA

AB'SABER, A. N. Bases para o estudo dos ecossistemas da Amazônia brasileira. *Amazônia Brasileira • Estudos Avançados*, av. 16 (45), 2002. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142002000200002>

ALVES, A. SOUTO; J. S., SANTOS, R. V.; CAMPOS, M. C. C. Decomposição de resíduos vegetais de espécies da Caatinga, na região de Patos, PB. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.1, n. único, p.57-63, 2006. <https://doi.org/10.5039/agraria.v1i1a308>

ARAUJO, K. D.; DANTAS, R. T.; ANDRADE, A. P.; PARENTE, H. N. Cinética de Evolução de Dióxido de Carbono em Área de Caatinga em São João do Cariri-PB. *Revista Árvore*, v. 35, n.5, p.1099-1106, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000600016>

ARAUJO, K. D.; DANTAS, R. T.; ANDRADE, A. P.; PARENTE, H. N.; SOUZA, M. A. Liberação de CO₂ do Solo em Áreas de Caatinga sob Pastejo Caprino. *Revista Roraima*, v.29, p.194-208, 2013.

ARAUJO, K. D.; SOUZA, M. A.; SANTOS, G. R.; ANDRADE, A. P.; FERREIRA NETO, J. V. Atividade Microbiana no Solo em Diferentes Ambientes da Região Semiárida de Alagoas. *Geografia (Londrina)*, v.25, n.2, p.05-18, 2016. <http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2016v25n2p5>

BARTOLI, Estevan. **O Amazonas e a Amazônia: geografia, sociedade e meio ambiente**. Manaus: Editora MemVavMem, 2011.

BENCHIMOL, S. *Amazônia: a Guerra na floresta*. 2ª edição revisada. Manaus: Edua, 2011.

BOTELHO, J. F.; QUEIROZ, R. S.; ANJOS, M. R.; SOUZA, M. S. DINÂMICA POPULACIONAL DE *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) SOB SISTEMA AGROFLORESTAL E MONOCULTIVO DE CAFÉ CONILON NO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS, BRASIL. *Revista Árvore*, v.45, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-908820210000024>

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil, Purus, v.20, Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1978.

BUENO, P. A. A.; OLIVEIRA, V. M. T.; GUALDI, B. L.; SILVEIRA, P. H. N.; PEREIRA, R. G.; FREITAS, C. E. S.; BUENO, R.O.; SEKINE, E. S.; SCHWARCZ, K. D. **Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um**

sistema agroflorestal. Revista Acta Brasilienses, [s.l.], [s.n.], p.40-44, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.22571/2526-433896>.

CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; SILVA, D. A. P.; SOARES, M. D. R.; CUNHA, J. M.; SILVA, D. M. P. **Distribuição espacial do efluxo de CO₂ em área de terra preta arqueológica sob cultivo de cacau e café no município de Apuí, AM, Brasil.** Rev. Ambient. Água vol. 11 n. 4 Taubaté – Oct. / Dec. 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1892>

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; JÚNIOR, V. S. S.; FILHO, M. R. R.; ALMEIDA, M. C. Toposequência de Solos na Transição Campos Naturais-Floresta na Região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 42, n.3, p. 387-398, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000300011>

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, E. E.; SANTOS, L. A. C., MANTOVANELLI. Distribuição espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo em uma área de agroflorestal na região de Humaitá, AM. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n.4, p.509-517, 2014. <https://doi.org/10.14295/cs.v5i4.307>

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MEILNICZUK, J. Estoque de Carbono Orgânico no Solo e Emissões de Dióxido de Carbono Influenciadas por Sistemas de Manejo no Sul do Brasil. Revista Brasileiro de Ciências do Solo, v.32, p.323-332, 2008.

DARENOVA, E.; PAVELKA, M.; ACOSTA, M. Diurnal deviations in the relationship between CO₂ efflux and temperature: A case study. **Catena**, v.123, p.263-269, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.08.008>.

DUARTE, M. L.; ZANCHI, F. B.; NEVES, J. R. D.; COSTA, H. S.; JORDÃO, W. H. C. Vulnerabilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas no Município de Humaitá, Amazonas, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v.11, n.2, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1797>

EMBRAPA. **Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem/** Vitor Del' Alamo Guarda Leonardo José Motta Campos. 1ª edição. Palmas, 2014.

EMBRAPA. **Café na Amazônia.** 1ª edições, revisado. Brasília, 2015.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 3ª edições, revisado. Brasília, 2017.

EMBRAPA. **Transformação do carbono no solo/** Karina Pulrolnik. 1ª edição. Brasília, 2009.

ENCK, B. F.; RODRIGUES, J. C. W.; HASSANE, A. L.; TEMBOL, R. A.; CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C.; BRITO, W. B.M. Impacto nos Atributos do Solo sob Conversão de Floresta para Área Cultivados na Região Sul do Amazonas, Brasil. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v.24, ed.54, 2020. [10.5902/2236499443591](https://doi.org/10.5902/2236499443591)

FERREIRA, P. F. Biomassa microbiana de um latossolo amarelo sob cultivos de açaí (Euterpe oleracea Mart.) em comparação com solos de floresta secundária no município de Maracanã-Pará (PA). **Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)** – Universidade do Estado do Pará, Pará. 2017.

FILHO, João Meirelles. **O Livro de Ouro da Amazônia**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2006.

FRANK, A. B.; LIEBIG, M. A.; TANAKA, D. L. **Management effects on soil CO₂ efflux in northern semiarid grassland and cropland**. Soil & Tillage Research, v. 89, n. 1, p. 78-85, 2006.

GOMES, D. S.; SANTOS, S. K.; SILVA, J. H. C. S.; SANTOS, T. M.; SILVA, E. V.; BARBOSA, A. S. CO₂flux e temperatura da superfície edáfica em áreas de caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.04, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbqf.v14.4.p1898-1908>

GRISI, B. M. Método químico de medição de respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. **Ciência e Cultura**. v.30, n.1, p.82-88, 1978.

HOLANDA, A. C.; FELICIANO, A. L. P.; MARANGON, L. C., FREIRE, F. J.; HOLANDA, E. M. Decomposição da serapilheira foliar e respiração edáfica em um remanescente de caatinga na paraíba. **Revista Árvore**, v.39, n.2, p.245-154, 2015. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000200004>

HUI, D. F.; LUO, Y. Q. Evaluation of soil CO₂ production and transport in Duke Forest using a process-based modeling approach. *Global Biogeochemical Cycles*, v.18, 2004. <https://doi.org/10.1029/2004GB002297>

IBGE. **Manual Técnico de da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 2012.

IBGE. **Conheça cidades e estados do Brasil, 2019, 2020**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acessado em: 2022.

ICMBIO. Amazônia, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/amazonia>. Acessado em: 2022.

JOO, S. J; PARK, S-U.; PARK, „S; LEE, C. S. Estimation of soil respiration using automated chamber systems in an oak (Quercus mongolica) forest at the Nam-San site

in Seoul, Korea. **Science of the Total Environment**, v. 416, p.400-409, 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.11.025>

LAL, R. **Soil carbon sequestration and aggregation by cover cropping**. *Journal Soil Water Conservation*, v. 70, n. 6, 329–339, 2015.
<https://doi.org/10.2489/jswc.70.6.329>

LEITE, V. P.; DEBONE, D.; MIRAGLIA, S.G. Emissões de gases de efeito estufa no estado de São Paulo: análise do setor de transportes e impactos da saúde. *Vittale – Revista de Ciências da Saúde*, v.32, n.3, 2020.

LENNOX, G. D.; GARDNER, T. A.; THAMSON, J. R.; FERREIRA, J.; BERENQUER, E.; LEES, A. C.; NALLY, R. M. ARAGÃO, L. E. O. C.; FERRAZ, S. F. B.; LOUZADA, J.; MOURA, N. G.; OLIVEIRA, V. H. F. SOLAR, R. C.; VAZ-DE MELLO, F. Z.; VIERA, I. C. G.; BARLOW, J. Second rate or a second chance? Assessing biomass and biodiversity recovery in regenerating Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 24, n. 12, p. 5680–5694, 2018. <https://doi.org/10.1111/gcb.14443>

LIRA-GUEDES, A. C.; LEAL, G. AL.; FISCHER, G. R.; AGUIAR, L. J. G.; JÚNIOR, N. J. M.; BAIA, A. L. P.; GUEDES, M. C. Carbon emissions in hydromorphic soils from an estuarine floodplain forest in the Amazon River. *Brazilian Journal of Environmental Sciences*, v.56, n.3, p. 413-423, 2021.<https://doi.org/10.5327/Z21769478941>

LOPES, V. S. **EFLUXO DE CO₂ DO SOLO NO INVERNO EM CAFEZAIS CULTIVADOS NOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS E A PLENO SOL**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 59, 2015.

LUI, J.; JIANG, P.; WANG, H.; ZHOU, G.; WU, J.; YANG, F.; QIAN, X. Seasonal soil CO₂ efflux dynamics after land use change from a natural forest to Moso bamboo plantations in subtropical China. **Forest Ecology and Management**, v.262, p.1131-1137, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.015>.

LUI, X.; ZHANG, W.; ZHANG, B.; YANG, Q.; CHANG, J.; HOU, K. Diurnal variation in soil respiration under different land uses on Taihang Mountain, North China. **Atmospheric Environment**, v. 125, p.283-292, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.034>

MANTOVANELLI, B. C.; ALHO, L. C.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M.; OLIVEIRA, I. A. Pedoindicators attributes in the variation of CO₂ efflux in Indian black earth and non-anthropic soils. *Carbon Magagement*, v. 11, n.5, p.511-523, 2020.
<https://doi.org/10.1080/17583004.2020.1813479>.

MANTOVANELLI, B. C.; SILVA, D. A. P.; CAMPOS, M. C. C.; GOMES, R. P.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C. Avaliação dos atributos do solosob diferentes usos na Região de Humaitá, Amazonas. **Revista Ciências Agrárias**, v. 58, n. 2, p. 122-130, 2015. <http://doi.org/10.4322/rca.1822>

MANTOVANELLI^a, B. C.; CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; FRANCISCON, U.; NASCIMENTO, M. F.; SANTOS, L. A. C. Distribuição espacial dos componentes da acidez do solo em áreas de campo natural na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.14, n.1, p.1-9, 2016. <https://doi.org/10.5327/rcaa.v14i1.817>

MANTOVANELLI^b, B. C.; CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; SILVA, P. C. S., SILVA, D. A. P., CUNHA, J. M., SILVA, D. M. P., SOARES, M. D. R. Distribuição Espacial da Emissão de CO₂ e Atributos do Solo sob Campo Nativo na Região de Humaitá, Amazonas. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 28, n. 2, p. 273-284, 2016. <https://doi.org/10.1590/1982-451320160207>

MARTINS, J. R.; FERNANDES, L. A.; OLIVEIRA, A. L. G.; SAMPAIO, R. A.; FRAZÃO, L. A. **Soil Microbial Attributes Under Agroforestry Systems in the Cerrado of Minas Gerais** Revista Floresta e Ambiente, [s.l.], [s.n.], p.1-9, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.047616>.

MATSUNAGA, Wendy Kaori.; RODRIGUES, Hernani José Brazão.; RODRIGUES, Possidônio Guimarães. Atributos Microbiológicos de Solo, Relacionados às Atividades da Microfauna em Solo na Floresta Amazônica. **Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ**, v.41, n.3, p. 630-638, 2018. https://doi.org/10.11137/2018_3_630_638

MONTEIRO, G. C.; FISCHER, G. R.; AGUIAR, L. J. G.; SCIVITTARO, W. B.; CONCEIÇÃO, L. F. C. **Emissão de CO₂ em culturas de soja e arroz irrigado - Safra 2013/2014 – RS**. Revista Brasileira de Geografia Física, [s.l.], p. 1071-1078, 2017. Disponível em: www.ufpe.br/rbgfe

MORÉN, A-S.; LINDROTH, A. CO₂ Exchange at the Floor of a Boreal Forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.101, p.1-14, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00160-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00160-4)

NEVES, L. H.; SANTOS, R. I. N.; TEIXEIRA, G. I. S.; ARAUJO, D. G.; SILVESTRE, W. V. D.; PINHEIRO, H. A. Leaf gas exchange, photochemical responses and oxidative damages in assai (*Euterpe oleracea* Mart.) seedlings subjected to high temperature stress. **Scientia Horticulturae**, v. 257, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108733>

NOWACKI, C. C. B.; RANGEL, M. B. A. **Química Ambiental**. 1ª edição. São Paulo: Érica, 2014.

OLIVEIRA, E. R. S.; SOARES, W. A. **Estimativa do Efluxo de Dióxido de Carbono em Resquícios de Caatinga**. Revista Diálogos, [s.l.], n.16, p. 121-137, 2016. http://www.revistadiálogos.com.br/Dialogos_16/Dial_16_Emilly_Willames.htm

OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; CUNHA, J. C.; SILVA, E. F. F., VELOSO, V. L. Leaf gas exchange in cowpea and CO₂ efflux in soil irrigated with saline water. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.21, n.1, p.32-37, 2017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p32-37>

PANG, X.; BAO, W.; ZHU, B.; CHENG, W. Responses of soil respiration and its temperature sensitivity to thinning in a pine plantation. **Agricultural And Forest Meteorology**, v.171-172, p.57-64, 2013. [10.1016/j.agrformet.2012.12.001](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.12.001).

PANTOJA, C. A.; ARAUJO, A. C.; MENDES, E. M. O.; SOUZA, C. M. A.; SANTIAGO, A. V.; SILVA, J. A. F.; ATAIDE, W. L. S.; AZEVEDO, C. M. B. C.; SOUZA, G. N.; YAKUWA, J. C. P. **Variação do CO₂ atmosférico e do efluxo de CO₂ do solo em iPF na Amazônia**. Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v.27, n.1, p.81-91, setembro, 2019.

PAVÃO, V. M.; QUERINO, C. A. S.; BENEDETTI, C. A.; PAVÃO, L. L.; QUERINO, J. K. A. S.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M.S. Temperatura e Albedo da Superfície por Imagens TM Landsat 5 em Diferentes Usos do Solo no Sudoeste da Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 169-183, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v16i0.40128>.

PINTO-JÚNIOR, O. B.; SANCHES, L.; DALMOLIN, A.C.; NOGUEIRA, J. S. Soil Efflux CO₂ in Mature Transitional Tropical Forest Amazônia and Pasture Area. Acta Amazonia, v.39, n.4, p.813-822 2009. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000400009>

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; MARIANO, G. L. Avaliação e Comparação de Radiação Solar Global e Albedo com Ângulo Zênital na Região Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 42-49, 2006.

SAIZ, G.; GREEN, C.; BUTTERBACH-BAHL, K.; KIESE, R.; AVITABILE, V.; FARRELL, E. P. **Seasonal and spatial variability of soil respiration in four Sitka spruce stands**. Plant and Soil, v. 287, n. 1-2, p. 161-176, 2006. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9052-0>

SHIBISTOVA, O.; LLOYD, J.; EVGRAFOVA, S.; SAVUSHKINA, N.; ZRAZHEVSKAYA, G.; ARNETH, A.; KNOHL.; KOLLE, O.; CHULZE, D. Seasonal and spatial variability in soil CO₂ efflux rates for a central Siberian *Pinus sylvestris* forest. **Chemical and Physical Meteorology**, v. 54, p.552-567, 2002. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v54i5.16687>

SILVA, D. A. P.; CAMPOS, M. C. C.; MANTOVANELLI, B. C.; SANTOS, L. A. C.; SOARES, M. D. R.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área de pastagem na região Amazônica, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n.1, p.119-126, 2019. <https://doi.org/10.5965/223811711812019119>

SILVA, M. A. G.; FARIA, G. G.; PEREIRA, L. A.; TONETTI, E. L.; SANTOS, E. Ensaio de respiração edáfica para avaliar o efeito de temperatura e umidade do solo como variáveis climáticas na emissão de CO₂ em espodossolo. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v.27, [s.n.], p.484-495, 2020. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v%25vi%25i.73500>.

SILVA^a, C. M.; VASCONCELOS, S. S.; MOURÃO JÚNIOR, M; BISPO, C. J. C.; KATO, O. R.; SILVA JÚNIOR, C.; CASTELLANI, D. C. Variação temporal do efluxo de CO₂ do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazônica**, v.46, p.1-12, 2016. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201500193>

SILVA^b, G. V. C.; VALENTINI, C. M. A.; PELEGRINE, R. A. G. F. Respiração do solo de uma área revegetada de cerrado, em Cuiabá – MT. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.8, n.1, p. 434-442, abril, 2016. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546196040>

SILVESTRE, W.V.D.; SILVA, P. A.; PALHETA, L.F.; OLIVEIRA NETO, C. F. SOUZA, R. O. R.; FESTICCI-BUSELLI, R. A.; PINHEIRO, H. A. Tolerância diferencial à deficiência hídrica em dois materiais vegetais de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Acta Physiol Plant**, V.39, p.1-10, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2301-9>

SOUTO, P. C.; BAKKE, I. A.; SOUTO, J. S.; OLIVEIRA, V. M. Cinética da Respiração Edáfica em Dois Ambientes Distintos no Semi-Árido da Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**, v.22, n.3, p. 52-58, 2009.

SOUZA, A. G. V.; FARIA, L. O.; BESERRA, G. A.; SILVA, G. G.; BORGES, L. P.; DIAS, F. V.; MATOS, F. S.; SANTOS, T. E. B. Micorrização e respiração microbiana do solo sob o cultivo de maracujá e pinhão manso em diferentes regimes hídricos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n.2, p.159-167, 2022. <https://doi.org/10.5965/223811712122022159>

VAL, A. D. Amazônia: Um Bioma Multinacional. *Ciência e Cultura*, v.66, n. 3, p.20-24, 2014. <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252014000300010>

VEEK, G. P.; TEICHRIEB, C.; DIAZ, M.; BREMM, T.; OLIVEIRA, M. E.; ROBERTI, D.; AMADO, T. J.; FIORIN, J. E.; BORTOLOTTI, R. P. Análise preliminar da relação entre emissão de CO₂ do solo e do ecossistema em um agroecossistema do sul do Brasil. **Revista Ciência e Natura**, [s.l.], v.40, [s.n.], p. 251–256, 2018. <https://doi.org/10.5902/2179460X30897>.

WANG, C.; HAN, Y.; CHEN, J.; WANG, X.; ZHANG, Q.; BOND-LAMBERTY, B. B. Seasonality of soil CO₂ efflux in a temperate forest: Biophysical effects of snowpack and spring freeze-thaw cycles. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.177, p.83-92, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.04.008>

WWF. Perfil Socioeconômico e ambiental do sul do Amazonas: Subsídios para Análise da Paisagem. Brasil, 2017.

ZANCHI, B.; MEESTERS, A. G. C. A. WATERLOO, M.J.; KRUIJT, B.; KESSELMEIER, J.; LUIZÃO, F. J.; DOLMAN, A. J. Soil CO₂ exchange in seven pristine Amazonian rain forest sites in relation to soil temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, 192–193, 96–107, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.03.009>