

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS E AMBIENTAIS

MARCELO RENAN DE OLIVEIRA TELES

**INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DA FLORESTA NA RESPIRAÇÃO DO SOLO EM
DIFERENTES SÍTIOS NA AMAZÔNIA CENTRAL**

Manaus – AM

2018

MARCELO RENAN DE OLIVEIRA TELES

INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DA FLORESTA NA RESPIRAÇÃO DO SOLO EM
DIFERENTES SÍTIOS NA AMAZÔNIA CENTRAL

Dissertação submetida ao Programa de Pós -
Graduação em Ciências Florestais e Ambientais
da Universidade Federal do Amazonas (PPG-
CIFA/UFAM) como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Ciências
Florestais e Ambientais, área de concentração:
Silvicultura.

Orientador: Celso Paulo de Azevedo, D. Sc.

Coorientador: Roberval Monteiro Bezerra de Lima, D. Sc.

Manaus – AM

2018



Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA



PARECER

Defesa nº 201

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, após arguir do mestrando **MARCELO RENAN DE OLIVEIRA TELES**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulada **"INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DA FLORESTA NA RESPIRAÇÃO DO SOLO EM DIFERENTES SÍTIOS NA AMAZÔNIA CENTRAL"** é de parecer favorável à APROVAÇÃO do mestrando habilitando-o ao título de Mestre "*Magister Scientiae*" em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.

Doutor Roberval Monteiro Bezerra de Lima
Pesquisador(a) da Embrapa Amazônia Ocidental - EMBRAPA
Presidente

Doutor Aleksander Westphal Muniz
Pesquisador(a) da Embrapa Amazônia Ocidental - EMBRAPA
Primeiro (a) Examinador (a)

Doutora Raquel da Silva Medeiros
Pesquisador(a) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA
Segundo (a) Examinador (a)

Manaus, 31 de agosto de 2018.



Prof. Dr. Marciel José Ferreira
Coordenador do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais - PPG-CIFA

Ficha Catalográfica

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

T269i Teles, Marcelo Renan de Oliveira
Influência da estrutura da floresta na respiração do solo em
diferentes sítios na Amazônia Central / Marcelo Renan de Oliveira
Teles. 2018
100 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Celso Paulo de Azevedo
Coorientador: Roberval Monteiro Bezerra de Lima
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Efluxo de Gases. 2. Dióxido de Carbono. 3. Metano. 4. Óxido
Nitroso. 5. Mudanças Climáticas. I. Azevedo, Celso Paulo de II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos Pais, João Marinho e Maria do Socorro;

A minha Amada Esposa Cristiane Teles;

Aos meus Amados filhos Davi e Luisa;

A minha querida irmã Sanalinda;

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Deus, pela dádiva da Vida, pela saúde e pelo Amor;

Ao Meu Guia Espiritual, José Gabriel da Costa, Mestre Gabriel, por seus ensinamentos de como ser uma pessoa de boa conduta, por estar sempre presente nos momentos de aflição e também de alegria;

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestas e Ambientais (PPGCIFA) pela grande oportunidade de aprimoramento acadêmico;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e suas unidade no Amazonas pelo apoio necessário para realização da pesquisa;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado;

Aos meus orientadores Dr. Celso Paulo de Azevedo e Dr. Roberval Monteiro Bezerra de Lima pela orientação, confiança, respeito, amizade, nobreza em transmitir o conhecimento e pela grande contribuição à minha formação;

Ao Dr. Jörg Matschullat pela grande contribuição no desenvolvimento da pesquisa, pelo aprendizado durante as atividades de campo, pela confiança e oportunidade em participar do Projeto EcoRespira Amazon;

Ao Professor MSc. José Brandão de Moura, pela amizade, pelo aprendizado acadêmico durante a graduação e pelo conselho para que eu realizasse minha pós-graduação a nível de mestrado;

Ao projeto EcoRespira Amazon pela disponibilização de parte dos dados para realização da pesquisa;

A Technische Universität Bergakademie Freiberg pelas análises laboratoriais de gases e solos;

Aos responsáveis da Empresa Agropecuária Aruanã S. A. Sr. Sérgio Vergueiro e aos funcionários pelo apoio durante às atividades de campo;

Ao Senhor Eduardo Vasconcelos, por ter permitido a instalação de uma parcela para coleta de dados em sua propriedade;

A todos os professores do PPGCIFA pelo empenho em transmitir o conhecimento e proporcionar o desenvolvimento acadêmico do corpo discente;

Aos funcionários da EMBRAPA os quais tive oportunidade de compartilhar momentos importantes no decorrer da pesquisa;

A minha querida e amada família, Cristiane minha esposa e meus amados filhos Davi e Luisa, pela compreensão, paciência, incentivos, carinho e total apoio na concretização do sonho de Mestrado;

Aos colegas da turma de mestrado nota 100, Márcio Abreu, Helender Ueno, Susane Carvalho, Nadiele Pacheco, Danielly Ferreira de Araujo, Conceicao Pereira de Oliveira, Erico Fernando Trevisan, Julio Ferreira Falcao, Kellyson Luiz Reis Mota;

A Gillieny, secretária do PPGCIFA pelo empenho em atender às demandas do programa e pelo excelente atendimento aos alunos;

Enfim, a todos os caríssimos amigos e colegas que contribuíram para a realização deste trabalho, muitíssimo grato!

RESUMO

O papel das florestas tropicais nas mudanças globais vem sendo estudado há vários anos e por vários pesquisadores do mundo, em função da sua dimensão e inter-relação com os gases de efeito estufa que influenciam no aquecimento do globo. O objetivo deste estudo é investigar a influência da estrutura da floresta na respiração do solo em diferentes sítios. Esta pesquisa foi realizada na Amazônia Central, na região metropolitana de Manaus, abrangendo 5 municípios, Manaus, Itacoatiara, Rio Preto da Eva, Iranduba e Manacapuru. As variáveis dependentes selecionadas para as análises foram o efluxo de CO₂, CH₄ e N₂O, que apresentaram médias de 6,23 μmolCO₂m⁻²s⁻¹; -4,86 μmolCH₄m⁻².h⁻¹ e 1,33 μmolN₂Om⁻²h⁻¹, respectivamente. Foram realizadas análises de correlação para avaliar as relações entre as variáveis das florestas, onde área basal, DAP máximo e índice de shannon apresentaram sinais de correlação com a respiração do solo; por sua vez as variáveis edafoclimáticas umidade do ar, umidade do solo e temperatura do ar também apresentaram correlações com os fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O. Análises de regressão foram realizadas para investigar a possibilidade de predição de fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O. Foram ajustados modelos de predição com as variáveis da estrutura da floresta como área Basal, dap médio e Índice de Shannon bem como a partir das variáveis edafoclimáticas. As médias dos parâmetros da estrutura floresta mostraram diferenças significativas entre os sítios estudados. O efluxo de gases de efeito estufa a partir do solo, nos sítios sob cobertura de florestas não apresentaram diferenças relacionadas ao CO₂, entretanto apresentaram diferenças significativas entre alguns sítios para efluxos de CH₄ e N₂O. O presente estudo apresentou diferenças quando comparados efluxos de gases entre os sítios florestais e em sítios que ocorreram mudanças no uso da terra (pós-florestas).

Palavras chaves: efluxo de gases, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, mudanças climáticas, estrutura, floresta tropical.

ABSTRACT

The role of tropical forests in global change has been studied for several years and by various researchers in the world, due to its size and interrelation with the greenhouse gases that influence the global warming. The objective of this study is to investigate the influence of forest structure on soil respiration in different sites. This research was carried out in the central Amazonia, in the metropolitan region of Manaus, covering 5 municipalities, Manaus, Itacoatiara, Rio Preto da Eva, Iranduba and Manacapuru. The dependent variables selected for the analyzes were the efflux of CO₂, CH₄ and N₂O, which presented a mean of 6.23 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$; -4.86 $\mu\text{molCH}_4\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ and 1.33 $\mu\text{molN}_2\text{Om}^{-2}\text{h}^{-1}$, respectively. Correlation analyzes were performed to evaluate the relationships between forest variables, where basal area, maximum DAP and shannon index showed signs of correlation with soil respiration; in turn the soil air humidity, soil moisture and air temperature variables also presented correlations with CO₂, CH₄ and N₂O fluxes. Regression analyzes were performed to investigate the possibility of prediction of CO₂, CH₄ and N₂O fluxes. Prediction models were adjusted with forest structure variables such as Basal area, mean dap and Shannon index as well as from the edaphoclimatic variables. The averages of the parameters of the forest structure showed significant differences between the studied sites. The efflux of greenhouse gases from the ground, in the sites under forest cover did not present differences related to CO₂, however they presented significant differences among some sites for CH₄ and N₂O efflux. The present study presented differences when comparing gas outflows between forest sites and at sites that have changed land use (after-forests).

Keywords: efflux of gases, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, climate change, structure, tropical forest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo do Carbono. Fonte: Bio-DiTRL, (2008).....	10
Figura 2. Correlação entre respiração do solo e DAP a distância de 6m da medida de respiração (KATAYAMA et al., 2009).	13
Figura 3. Parte do estado do Amazonas com os 13 locais de amostragem (Map: Lennart Kieschnik). Cada local representa pelo menos dois sítios com cobertura de floresta e pós-floresta. (Fonte: Relatório final NoPa II – projeto EcoRespira-Amazon, 2017).....	15
Figura 4. Localização das áreas de estudos.	16
Figura 5: Representação esquemática das parcelas utilizadas nos sítios, Embrapa Amazônia Ocidental, Faz. Eduardo Vasconcelos, Embrapa Caldeirão, CEDAS Embrapa, Faz. Aruanã. 20	
Figura 6 Gráfico de DAP médio entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).	30
Figura 7 Gráfico de médias de DAP máximo entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).....	31
Figura 8 Gráfico de médias de Área Basal entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).....	32
Figura 9 Gráfico de médias de Volume entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).	33
Figura 10 Gráfico de médias de CO ₂ entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).	34
Figura 11 Gráfico de médias de CH ₄ entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta,	

DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).....	35
Figura 12 Gráfico de médias de N ₂ O entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).....	36
Figura 13 Gráfico de médias de Umidade do Ar entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).....	37
Figura 14 Gráfico de médias de Umidade do Solo entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).....	38
Figura 15 Gráfico de médias de Temperatura do Ar entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).....	39
Figura 16 Gráfico de médias de Temperatura do Solo entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).....	40
Figura 17 Gráfico de médias de Carbono do Solo entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).....	41
Figura 18 Gráfico de médias de Nitrogênio do Solo entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).....	42
Figura 19 Gráfico de médias de C:N do Solo entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã	

Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).....	42
Figura 20 Gráfico da matriz de correlação de pearson entre parâmetros da estrutura da floresta. As elipses com as maiores intensidades de colorações indicam maiores correlações, a inclinação da elipse com a parte superior para o lado direito, mostra que a correlação é positiva sendo negativas se estiverem para o lado esquerdo.	43
Figura 21 Gráfico de regressão de fluxo de CO ₂ em função da área basal, considerando os sítios sob cobertura de florestas. co2 = fluxo de CO ₂ ; gtotal = área basal.....	45
Figura 22 Gráfico de regressão de fluxo de CO ₂ em função de DAP máximo, considerando os sítios sob cobertura de florestas. co2 = fluxo de CO ₂ ; maxdap = DAP máximo basal.	46
Figura 23 Gráfico de regressão para variável independente Número de indivíduos, considerando os sítios sob cobertura de florestas. co2 = fluxo de CO ₂ ; numind = Número de indivíduos na parcela.....	47
Figura 24 Gráfico de regressão de fluxo de CO ₂ em função do Índice de Shannon, considerando os sítios sob cobertura de florestas. co2 = fluxo de CO ₂ ; Shannon = Índice de shannon.....	48
Figura 25 Gráfico da matriz de correlação de pearson dos sítios sob cobertura florestal. As elipses com as maiores intensidades de colorações indicam maiores correlações, a inclinação da elipse com a parte superior para o lado direito, mostra que a correlação é positiva sendo negativas se estiverem para o lado esquerdo.	49
Figura 26 Matriz de correlação de pearson dos sítios sob cobertura pós floresta. As elipses com as maiores intensidades de colorações indicam maiores correlações, a inclinação da elipse com a parte superior para o lado direito, mostra que a correlação é positiva sendo negativas se estiverem para o lado esquerdo.	50
Figura 27 Gráfico de regressão do fluxo de CO ₂ em função da Umidade do ar, considerando os sítios sob cobertura de florestas. CO ₂ = fluxo de CO ₂ ; humair = umidade do ar.....	51
Figura 28 Gráfico de regressão do fluxo de CO ₂ em função da Umidade do Ar considerando os sítios sob cobertura pós floresta, CO ₂ = fluxo de CO ₂ ; humair = umidade do ar.....	51
Figura 29 Gráfico de regressão do fluxo de CO ₂ em função da Umidade do solo, considerando os sítios sob cobertura de florestas. CO ₂ = fluxo de CO ₂ ; humsol = umidade do solo.	52
Figura 30 Gráfico de regressão do fluxo de CO ₂ em função da Umidade do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CO ₂ = fluxo de CO ₂ ; humsol = umidade do solo.	53
Figura 31 Gráfico de regressão do fluxo de CO ₂ em função da Temperatura do ar, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CO ₂ = fluxo de CO ₂ ; tempair = temperatura do ar.....	54

Figura 32 Gráfico de regressão do fluxo de CO ₂ em função da Temperatura do ar, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CO ₂ = fluxo de CO ₂ ; temp _{ar} = temperatura do ar.	54
Figura 33 Gráfico de regressão do fluxo de CO ₂ em função do Carbono do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CO ₂ = fluxo de CO ₂ ; C = carbono do solo.	55
Figura 34 Gráfico de regressão do fluxo de CO ₂ em função do Carbono do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CO ₂ = fluxo de CO ₂ ; C = carbono do solo.	56
Figura 35 Gráfico de regressão do fluxo de CO ₂ em função do Nitrogênio do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CO ₂ = fluxo de CO ₂ ; N = nitrogênio do solo.	57
Figura 36 Gráfico de regressão do fluxo de CO ₂ em função do Nitrogênio do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CO ₂ = fluxo de CO ₂ ; N = nitrogênio do solo.	57
Figura 37 Gráfico de regressão do fluxo de CH ₄ em função da Umidade do ar, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CH ₄ = fluxo de CH ₄ ; hum _{air} = umidade do ar.	58
Figura 38 Gráfico de regressão do fluxo de CH ₄ em função da Umidade do ar, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CH ₄ = fluxo de CH ₄ ; hum _{air} = umidade do ar.	59
Figura 39 Gráfico de regressão do fluxo de CH ₄ em função da Umidade do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CH ₄ = fluxo de CH ₄ ; hum _{sol} = umidade do solo.	60
Figura 40 Gráfico de regressão do fluxo de CH ₄ em função da Umidade do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CH ₄ = fluxo de CH ₄ ; hum _{sol} = umidade do solo.	60
Figura 41 Gráfico de regressão do fluxo de CH ₄ em função da Temperatura do ar, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CH ₄ = fluxo de CH ₄ ; temp _{ar} = temperatura do ar.	61
Figura 42 Gráfico de regressão do fluxo de CH ₄ em função da Temperatura do ar, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CH ₄ = fluxo de CH ₄ ; temp _{ar} = temperatura do ar.	62
Figura 43 Gráfico de regressão do fluxo de CH ₄ em função do Carbono do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CH ₄ = fluxo de CH ₄ ; C = carbono do solo.	63
Figura 44 Gráfico de regressão do fluxo de CH ₄ em função do Carbono do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CH ₄ = fluxo de CH ₄ ; C = carbono do solo.	63
Figura 45 Gráfico de regressão do fluxo de CH ₄ em função do Nitrogênio do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CH ₄ = fluxo de CH ₄ ; N = nitrogênio do solo.	64
Figura 46 Gráfico de regressão do fluxo de CH ₄ em função do Nitrogênio do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CH ₄ = fluxo de CH ₄ ; N = nitrogênio do solo.	65
Figura 47 Gráfico de regressão do fluxo de N ₂ O em função da Umidade do ar, considerando os sítios sob cobertura de floresta. N ₂ O = fluxo de N ₂ O; hum _{air} = umidade do ar.	66

Figura 48 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função da Umidade do ar, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; humair = umidade do ar.	66
Figura 49 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função da Umidade do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; humsol = umidade do solo.	67
Figura 50 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função da Umidade do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; humsol = umidade do solo.....	68
Figura 51 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função da Temperatura ar, considerando os sítios sob cobertura de floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; tempair = temperatura do ar.....	69
Figura 52 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função da Temperatura do ar, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; tempair = temperatura do ar.....	69
Figura 53 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função do Carbono do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; C = carbono do solo.	70
Figura 54 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função do Carbono do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; C = carbono do solo.....	71
Figura 55 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função do Nitrogênio do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; N = nitrogênio do solo.....	72
Figura 56 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função do Nitrogênio do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; N = nitrogênio do solo.....	72
Figura 57 Boxplot exploratório para fluxos de CO_2 em função de diferentes sistemas (Floresta e Pós Floresta).	74
Figura 58 Boxplot exploratório para fluxos de CH_4 em função de diferentes sistemas (Floresta e Pós Floresta).	74
Figura 59 Boxplot exploratório para fluxos de N_2O em função de diferentes sistemas (Floresta e Pós Floresta).	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Respiração do solo em diferentes regiões (adaptado) (ADACHI et al., 2006).....	14
Tabela 2: Coordenadas geográficas das áreas de coleta de dados.	16
Tabela 3. Teste ScottKnott para médias das variáveis dos inventários florestais dos sítios. ...	29
Tabela 4 Teste ScottKnott para médias de respiração do solo entre os sítios florestais.....	33
Tabela 5 Teste ScottKnott para médias de umidade do ar e do solo, temperatura do ar e do solo entre os sítios florestais.	36
Tabela 6 Teste ScottKnott para médias de Carbono, Nitrogênio e C:N entre os sítios florestais	40
Tabela 7 Teste ScottKnott para médias de fluxo de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O entre os sistemas Floresta e Pós Floresta.....	75

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
1 OBJETIVOS	3
1.1 GERAL.....	3
1.2 ESPECÍFICOS.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 FLORESTAS TROPICAIS	4
2.2 FONTES DE FLUXO DE CO ₂	5
2.3 SOLO.....	6
2.3.1 Temperatura do solo	6
2.3.2 Umidade do solo.....	8
2.4 RESPIRAÇÃO DO SOLO	9
2.4.1 Dinâmica do Carbono.....	9
2.4.2 Dinâmica do Metano.....	11
2.4.3 Dinâmica do N ₂ O.....	11
2.5 INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DA FLORESTA NA RESPIRAÇÃO DO SOLO	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	16
3.1.1 Embrapa Amazônia Ocidental.....	17
3.1.2 Fazenda Eduardo Vasconcelos	17
3.1.3 Campo Experimental da Embrapa em Iranduba.....	17
3.1.4 Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (CEDAS).....	18
3.1.5 Fazenda Aruanã	19
3.2 UNIDADES AMOSTRAIS.....	19
3.3 COLETA DE DADOS	20
3.3.1 Inventário.....	20

3.3.2	Respiração do solo.....	21
3.3.3	Temperatura do Solo.....	23
3.3.4	Umidade do Solo	23
3.3.5	Amostra de solo	23
3.3.6	Determinação da relação Carbono, Nitrogênio (C:N)	24
3.4	ANÁLISE DOS DADOS	24
3.4.1	Inventário florestal.....	24
3.4.2	Análise estatística das variáveis	26
3.4.3	Análise de correlação e regressão das variáveis	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	INVENTÁRIO FLORESTAL	29
4.1.1	Média dos diâmetros a altura do peito.....	29
4.1.2	Diâmetros Máximos.....	30
4.1.3	Área Basal.....	31
4.1.4	Volume	32
4.2	RESPIRAÇÃO DO SOLO NOS SÍTIOS FLORESTAIS	33
4.2.1	Média de CO ₂ por sítio	33
4.2.2	Média de CH ₄ por sítio	34
4.2.3	Média de N ₂ O por sítio.....	35
4.3	TEMPERATURA E UMIDADE NOS SÍTIOS FLORESTAIS	36
4.3.1	Média de Umidade do Ar por sítio.	37
4.3.2	Média de Umidade do Solo por sítio.	37
4.3.3	Média de Temperatura do Ar por sítio.	38
4.3.4	Média de Temperatura do Solo por sítio.	39
4.4	ANÁLISE DO SOLO NOS SÍTIOS FLORESTAIS	40
4.4.1	Média de Carbono do Solo por sítio.....	40
4.4.2	Média de Nitrogênio do Solo por sítio.	41

4.4.3 Média da Relação Carbono Nitrogênio do Solo por sítio.....	42
4.5 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO E REGRESSÃO	43
4.5.1 Correlação entre variáveis nos sítios florestais.....	43
4.5.2 Regressão entre variáveis nos sítios florestais.....	44
4.5.3 Correlação entre variáveis do sistema Floresta e Pós Floresta.	48
4.5.4 Regressão entre variáveis do sistema Floresta e Pós Floresta.	50
4.6 ANÁLISE DE DIFERENTES COBERTURAS DE SOLO.....	73
4.6.1 Respiração do solo no sistema floresta e pós floresta.....	73
5 CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

INTRODUÇÃO

O aquecimento global, é um fenômeno natural, climático de larga extensão, onde o aumento da temperatura média da superfície terrestre é provocado por fatores internos e/ou externos. Os fatores internos estão associados aos sistemas climáticos não lineares, ou seja, inconstantes, devido a variáveis como: atividade solar, composição físico-química da atmosfera, tectonismo e vulcanismo. Os fatores externos estão associados aos fatores relacionados a atividade humana, principalmente, pela emissão de gases de efeito estufa, por meio da queima de combustíveis fósseis derivados do petróleo, indústrias, refinarias, motores, queimadas etc. (SILVA; PAULA, 2009).

O dióxido de carbono (CO_2), óxido de nitrogênio (NO), óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4), são gases de grande importância no cenário do efeito estufa, e por consequência do aquecimento global, uma vez que as propriedades físicas e químicas da atmosfera podem ser influenciadas pelas concentrações destes gases, de forma a alterar o balanço energético do planeta (FERREIRA et al., 2013).

Em florestas, estima-se que de 50 a 84% do dióxido de carbono emitido sejam oriundos do solo, entretanto este processo pode variar conforme o tipo de solo e vegetação (OLIVEIRA, 2014).

Grande parte do CO_2 produzido no solo é liberado para a atmosfera como efluxo de CO_2 , onde este processo reflete a respiração do solo, que é um dos principais fatores do ciclo global do carbono, contribuindo com cerca de 50% do carbono que compõe a respiração total do ecossistema (FERREIRA et al., 2013). O carbono estocado no solo é duas ou três vezes maior que o existente na atmosfera, no entanto, sua liberação é influenciada pela velocidade da decomposição da matéria orgânica. Esta pode ser influenciada por características ambientais como: vegetação, clima, temperatura, propriedades físicas do solo, diferentes concentrações de dióxido de carbono (CO_2) no sistema solo-atmosfera e também pela flutuação da pressão do ambiente (VALENTINI, 2004; COELHO, 2005). A respiração total do solo tem contribuição não só da respiração das raízes, mas também da decomposição do carbono oriundo da rotação de raízes finas e exsudados radiculares (SOE; BUCHMANN, 2005).

O fluxo de CO_2 no solo depende do tipo do solo, temperatura e umidade do solo, ocorrência de precipitação, taxa de fotossíntese das plantas e substratos disponíveis para decomposição no solo (OLIVEIRA, 2014). Os fluxos de CO_2 podem variar no tempo e no espaço conforme a heterogeneidade do sistema e dinâmica dos fatores que os controlam.

Embora muito importante, o fluxo de CO₂ do solo para a atmosfera é pouco conhecido em termos de variação sazonal e quantidade respirada nos diferentes tipos de cobertura do solo (LE DANTEC; EPRON; DUFRENE, 1999; DIAS, 2006). Por essas razões tornam-se necessárias medições de fluxo do CO₂ no solo em vários ecossistemas e em diferentes condições climáticas.

Como a respiração das raízes e a decomposição da camada de matéria orgânica dependem da alocação do carbono subterrâneo pela vegetação, elas podem estar intimamente ligadas à estrutura da floresta em alguns ecossistemas (STOYAN et al., 2000; SOE; BUCHMANN, 2005). Parte da estrutura de uma floresta pode ser explicada através da avaliação de sua distribuição diamétrica, a qual é definida pela caracterização do número de árvores por unidade de área e por intervalo de classe de diâmetro (PIRES O'BRIEN & O'BRIEN, 1995).

Portanto, o conhecimento do arranjo espacial das árvores e da estrutura da copa pode ser uma ferramenta prática para explicar as variações espaciais na respiração do solo em florestas tropicais, o que nos permite extrapolar medições baseadas em amostragens espacialmente limitadas para estimativas em escala. Além disso, o uso de fatores estruturais florestais tem vantagens sobre o uso de outros fatores que exigem dispositivos especiais e técnicas de medição. No entanto, há pouca informação sobre os efeitos da estrutura da floresta sobre as variações espaciais na respiração do solo em florestas tropicais (SOTTA et al., 2004).

Estudos da influência da estrutura da floresta na respiração do solo são fundamentais para o conhecimento da dinâmica dos fluxos de gases no sistema solo além do desenvolvimento de estratégias de uso sustentável da vegetação e do solo. A existência de relação entre parâmetros da estrutura da floresta e respiração do solo possibilita a utilização de dados de inventários florestais para estimativas das taxas de respiração do solo. Com isto contribui para o melhor gerenciamento do uso sustentável dos recursos naturais e maior conhecimento sobre as emissões de gases de efeito estufa oriundos do solo. Assim, baseado no exposto acima, este estudo visa avaliar a possível influência de parâmetros da estrutura da floresta, bem como o efeito da umidade e temperatura do solo sobre o efluxo de gases a partir do solo (respiração) em diferentes áreas de florestas tropicais na Amazônia Central. Os resultados desta pesquisa poderão ser utilizados para o desenvolvimento acadêmico e científico na silvicultura e manejo e conservação dos recursos naturais, possibilitando a criação de mecanismos para estimativa da respiração do solo a partir de dados da estrutura da floresta.

1 OBJETIVOS

1.1 GERAL

Avaliar a influência da estrutura das florestas, temperatura e umidade do solo na respiração do solo em diferentes sítios na Amazônia central.

1.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Comparar a estrutura florestal de diferentes sítios;
- ✓ Comparar as taxas de respiração do solo de diferentes sítios sob diferentes tipos de cobertura vegetal;
- ✓ Analisar a relação entre respiração do solo (CO_2 , CH_4 e N_2O) e os parâmetros estruturais da floresta (DAP médio, DAP máximo, área basal (G) e volume (V));
- ✓ Analisar a relação entre respiração do solo e as diferentes condições de temperatura do solo em função das diferentes coberturas de vegetação;
- ✓ Analisar a relação entre respiração do solo e as diferentes condições de umidade do solo em função das diferentes coberturas de vegetação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FLORESTAS TROPICAIS

As florestas tropicais são caracterizadas por densa vegetação, formada principalmente por espécies arbóreas, que podem alcançar alturas superior a 30m. Estas florestas são compostas por complexas diversidades de flora e fauna (VALENTINI, 2004).

A Floresta Amazônica é considerada a maior floresta tropical do mundo, com uma grande biodiversidade. Possui uma área estimada de 6,3 milhões de quilômetros quadrados, sendo que aproximadamente 5 milhões destes, em território brasileiro, e o restante são divididos em outros países da América do Sul (OLIVEIRA, 2014).

Durante as últimas décadas a região amazônica tem sofrido grandes alterações no padrão do uso do solo, principalmente, através de intenso processo de ocupação humana (ARTAXO et al., 2006). Estas alterações no uso do solo são responsáveis por emissões significativas de gases traço e partículas de aerossóis para a atmosfera, através das queimadas, tanto de áreas de pastagem quanto de floresta primária (ARTAXO et al., 2006).

Novos cálculos do fluxo de dióxido de carbono (CO_2), revelaram que a quantidade desse gás absorvido naturalmente por esse ecossistema tropical é igual ou apenas ligeiramente maior do que a emitida e não absurdamente maiores como estudos prévios indicaram (COELHO, 2005).

Além das emissões de gases de efeito estufa por fatores antropogênicos, principalmente as queimadas, como principal mecanismo de abertura de áreas para novas ocupações, a floresta amazônica, por sua localização tropical e seu intenso metabolismo é uma fonte natural importante de gases traço, aerossóis e vapor de água para atmosfera global (ANDREAE; CRUTZEN, 1997; ARTAXO et al., 2006).

Os fatores antropogênicos, inegavelmente tem alterado as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, este processo foi intensificado a partir do período pré-industrial e vem aumentando nos dias atuais (OLIVEIRA, 2014), onde o aumento das concentrações de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) vem ganhando destaque no cenário das mudanças climáticas.

2.2 FONTES DE FLUXO DE CO₂

O fluxo de CO₂ é a liberação do gás para atmosfera e, portanto, depende da produção de CO₂ no solo e do processo físico de fluxo de gás para fora do solo (COELHO, 2005). Apesar do processo de produção de CO₂ variar nos biomas, é notável que as maiores taxas de fluxos de CO₂ são encontradas nas florestas tropicais úmidas. Estas apesar de possuírem as maiores extensões dentre os demais ecossistemas, ainda são pouco monitoradas (OLIVEIRA, 2014). O baixo monitoramento destes ecossistemas pode ser atribuído a dificuldades logísticas relacionadas às grandes extensões e poucas condições de acesso.

O fluxo do dióxido de carbono engloba os processos de difusão passiva de CO₂, onde os processos biológicos e físico-químicos desencadeiam as trocas de CO₂ entre os compartimentos de um sistema. Neste sistema a respiração do solo envolve processos químicos e biológicos onde ocorrem a liberação do CO₂ para atmosfera. Os principais fatores que influenciam neste fluxo são: decomposição da serapilheira, respiração dos microrganismos (bactérias e fungos), respiração da macrofauna, fermentação do solo (condições de anaerobiose) e oxidação química, onde todos estes processos estão relacionados a decomposição da matéria orgânica do solo (DIAS, 2006).

Os agentes responsáveis pela produção de CO₂ no solo são divididos em dois grupos: os organismos heterotróficos e autotróficos. Os organismos heterotróficos são subdivididos em: microrganismos do solo principalmente fungos, bactérias e a macrofauna, que por sua vez necessita de outros organismos para sua alimentação. Este grupo tem grande importância no compartilhamento de CO₂, devido à grande quantidade destes organismos no solo. Os organismos autotróficos são capazes de produzir seu próprio alimento e são representados pelas plantas que contribuem com o efluxo de CO₂ pela respiração das raízes (KUZUYAKOV, 2006).

A maior parte do CO₂ produzido no solo é liberada para a atmosfera, assim, o fluxo de CO₂ medido no solo, sobre longos períodos, reflete a respiração do solo (DIAS, 2006). Para se conhecer o movimento de carbono no sistema pode ser feita a quantificação do fluxo de CO₂ do solo, ou seja, a avaliação da exportação gasosa de CO₂ do solo para a atmosfera (FEARNSIDE, 1986).

2.3 SOLO

Por definição, o solo é uma mistura de sólidos orgânicos e inorgânicos, ar, água e microrganismos, que se encontram na superfície (crosta) terrestre. Todos esses elementos interagem entre si, onde os microrganismos têm papel fundamental na catalisação de muitas reações, considerando-se o solo como um meio de crescimento para as plantas, determinado por sua fertilidade (COELHO, 2005).

O solo compõe-se de um material-matriz, o substrato subjacente geológico ou mineral, e de um incremento orgânico no qual os organismos e os seus produtos estão misturados com o material-matriz finamente dividido e modificado (VALENTINI, 2004).

O fluxo vertical da água é o único meio de arraste para transporte de solutos, sendo que os efeitos térmicos no movimento de soluto não são considerados (COELHO, 2005).

Os solos das florestas tropicais têm importante participação na dinâmica de processos químicos e físicos da atmosfera, uma vez que atuam como fonte e sumidouro de diversos gases de efeito estufa, principalmente o CO₂, tendo atuação significativa no balanço global do carbono (DIAS, 2006).

O solo pode ser dividido em três fases: sólida, líquida e gasosa. A fase sólida compreende a fração mineral, inorgânica, oriunda da decomposição da rocha-mãe (material-matriz) por ação do intemperismo e pela fração orgânica, a qual é proveniente da decomposição de animais e vegetais que ocorre pelo processo de mineralização e humificação.

A fase líquida é considerada a solução do solo, ocupando os microporos, existentes na fase sólida. Enquanto que, a fase gasosa, também conhecida como ar do solo, ocupa os espaços vazios da fase sólida que não se encontram preenchidos pela fase líquida, ou seja, os macroporos. Os volumes das fases líquida e gasosa são inversamente proporcionais. Quando o solo atinge sua capacidade máxima de retenção de água, o teor de ar do solo tende a zero. A presença do ar no solo é importante, pois leva ao ambiente o oxigênio (O₂) para a respiração da biota, e conseqüente mineralização da matéria orgânica (VALENTINI, 2004).

2.3.1 Temperatura do solo

A energia solar que atinge a superfície da terra, influencia diretamente em alguns processos físicos relevante a vida na terra, entre eles o aquecimento do ar, por meio da

convecção e o aquecimento do solo (radiação), sendo a radiação solar, responsável pelas variações de temperatura nos referidos meios (COELHO, 2005).

A energia solar que chega na superfície terrestre, em forma de radiação de ondas curtas, aquece a superfície, e é devolvida para o espaço na forma de radiação infravermelha (ondas longas) (PANOSSO, 2006).

A temperatura do solo, tanto na superfície como em diferentes profundidades, pode variar bastante no tempo e no espaço. A oscilação da temperatura do solo apresenta ciclos horários, diários e anuais (OLIVEIRA, 2014).

O processo de respiração do solo é fortemente influenciado por fatores ambientais como a temperatura e umidade do solo, podendo variar de acordo com a estação do ano (DIAS, 2006). Devido à variação na temperatura ser resultante do fluxo de calor no solo, torna-se um componente necessário ao balanço de energia oriundo da superfície; sendo este, portanto, capaz de justificar o armazenamento e a transferência de calor dentro do solo e, ainda, as trocas entre o solo e a atmosfera (CORTEZ, 2015).

A temperatura do solo influencia diretamente nas reações químicas de liberação de nutrientes para as plantas, no entanto podem ser interrompidas se as faixas de temperatura do solo não apresentarem condições adequadas para a manutenção dos processos fisiológicos envolvidos (DIAS, 2006).

Um aumento da temperatura do solo leva a maiores emissões e a maiores taxas de respiração do solo como resposta de interação positiva do aumento do metabolismo microbiano (OERTEL et al., 2016).

O fluxo de carbono do solo é altamente sensível à mudança de temperatura. Portanto, pequenas mudanças na temperatura da superfície do solo, podem influenciar a magnitude do fluxo de CO₂. Desta forma, se ocorrer um aumento na emissão de CO₂ do solo para a atmosfera, poderá ter um efeito positivo na concentração atmosférica ou nas mudanças globais (DIAS, 2006).

A sazonalidade da temperatura do solo tem uma forte influência na respiração do solo podendo causar variações nesse processo. A taxa de respiração do solo é um indicador de atividade microbiana do solo, aumentando linearmente com a temperatura (OLIVEIRA, 2014).

2.3.2 Umidade do solo

A umidade do solo é o parâmetro mais importante para as emissões de gases do solo, pois controla a atividade microbiana e todos os processos relacionados (OERTEL et al., 2016). Assim a umidade é um dos fatores fundamentais nos processos de trocas de calor no sistema solo-atmosfera. Estes sistemas interagem por meio das trocas de umidade, energia interna (calor). As propriedades do solo influenciam o armazenamento e perda de água para atmosfera, além de regular a infiltração nas várias camadas do solo (condutividade e difusividade hidráulicas) (DIAS, 2006).

A relação entre o potencial matricial e o conteúdo de água do solo é uma característica do solo, denominada de curva de retenção ou curva característica da água no solo. A retenção de água é uma propriedade do solo, relacionada às forças superficiais que determinam o nível de energia da água do solo (DIAS, 2006).

Devido nos trópicos as variações de temperatura serem pequenas e a variação do solo da floresta tropical também serem baixas, este fator temperatura não explica as diferenças de fluxo de CO₂. Entretanto, devida a variação da umidade ser maior, este fator tem sido indicado como importante para definir a atividade biológica e determinante no fluxo de CO₂ (SOTTA, 1998).

A umidade do solo possui elevado grau de variabilidade no espaço e no tempo, controlada por fatores como: tempo, textura do solo, vegetação e topografia (CORTEZ, 2015). Como a sazonalidade, variabilidade temporal e espacial da umidade do solo exerce forte influência no processo de decomposição microbiana, pode haver aumento da respiração do solo. Estudos sobre emissão de CO₂ encontraram relação significativa deste processo com a umidade do solo, sugerindo que o nível de umidade ótimo para a emissão de CO₂ ocorre na capacidade de campo (DIAS, 2006). Entretanto, este nível de umidade seria prejudicial à atividade aeróbica, que é a maior fonte de CO₂ emitido do solo (HOWARD; HOWARD, 1993).

Em contraste, as bactérias produtoras de CH₄ e N₂O requerem condições anaeróbicas. Com isto, principalmente a produção de CH₄, em função de requerer condições estritamente anaeróbicas, correlaciona-se positivamente com a umidade do solo (OERTEL et al., 2016).

2.4 RESPIRAÇÃO DO SOLO

A respiração do solo é a oxidação da matéria orgânica no solo, e inclui a respiração de raízes e organismos do solo (VALENTINI, 2004). É um dos maiores e mais importantes fluxos do carbono do ecossistema terrestre, e pode ser medido por diferentes métodos: i) covariância de vórtices turbulentos (permite medição da respiração do solo no período noturno) e ii) o uso de câmaras colocadas sobre o solo (permite uma medida direta da respiração que ocorre dentro das camadas do solo e da serapilheira (DAVIDSON et al., 2002).

Os solos atuam como fontes e sumidouros para gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). A umidade do solo, a temperatura, a exposição ao local e a pressão do ar, os valores de pH e os nutrientes do solo, a vegetação e os incêndios, bem como as alterações do uso do solo, impulsionam a respiração do solo e dos ecossistemas (OERTEL et al., 2016).

A respiração global do solo compreende a liberação do carbono à atmosfera de aproximadamente 80 Pg C ano^{-1} e as maiores contribuições vêm das florestas tropicais e subtropicais (RAICH; POTTER; BHAGAWATI, 2002). Em trabalhos realizados na Amazônia, foram observadas medidas das taxas de CO_2 na respiração solo em um intervalo entre 3,2 e 6,2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e temperaturas do solo entre 22 e 25 °C (MEIR et al., 1996).

Com base em análise de literatura hoje disponibilizada especialmente pelo Programa de longa escala da biosfera e atmosfera na Amazônia (LBA), é possível indicar que os estudos até o presente são insuficientes para determinar se a Amazônia se comporta como uma fonte ou sorvedor de carbono. Diante do atual processo mutável dentro de um ecossistema, é necessário conhecer e compreender cada fator que esteja relacionado com o balanço do carbono atmosférico, e também a necessidade de um maior número de estudos para quantificar de modo mais preciso e detalhado, os vários ecossistemas que compõem a Amazônia, de forma a possibilitar melhores estimativas a respeito da respiração do solo no bioma amazônico (DIAS, 2006).

2.4.1 Dinâmica do Carbono

O sistema climático global e o ciclo do carbono interagem intensamente, e o CO_2 constitui um fator dominante na definição do clima, através do equilíbrio ou desequilíbrio de sua concentração na atmosfera. Desta forma, o clima torna-se um determinante das

características da superfície, uma vez que, atua no processo de formação do solo (processos físicos, químicos e biológicos da superfície do solo), no tipo de vegetação, nas feições do relevo e na estrutura de drenagem. Ao mesmo tempo, a superfície exerce uma marcante influência sobre o clima, desenvolvendo um papel relevante no controle do balanço térmico da atmosfera (DIAS, 2006).

O carbono é um elemento químico importante, porque participa da composição química de todos os compostos orgânicos (VALENTINI, 2004). Os quatro maiores reservatórios de carbono são a atmosfera (750 Pg), os oceanos (39.000 Pg), as reservas de combustível fóssil (5.000 a 10.000 Pg) e os ecossistemas terrestres (2.100 Pg), incluindo a biota e os solos (SOTTA, 1998). O carbono na sua forma oxidada como CO_2 , é um dos gases traço mais críticos na atmosfera para determinar a temperatura e o clima do planeta. Nos ecossistemas terrestres, o carbono orgânico em forma reduzida, compreende 45% a 50% da massa das plantas e animais em peso seco (SOTTA, 1998).

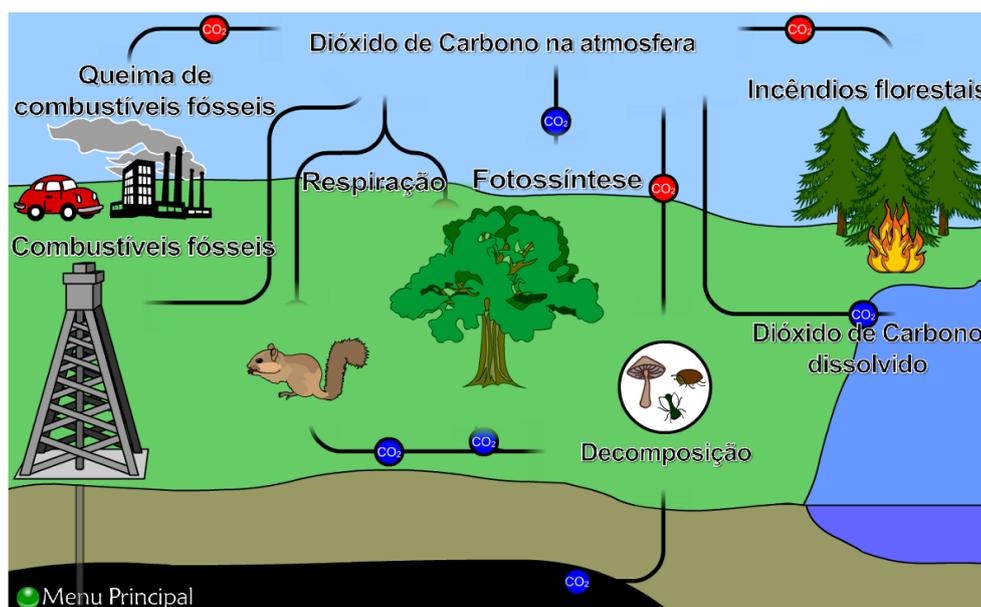


Figura 1. Ciclo do Carbono. Fonte: Bio-DiTRL, (2008)

O ciclo do carbono passou a ter mais atenção, a partir da década de 70, quando ficou evidenciado um aumento contínuo e constante da concentração de gás carbônico na atmosfera. A grande preocupação dos pesquisadores é de que esse aumento possa provocar mudanças climáticas em nosso planeta, uma que vez que o gás carbônico é do ponto de vista quantitativo, o mais importante gás causador do efeito estufa (HOUGHTON, 1994) (Figura 1).

2.4.2 Dinâmica do Metano

O metano (CH_4) é um gás produzido sobre condições de anaerobiose por meio de vias metanogênicas. A metanogênese é a etapa final do processo de degradação anaeróbica. As bactérias metanogênicas apresentam a maior diversidade morfológica entre todos os grupos responsáveis pelo processo anaeróbico, e degradam apenas um número limitado de substratos com baixo número de carbonos, dentre eles, o ácido acético, o hidrogênio, dióxido de carbono, o ácido fórmico, o metanol, as metilaminas e o monóxido de carbono (SANTOS, 2012).

A produção do CH_4 tem grande influência dos fatores de solos, clima, manejo do solo e disponibilidade de carbono. Espera-se que a dinâmica da emissão de metano, seja diferente em solos distintos, devido à variação da composição do sistema redox. Outro fator de grande importância e que agrega a variação na emissão de CH_4 é a disponibilidade de C lábil que por sua vez pode ser diferenciada em função dos teores e dinâmica da matéria orgânica do solo (SILVA et al., 2011).

Com o manejo adequado do solo, este pode ser um sumidouro de metano, pois em Floresta de Mata Atlântica foi observado que há o consumo de metano, e não a emissão para atmosfera (SANTOS, 2012).

2.4.3 Dinâmica do N_2O

O óxido nitroso (N_2O) tem grande importância no controle físico e químico da atmosfera, pois é um dos principais gases do efeito estufa além de ser uma das substâncias responsáveis pelo consumo de ozônio (O_3) na atmosfera (RODRIGUES; MELLO, 2012).

Entre os gases que absorvem a radiação infravermelha, o N_2O é um importante gás de efeito estufa pois, apesar de sua baixa concentração na atmosfera, ele se destaca pelo longo tempo de permanência e pelo alto potencial de aquecimento global (PAG). O PAG da molécula de N_2O é 290 vezes superior ao da de CO_2 , para um período de 20 anos, e 330 vezes superior, para um período de 100 anos (BRASSEUR; ORLANDO; TYNDALL, 1999).

O óxido nitroso (N_2O) é um gás produzido naturalmente nos solos através das reações do ciclo do nitrogênio, como nitrificação e desnitrificação (MAAG; VINTHER, 1996). O processo de nitrificação é essencialmente microbiológico aeróbico, onde os principais agentes são as bactérias quimiolitotróficas, cujo metabolismo, é dependente da energia obtida pela oxidação de compostos inorgânicos. No processo de nitrificação a amônia sofre oxidação, sendo

transformada em nitrito pelas bactérias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus*. Os nitritos são oxidados a nitratos pelas bactérias *Nitrobacter*, *Nitrocystis* e *Nitrospina*. No processo de nitrificação ocorre a produção de N_2O . A conversão do NO_3^- para nitrogênio gasoso (N_2), o qual é perdido para atmosfera, é denominada de desnitrificação, onde os microrganismos desnitrificantes tem a capacidade de utilizar o NO_3^- ou NO_2 como aceptores finais de elétrons em lugar do oxigênio (FERREIRA, 2014).

Os solos são as principais fontes globais de N_2O , desta forma, nos solos tropicais, a rápida mineralização da matéria orgânica, estimulada pela umidade e temperaturas elevadas, oferece condições propícias à produção microbiológica do N_2O , principalmente se comparada com regiões de clima temperado (RODRIGUES; MELLO, 2012).

2.5 INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DA FLORESTA NA RESPIRAÇÃO DO SOLO

Estudos recentes apontam que a respiração do solo está intimamente ligada à fotossíntese em um ecossistema florestal (RYAN; LAW, 2005; HOÈGBERG et al., 2001). A assimilação bruta de carbono pela fotossíntese é a mais alta do mundo em florestas tropicais perenes e a fotossíntese em árvores emergentes é considerada a maior contribuição para a assimilação bruta de carbono em florestas tropicais (KATAYAMA et al., 2009). Portanto, parece que o arranjo espacial de árvores emergentes e estrutura do dossel (isto é, a estrutura da floresta) afeta fortemente a respiração do solo em florestas tropicais. Esta idéia concorda com os resultados de que os parâmetros estruturais da floresta como o diâmetro à altura do peito (DAP) de árvores localizadas a 6 metros de distância das medidas de respiração, são os fatores mais críticos que explicam as variações espaciais na respiração do solo na floresta tropical de Bornean (KATAYAMA et al., 2009).

Segundo Katayama et al. (2009), foram encontradas correlações intermediárias relativamente fortes nas relações entre a respiração do solo e os parâmetros estruturais da floresta, onde área basal (G) total e o DAP máximo a uma distância de 6 m correlacionaram-se moderadamente com a respiração do solo ($R^2 = 0,37$; $p < 0,005$; $R^2 = 0,38$, $p < 0,005$) respectivamente. A correlação mais acentuada foi encontrada para a relação entre o DAP médio a uma distância de 6 m (DAP (6)) e a respiração do solo ($R^2 = 0,60$; $p < 0,001$). Ainda no referido estudo, foi encontrada uma relação linear significativa entre DAP (6) e respiração do solo (Figura 3) ($Y = 0,24 \times X + 0,42$ onde, Y é a respiração do solo e X é DAP (6)).

As correlações entre o DAP médio, G total, DAP máximo e respiração do solo mostraram variações notáveis dependendo da distância dos pontos de medição. A correlação máxima (R_{max}) foi encontrada a uma distância de 6 m para a DAP médio, G e DAP máxima ($R^2_{max} = 0,60; 0,37; 0,38$, respectivamente).

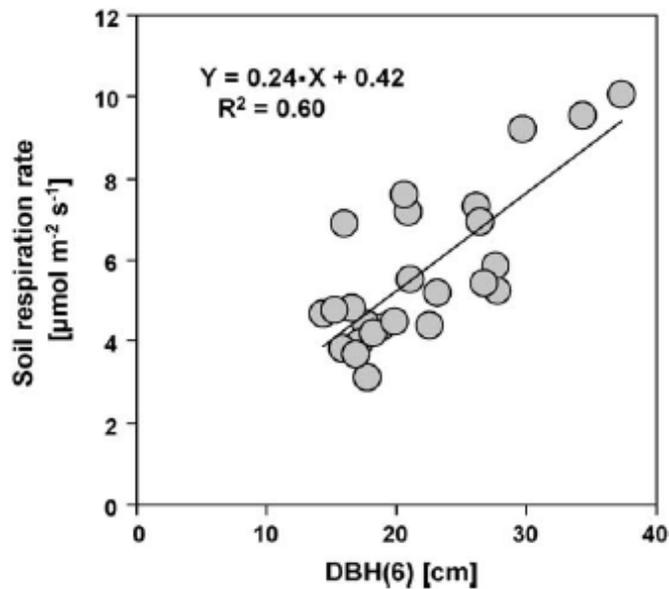


Figura 2. Correlação entre respiração do solo e DAP a distância de 6m da medida de respiração (KATAYAMA et al., 2009).

Segundo Adachi et al. (2006), em estudos realizados na Malásia, os resultados mostraram que na floresta primária, a respiração do solo apresentou correlação negativa significativa com o teor de água do solo Umidade do solo e correlação positiva com a biomassa das raízes finas.

As taxas de respiração do solo observadas por Adachi et al. (2006) na Malásia foram maiores do que as taxas de respiração encontradas em estudos anteriores, realizados em diferentes regiões tropicais do mundo, incluindo o Brasil (Tabela 1).

Tabela 1 Respiração do solo em diferentes regiões (adaptado) (ADACHI et al., 2006)

Taxa de respiração do solo ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Vegetação/Locação	Referências
5,98	Floresta Tropical (primária)/ Malásia	Adachi et al., (2006)
4,46	Floresta Tropical (secundária)/ Malásia	Adachi et al., (2006)
6,09	Plantio de dendê / Malásia	Adachi et al., (2006)
3,95	Floresta Tropical semi-decídua /Tailândia	Tulaphitak et al. (1983)
2,13 - 3,18	Três tipos de Floresta Tropical /Austrália	Kiese and Butterbach-Bahl (2002)
2,96 - 5,77	Floresta Tropical/Panamá	Kursar (1989)
1,46 – 2,80	Solo Tropical descoberto/Brasil	La Scala et al. (2000)
1,36 – 3,21	Floresta Tropical /Brasil	Fernandes et al. (2002)
1,16 – 7,33	Pasto/Brasil	Fernandes et al. (2002)
2,71 – 4,26	Floresta Tropical/Costa Rica	Schwendenmann et al. (2003)

*Esses valores foram apresentados em $\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$, sendo convertido pra $\mu\text{molm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ pelo fator 0,00631313

Portanto, a alta respiração do solo observada no estudo supracitado pode ter sido devido à alta atividade microbiana. As taxas de respiração do solo foram negativamente correlacionadas com o teor de água do solo nas florestas primárias e secundárias. Desta forma o ponto principal a ser considerado é a influência do teor de água do solo na difusão do gás no solo e atividade biótica subterrânea. Maior teor de água do solo diminui a difusão do gás do solo. Linn e Doran (1984) sugeriram que a atividade microbiana aeróbia pode ser inibida pela baixa concentração de O_2 quando há água do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida por meio do projeto EcoRespira-Amazon, que conduziu um estudo de respiração do solo e química do solo na bacia amazônica brasileira que comparativamente examinou terras arborizadas e com cobertura de terra pós-floresta (MATSCHULLAT; LIMA, 2017).

A metodologia de trabalho utilizada nesta pesquisa teve como base a aplicada no projeto EcoRespira-Amazon, sendo aplicada a parte correspondente a coleta de dados da respiração do solo, amostras de solos e análises laboratoriais conforme descritas nos itens seguintes.

Os locais de atuação do projeto estão situados no Centro e Sudoeste da bacia amazônica no Norte do Brasil (Figura 4). As amostras foram coletadas na orientação Norte-Sul $02^{\circ}31'59,7''$ S a $09^{\circ}45'01,5''$ S e na extensão Leste-Oeste a partir de $67^{\circ}11'53,7''$ W ao $58^{\circ}49'53,0''$ W (EcoRespira-Amazon, 2017)

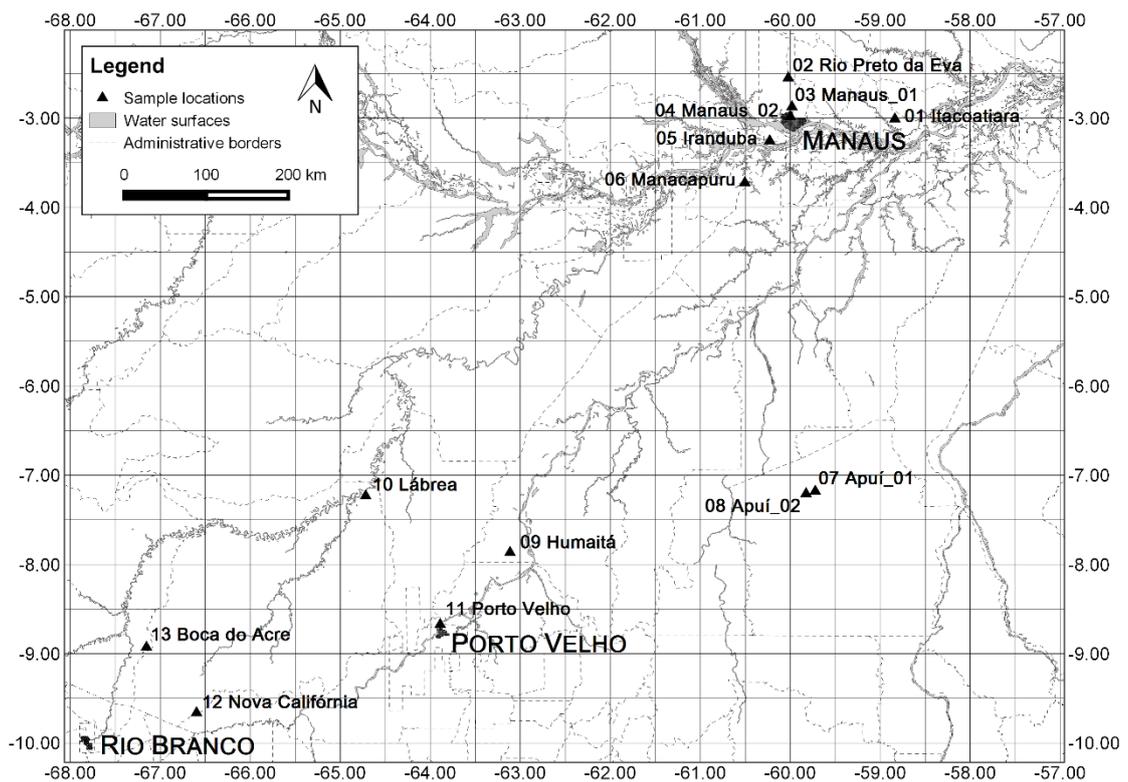


Figura 3. Parte do estado do Amazonas com os 13 locais de amostragem (Map: Lennart Kieschnik). Cada local representa pelo menos dois sítios com cobertura de floresta e pós-floresta. (Fonte: Relatório final NoPa II – projeto EcoRespira-Amazon, 2017)

3.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido no estado do Amazonas, em propriedades localizadas nos municípios de Manaus, Manacapuru, Iranduba, Rio Preto da Eva e Itacoatiara, conforme os dados de localização listados na Tabela 2 e mapa de localização (Figura 4).

Tabela 2: Coordenadas geográficas das áreas de coleta de dados.

Município	Localização	Propriedade	Coordenadas Geográficas	
			Longitude	Latitude
Manaus	AM-010, Km 30	Embrapa Amazônia Ocidental	059°58' 19.2" W	02°53' 37.8" S
Manacapuru	Ramal do Laranjal	Faz. Eduardo Vasconcelos	060°30' 06.6" W	03°16' 44.1" S
Irاندuba	Ramal do Caldeirão	Embrapa Caldeirão	060°13' 35.1" W	03°15' 17.2" S
Rio Preto da Eva	BR 174, Km 54	CEDAS Embrapa	060°01' 22.9" W	02°31' 59.7" S
Itacoatiara	AM 010, Km 215	Faz. Aruanã	058°49'53" W	03°00' 29" S

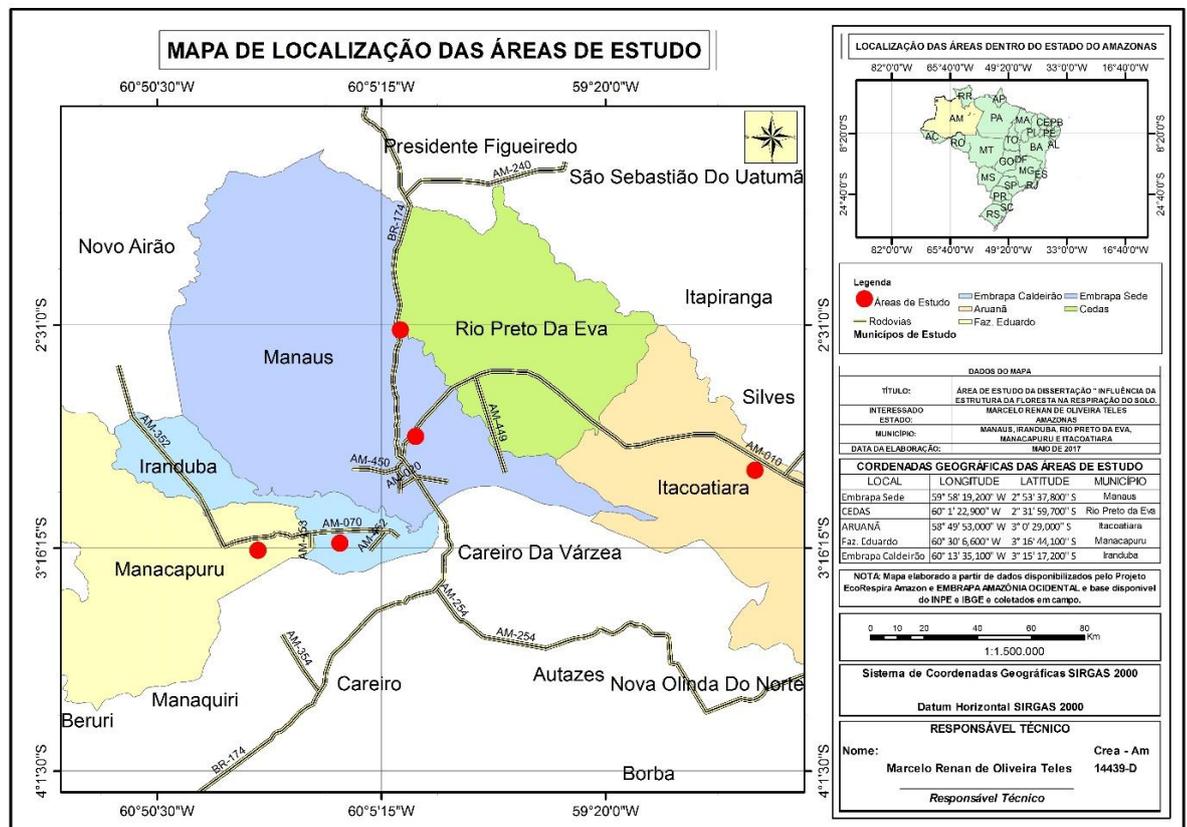


Figura 4. Localização das áreas de estudos.

3.1.1 Embrapa Amazônia Ocidental

O relevo é caracterizado por planícies, baixos planaltos e terras firmes, com uma altitude média inferior a 100 metros. O clima na classificação de Köppen é considerado tropical úmido, tipo Am, com temperatura média anual de 26,5°C, tendo uma umidade relativa elevada durante o ano, com médias mensais entre 76 e 89%. O período chuvoso se estende de novembro a maio, com uma redução perceptível nos outros meses, notadamente nos meses de agosto e setembro (MARQUES FILHO et al., 1981).

A floresta da região é classificada como floresta tropical úmida de terra-firme, com dossel bastante fechado e sub-bosque com pouca luminosidade, caracterizado pela abundância de palmeiras acaules como *Astrocaryum* spp. e *Attalea* spp. (ALMEIDA, 2011).

3.1.2 Fazenda Eduardo Vasconcelos

Localizada no ramal do Laranjal, o acesso é feito pela rodovia AM-070 entre os Kms 62 e 64 que liga Manaus a Manacapuru. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Tropical de Monções (Amw). A umidade relativa do ar varia entre 75% a 90%, e apresenta uma estação seca de pequena duração nos meses de agosto e setembro (50 mm/mês). A precipitação máxima ocorre geralmente no mês de abril, com média de 320 mm/mês. As temperaturas médias máximas mensais variam de 30,60 °C a 33,80 °C, e as médias mínimas mensais variam de 22,00 °C a 23,60 °C. A região de estudo (terra firme) possui as seguintes características: Podzol hidromórfico e Latossolo amarelo de textura média; relevo plano e suave ondulado e vegetação composta por floresta equatorial úmida (SANTOS, 2004).

3.1.3 Campo Experimental da Embrapa em Iranduba

O Campo Experimental da Embrapa em Iranduba, conhecido como Caldeirão, encontra-se no município de Iranduba, estado do Amazonas, na margem esquerda do rio Solimões, distando 6 km da rodovia Cacau-Pirêra/Manacapuru, no ramal da colônia do Caldeirão e a 16 km do porto de Cacau-Pirêra, no rio Negro, em frente a cidade de Manaus, (RODRIGUES et al., 1991).

Segundo a classificação de Köppen o clima é do tipo Ami, assim discriminada: (A) – clima tropical chuvoso onde as temperaturas médias mensais estão sempre acima de 18°C; (m)

– o regime pluviométrico define uma estação relativamente seca, porém o total pluviométrico anual é suficiente para manter o período úmido; (i) - variação anual de temperatura inferior a 5°C. Na área ocorrem rochas sedimentares do período Cretáceo/Terciário, representado pela formação Alter do Chão. É caracterizada por sedimentos vermelhos e continentais, incluindo essencialmente arenitos argilosos, argilitos, quartzo-grauvacas, quartzo-arenitos e brechas intraformacionais (MACEDO, 2014).

A vegetação de acordo com o aspecto florístico, é denominada de floresta equatorial de terra firme. Este tipo de vegetação não ocorre em toda a extensão, devido às variações influenciadas, pelo relevo, solo e mesmo pelo clima, que são responsáveis pelo surgimento de tipos de revestimento botânico bastante diferente (RODRIGUES et al., 1991).

3.1.4 Campo Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa (CEDAS)

Localizado no município de Rio Preto da Eva (Amazonas), o CEDAS é um campo experimental pertencente à Embrapa Amazônia Ocidental. O acesso se dá através da rodovia BR – 174, com entrada no Km 938. A área destinada a estudos florestais compreende um total de 400 hectares de floresta primária, dividida em parcelas de 1 hectare.

A cobertura florestal é típica da floresta tropical úmida densa de terra firme. Segundo a classificação de Köppen o clima é do tipo “Am” (letra “A” é uma classificação do clima como Tropical Chuvoso, e letra “m” é decorrente de uma subclassificação, denominado monçônico), quente e úmido. A variação média anual de precipitação está entre 1.355 e 2.839 mm. A temperatura média anual varia de 25,6 a 27,6 °C, com umidade relativa do ar de 84% a 90%, em média (SILVA, 2015).

Os solos predominantes na área são: latossolo amarelo com textura muito argilosa e os hidromórficos, cobertos predominantemente pela vegetação da floresta densa de terras baixas, com dossel emergente, constituídas por árvores de médio a grande porte (BRAZÃO et al., 1993). Os locais de terra-firme são planaltos formados por sedimentos do período terciário que recobrem a maior extensão da Bacia Sedimentar Amazônica, apresentando topografias modeladas por formas de relevo dissecadas em amplos interflúvios tabulares e colinas (REGIS, 1993).

3.1.5 Fazenda Aruanã

A Agropecuária Aruanã localizada no município de Itacoatiara, Amazonas, possui área total de 14.310,34 hectares e cobertura florestal predominantemente formada de floresta tropical densa de terra firme com formações pioneiras aluviais e áreas de tensão ecológica. Esta floresta caracteriza - se em função de um clima quente com elevada precipitação. Devido às condições de temperatura e umidade elevada, a cobertura vegetal é rica em espécies botânicas, onde se observa vários estratos, formados de plantas herbáceas ou lenhosos, subarbustos, arbustos e finalmente de indivíduos arbóreos (CORDEIRO NETO, 2014).

O clima da Fazenda Aruanã está classificado, segundo a classificação de Köppen, como Grupo Climático A (Clima Tropical Chuvoso), abrangendo o tipo e variedade climática Amw (chuvas do tipo monções), representando uma variedade do tipo Amw. A precipitação pluviométrica anual é de cerca de 2200 mm, com maior volume nos meses de janeiro a abril e menor volume mensal entre agosto e outubro, onde a precipitação é inferior a 60 mm. A temperatura média é de 26°C e a umidade relativa do ar está em torno de 80% (CORDEIRO NETO, 2014).

Os solos são predominantemente do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, com baixa fertilidade natural e alto teor de alumínio, com pH variando entre 4,3 e 4,7, saturação de alumínio entre 85 e 90% e teor de fósforo abaixo de 4 mg/dm³. Os solos do platô são argilosos, os das encostas são argilosos recobertos por uma camada arenosa característica ao Podzólicos Amarelo. Próximo aos cursos d'água encontra-se depósitos de areia quartzo branco (CORDEIRO NETO, 2014).

3.2 UNIDADES AMOSTRAIS

As amostras para realização deste estudo foram obtidas em cada uma das áreas de floresta descrita anteriormente. Dentro das referidas áreas foram instaladas (3) três parcelas de 0,09 ha, com dimensão de (30 x 30 m), totalizando 0,27 ha por sítio, distribuídas aleatoriamente (Figura 5), onde foram coletados os dados do inventário florestal, respiração do solo, temperatura e umidade do solo, temperatura e umidade do ar e coleta de amostras de solo. Os dados foram coletados meio do projeto EcoRespira Amazon, observando que foram obtidas médias de 3 fases do projeto, onde tais fases ocorreram em períodos distintos, sendo a primeira

fase de fevereiro a março de 2016 (com pouca chuva), segunda fase de julho a agosto de 2016 (seca intensa) e terceira fase de fevereiro a março 2017 (chuva intensa).

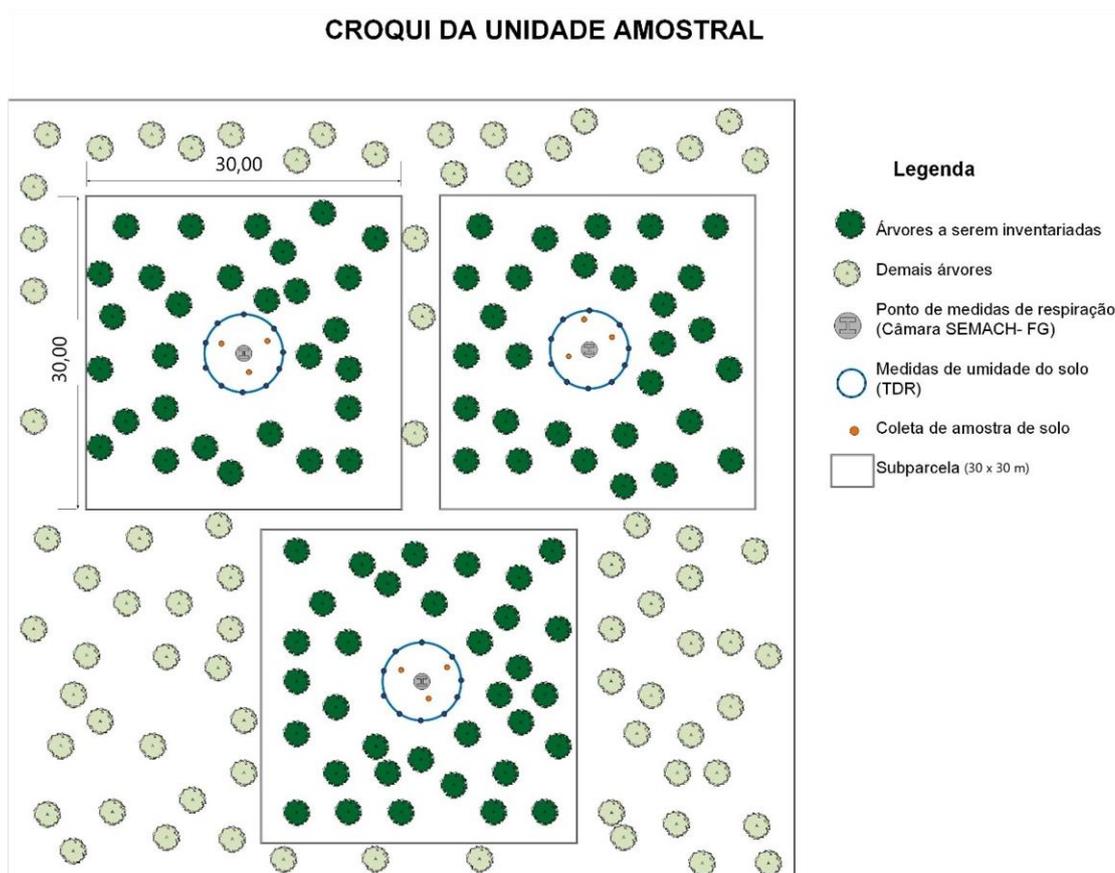


Figura 5: Representação esquemática das parcelas utilizadas nos sítios, Embrapa Amazônia Ocidental, Faz. Eduardo Vasconcelos, Embrapa Caldeirão, CEDAS Embrapa, Faz. Aruanã.

3.3 COLETA DE DADOS

3.3.1 Inventário

O tipo de inventário florestal aplicado nesta pesquisa, foi o de amostragem aleatória simples.

Os inventários foram realizados no entorno de cada anel instalado para coleta de amostra de gases, de forma que foram obtidos dados para geração de médias comparativas às médias de fatores edafoclimáticos, gases, temperatura e umidade.

No campo foi realizada a identificação das espécies, coleta das coordenadas geográficas das árvores, mensuração do DAP e anotações de informações relevantes a pesquisa. Para a

realização do inventário florestal foi utilizada uma ficha de campo e foram levantadas informações dendrométricas de espécies arbóreas e palmeiras, sendo obtido os seguintes dados:

- **Nome das espécies** - As espécies foram identificadas em campo e trabalhadas as informações científicas no momento da tabulação dos dados. Quando não foi possível a identificação, a árvore recebeu a denominação de não identificada (N.I);
- **DAP - Diâmetro à Altura do Peito** - mensurado a 1,30 m acima do nível do solo ou 20 cm acima da sapopema;
- **Número do Ponto do GPS Correspondente a Árvore Identificada** - Para cada indivíduo mensurado foi realizado o registro de sua posição geográfica, via aparelho de GPS, para fins de espacialização em relação a área trabalhada;
- **Identificação da Subparcela** - cada subparcela dos sítios foi devidamente identificada para que se possa identificar em quais das subparcelas se encontra cada indivíduo inventariado;
- **Observações** – Foram registradas informações complementares, quanto aos aspectos ambientais relevantes, como características da floresta estudada: relevo, curso hídrico bem como informações acerca das fisionomias vegetais encontradas na área.

3.3.2 Respiração do solo

A respiração do solo foi mensurada com a utilização de um sistema manual de câmara dinâmica fechada (SEMACH-FG). Essas câmaras foram colocadas na superfície do solo sobre um anel plástico para formar um compartimento hermético. Esses sistemas são baratos, fáceis de usar e podem ser utilizados em amplas condições (CONEN; SMITH, 1998).

Em cada parcela, a respiração do solo (CO_2) foi medida diretamente e amostras de gases foram tomadas para análise laboratorial subsequente (CH_4 e N_2O por cromatografia gasosa em Freiberg) (MATSCHULLAT; LIMA, 2017).

Foi escolhido um sistema manual devido à frequente mudança entre os diferentes locais. A câmara foi utilizada num modo não transparente, bloqueando a radiação solar e consequentemente, impedindo a respiração da planta dentro da câmara (OERTEL et al., 2015). O sistema SEMACH-FG foi otimizado para a campanha de campo para garantir medidas precisas sob condições tropicais úmidas.

A mudança de CO₂ dentro da câmara é determinada usando regressão linear (1-5 min, R² = 0,9). O fluxo de CO₂ em μmol m⁻² s⁻¹ é então calculado usando a inclinação da equação obtida e a lei do gás ideal:

$$F_{CO_2} = \frac{V_{CO_2} \times \rho_{Ch} \times M_C \times 10^5}{R \times T_{Ch} \times A_{Ch}}$$

$$V_{CO_2} = \frac{\Delta CO_2}{\Delta t} \times 60 \times V_{Ch} \times 10^6$$

Em que,

F_{CO_2} = fluxo de CO₂ (mg CO₂-C m⁻² h⁻¹);

V_{CO_2} = Volume de CO₂ (m³);

ρ_{Ch} = pressão do ar no interior da câmara (kg m⁻¹ s⁻²);

M_C = Massa molar do carbono (12 g mol⁻¹);

R = constante de gás universal (8,314kg m² mol⁻¹ K⁻¹ s⁻²);

T_{Ch} = Temperatura dentro da câmara (K);

A_{Ch} = Área de base do sistema de câmara (0,042 m²).

$\frac{\Delta CO_2}{\Delta t}$ = a alteração da fracção molar de CO₂ dentro da câmara (ppm_v min⁻¹)

V_{Ch} = Volume dentro da câmara (0,016 m³)

A conversão do fluxo de CO₂ em μmolCO₂m⁻²s⁻¹, faz-se necessária a multiplicação pela seguinte equação:

$$F_{CO_2} = (1) \times \frac{1000}{12 \times 3600}$$

Para a obtenção de maior precisão dos dados para a respiração do solo (CO₂), foram feitas três medições de 5 minutos em cada anel de acoplagem das câmaras, sendo que cada sítio teve a instalação de três anéis. Portanto, foram tomadas nove medições em cada sítio. Uma quantidade total de n = 45 ciclos de medições foram realizados em 5 locais em cada fase do projeto.

3.3.3 Temperatura do Solo

A temperatura e a umidade do solo foram medidas com dois sensores extras inseridos no solo manualmente. A temperatura do solo foi medida com o HS-P8 usando um sensor PT100. A faixa de medição vai de -20 a 80 ° C com uma precisão de $\pm 0,3$ °C. Este dispositivo faz parte do sistema da câmara. A temperatura do solo foi obtida a cada medição de respiração do solo. Para cada ponto de medição no sítio foram obtidas 3 medidas de temperatura, totalizando 9 medidas por sítios e 45 medidas em cada fase de coleta de dados.

3.3.4 Umidade do Solo

A umidade do solo foi medida ao lado de cada anel, em todas as parcelas estudadas com um sensor de Reflectometria de Tempo (Medidor de umidade HH2 com um sensor ML2x TDR, Delta-T Devices), introduzidos no solo a uma profundidade de 10 cm.

Num raio de aproximadamente 10 m ao redor do anel, foram tomadas dez medições com o sensor. O valor da umidade para cada anel foi a média das dez medições com o sensor. Em cada parcela foram tomadas 30 medições, onde neste estudo foram realizadas 150 medições de umidade no total para cada uma das 3 fases de coleta.

3.3.5 Amostra de solo

As amostras de solo foram retiradas em duas profundidades, camada superior do solo, considerada topo 0 - 20 cm e da camada inferior do solo 30 - 50 cm, além da camada de serapilheira em cada parcela. Importante ressaltar que o solo da profundidade 20 a 30cm foi descartado, afim de que não ocorresse a contaminação de amostras de extratos diferentes. Os furos para coleta de solo, foram perfurados manualmente ao lado de cada um dos três anéis em cada local, este procedimento foi realizado com a utilização de um trado de solo pré-lavado (Trado Holandes TP-4).

Após a obtenção das amostras, foi realizada a composição com o material das três perfurações, considerando as profundidades, assim fazendo a homogeneização da amostra. Logo em seguida, as amostras compostas foram transferidas para um saco de amostragem, onde foram identificadas com a localização, data, código da amostra e profundidade. Os sacos foram

fechados hermeticamente e novamente identificados para garantir a segurança da informação. Parte das amostras foram enviadas para Alemanha onde foram analisadas.

Após a conclusão da perfuração, os furos foram fechados com restante do solo e material de serapilheira. O número total de amostras obtidas para cada sítio foi de seis (6), sendo três (3) amostras na profundidade 0-20 cm e três amostras na profundidade de 30-50 cm, totalizando quinze (15) amostras 0-20 cm e quinze (15) amostras de 30-50 cm.

Levando em consideração a necessidade de evitar a contaminação das amostras, luvas de laboratório foram utilizadas durante todo o processo de coleta. Todos os passos seguintes de preparação e análise das amostras foram realizados nos laboratórios da Universidade Técnica Bergakademie Freiberg (TUBAF), Alemanha e ou nos laboratórios da EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL.

3.3.6 Determinação da relação Carbono, Nitrogênio (C:N)

O teor de Carbono Nitrogênio no solo foi medido utilizando o analisador Vario EL cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Alemanha). Cerca de 20,0 mg de amostra de solo fino (<63 µm, 0 - 20 cm) foram pesados em balança de precisão e procedido as análises.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

3.4.1 Inventário florestal

3.4.1.1 Análise do resultado do inventário

O inventário florestal, por se usar o método aleatório simples, foi analisado pelos seguintes parâmetros e estimativas:

➤ Média aritmética

○ Parâmetro
$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N Xi}{N}$$

○ Estimativa:
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{n}$$

➤ Variância

○ Parâmetro: $S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}$

○ Estimativa: $s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{x})^2}{n-1}$

➤ Desvio padrão

○ Parâmetro: $S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$

○ Estimativa: $s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{x})^2}{n-1}}$

3.4.1.2 Análise da estrutura da floresta

Os principais parâmetros dendrométricos que foram utilizados para estudar a estrutura da floresta foram o: área basal (G) (m²) e volume (V) do tronco com casca (m³). Além destas estimativas, foram, o número total de indivíduos por parcela, DAP médio e DAP máximo.

3.4.1.2.1 Estimativa da Área Basal

O número de árvores por hectare (ha) e área basal são informações básicas para calcular o volume de um povoamento. A área basal de cada indivíduo foi obtida através da seguinte fórmula:

$$G = \sum_{i=1}^n g_i$$

$$g = \frac{\pi \cdot \text{DAP}^2}{40.000}$$

em que:

g = Área transversal em m²

DAP = Diâmetro à altura do peito em cm

G = Área basal em m². ha⁻¹ da i-ésima espécie;

ni = número de indivíduos inventariados da i-ésima espécie;

3.4.1.2.2 Estimativa do Volume

A estimativa do volume (com casca) de árvore em pé foi obtido através da equação de volume desenvolvida por Higuchi et al. (1998), e foi utilizada para os indivíduos com DAP \geq 10 cm:

$$\ln V = -7,335 + 2,121 \times \ln DAP \text{ com } R^2 = 0,95 \text{ e } S_{yx} = 0,27$$

em que:

\ln = Logaritmo natural

V = volume comercial em m^3

DAP = Diâmetro à altura do peito em cm

3.4.2 Análise estatística das variáveis

A presente pesquisa trata de amostras independentes, onde dados da (respiração do solo), (estrutura da floresta), (umidade e temperatura do solo), de diferentes sítios, foram analisados por meio de correlação e regressão para verificar a interação entre as variáveis.

As análises estatísticas foram conduzidas no programa R Project for Statistical Computing V3.5.1.

3.4.2.1 Comparação das médias entre os sítios

A análise da diferença entre os sítios, foi analisada, principalmente, em relação à estrutura florestal por meio da comparação das variáveis, DAP médio, DAP máximo, área basal (G) e volume (V), no entanto foram observadas as variáveis da respiração e também temperatura, umidade e solo.

Em cada um dos 5 sítios foram obtidas amostras de 3 subparcelas, conforme Figura 5, de forma que foi realizado o teste de médias ScottKnott para verificar se as variáveis respostas acima descritas apresentaram diferença significativa entre os diferentes sítios, ao nível de 5% de significância.

O teste de Scott & Knott desenvolvido por Scott, A.J. e Knott, M. (Scott e Knott, 1974) é um algoritmo de agrupamento usado como uma das alternativas onde múltiplos procedimentos de comparação são aplicados com uma característica muito importante e quase

única e não apresenta sobreposição nos resultados. Amplamente utilizado como método de comparação múltipla no contexto Análise de Variância (GATES E BILBRO; 1978).

3.4.2.2 Comparação das médias entre diferentes coberturas do solo

A análise da diferença de médias entre os tipos de cobertura do solo foi analisada levando-se em consideração o fluxo de gases (CO₂, CH₄ e N₂O), temperatura do ar e do solo, umidade do ar e do solo, carbono, nitrogênio e a relação C:N. Este método de análise foi escolhido em função da não disponibilidade de dados estruturais da cobertura vegetal dos ambientes pós floresta, tendo-se disponível apenas as variáveis acima mencionadas.

3.4.3 Análise de correlação e regressão das variáveis

3.4.3.1 Matriz de Correlação (Coeficiente de Pearson)

A análise da relação entre as variáveis da respiração do solo (CO₂, N₂O e CH₄), estrutura da floresta (DAP médio, DAP máximo, área basal (G), volume (V) e índice de shannon (H')) e variáveis edafoclimáticas (Umidade do ar e do solo, Temperatura do ar e do solo, carbono e nitrogênio do solo e C:N) foi realizada com a utilização da matriz de correlação de Pearson.

Considerando dois vetores aleatórios x e y de tamanhos n com médias \bar{x} e \bar{y} respectivamente. O coeficiente de correlação entre essas variáveis pode ser calculado por:

Coeficiente de Pearson

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Após análise, foram selecionadas as variáveis com maiores níveis de correlação a fim de investigar de que forma ocorrem interações e possíveis influências de algumas variáveis nas respostas de outras, principalmente da respiração do solo.

3.4.3.2 Regressão linear

Foi utilizada a regressão linear simples e múltipla para que, com as variáveis com correlação significativa, pudessem ser gerados modelos que estimam as variáveis da respiração do solo em função de variáveis da estrutura da floresta ou variáveis do solo.

Os modelos foram construídos com base na seguinte expressão:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi} + \varepsilon_i,$$

em que,

$i = 1, 2, \dots, n$, sendo n o número de observações;

Y = Respiração do solo (CO_2 , N_2O ou CH_4);

X = variáveis independentes (DAP médio, DAP máximo, G, V, H', temperatura do ar, temperatura do solo, umidade do ar, umidade do solo, C, N e C:N);

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ = estimativas amostrais dos coeficientes das variáveis independentes.

Os modelos foram analisados utilizando os seguintes critérios:

- Maior coeficiente de determinação (R^2);
- Nível de probabilidade dos coeficientes;
- Menor erro padrão da estimativa (Syx %)
- Melhor distribuição gráfica dos resíduos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 INVENTÁRIO FLORESTAL

Os inventários florestais realizados nesta pesquisa, geraram informações relevantes para as análises das estruturas das florestas estudadas e assim possibilitaram as comparações de médias para inferência sobre diferenças entre sítios. Além das análises estruturais, com os dados obtidos a partir do inventário foi possível verificar as relações entre estrutura da floresta e respiração do solo e ainda a relação com fatores edafoclimáticos.

As médias obtidas a partir do inventário florestal estão dispostas na tabela 3, onde estão elencadas em ordem da maior para menor média de DAP. As médias estão sumarizadas em grupos com letras logo após o desvio padrão, significando a existência ou não de diferenças estatísticas entre as referidas médias, conforme nota explicativa a baixo da tabela.

Tabela 3. Teste ScottKnott para médias das variáveis dos inventários florestais dos sítios.

SÍTIO	DAP MÉDIO (cm)	DAP MÁXIMO (cm)	ÁREA BASAL (m ²)	VOLUME (m ³)
EMBSEDE	24,39 ± 2,54a	75,97 ± 25,53a	3,38 ± 0,71a	43,76 ± 9,86a
DASFLOR	23,9 ± 1,12a	100,8 ± 31,2a	3,69 ± 1,06a	48,75 ± 14,53a
ARUAFLOR	22,23 ± 2,33a	99,95 ± 62,4a	3,53 ± 1,15a	47,13 ± 17,89a
EDUFLOR	19,36 ± 1,64b	56,77 ± 17,46a	2,08 ± 0,36b	26 ± 5,27b
EMBCALD	16,72 ± 3,33b	31,3 ± 5,63a	1,38 ± 0,56b	16,44 ± 7,05b

Médias e desvio padrão seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si a (5% de significância) (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLOR – Eduardo Floresta)

4.1.1 Média dos diâmetros a altura do peito

Na figura 6, mostra que as médias de DAP ficaram entre 16,72 cm no sítio Embrapa Caldeirão e 24,39 cm no sítio Embrapa Sede. A média geral de DAP por sítios nesta pesquisa foi de 21,32 ± 3,49 cm. Lima (2010) através de inventários contínuos no estado do Amazonas mostra média de DAP de 21,9 ± 0,4 cm. Observa-se também que entre os sítios EMBSEDE, DASFLOR e ARUAFLOR não houve diferença significativa, podendo-se atribuir pelas características semelhantes da vegetação, área de platô e pela proximidade entre os referidos sítios. Os sítios EDUFLOR e EMBCALD que são diferentes estatisticamente do primeiro grupo, mas não apresentam diferença significativa entre os mesmos, pode ser atribuído também pela característica semelhante da vegetação e proximidade entre os mesmos, localizados nos

municípios de Manacapuru e Iranduba respectivamente. Apesar de situados em área de terra firme, estão próximos a áreas de cotas altitudinais mais baixas, com tipologias de vegetação diferente do primeiro grupo, incluindo diferenças na composição florística.

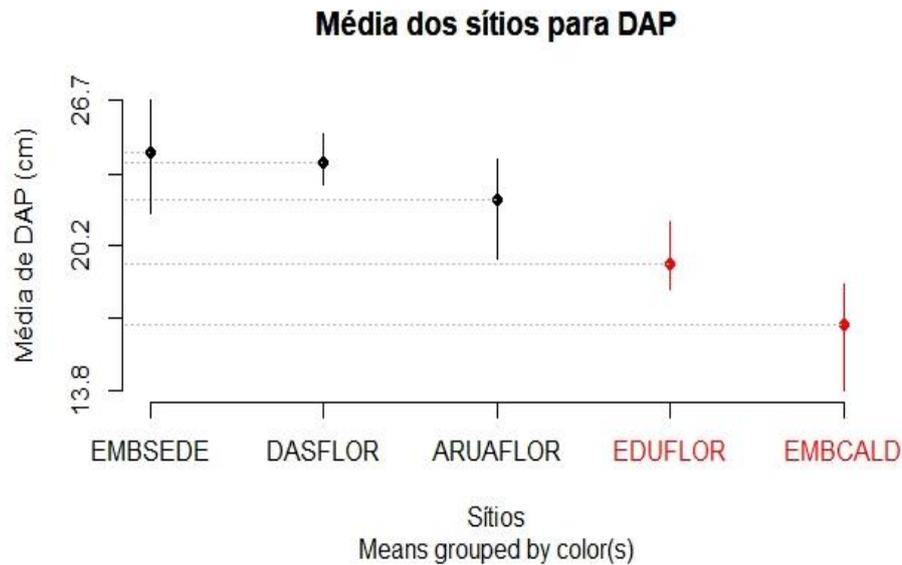


Figura 6 Gráfico de DAP médio entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLOR – Eduardo Floresta).

4.1.2 Diâmetros Máximos

O gráfico da Média de DAP máximo por sítios, figura 7, mostra que não houve diferença significativa entre os sítios estudados, entretanto pode-se observar que os sítios EDUFLOR e EMBCALD apresentam médias mais baixas, também corroborando com as médias de DAP, sendo mais um indicativo da diferença de características de porte das florestas destes dois referidos sítios.

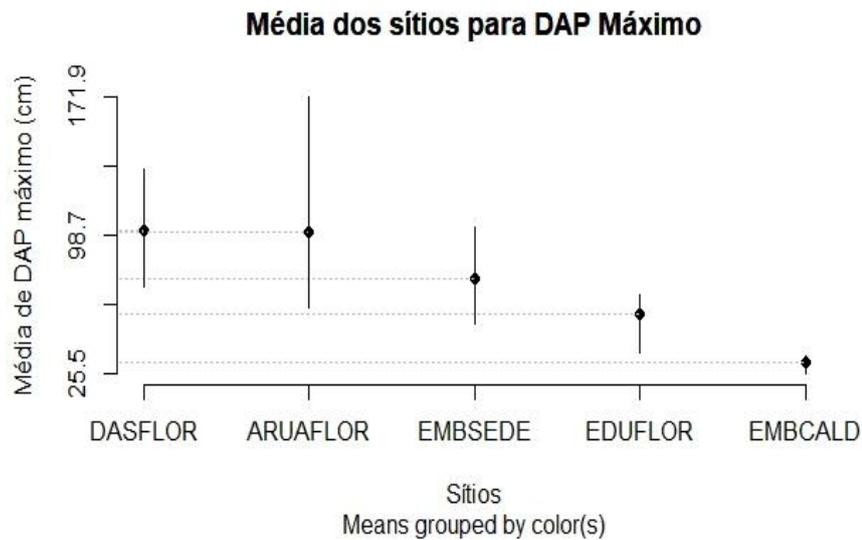


Figura 7 Gráfico de médias de DAP máximo entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).

4.1.3 Área Basal

As médias de área basal por sítios apresentaram diferenças significativas entre alguns sítios. Os sítios DASFLOR, ARUAFLOR, EMBSEDE não apresentaram diferenças estatísticas entre si, entretanto apresentaram diferenças significativas em relação aos sítios EDUFLORE e EMBCALD. As médias variaram entre $1,38 \pm 0,56 \text{ m}^2$ e $3,69 \pm 1,0 \text{ m}^2$, quando estimada para 1 ha a média geral entre os sítios ficou em $31,25 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. Para Lima (2010) em um trabalho de inventários contínuos realizados em 15 sítios no Amazonas, incluindo diferentes regiões dentro do estado, a média de área basal foi de $25,6 \pm 1,84 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, esta diferença pode ser atribuída ao esforço amostral da presente pesquisa, pois abrangeu apenas 5 sítios onde todos situados na zona metropolitana de Manaus. No município de Manacapuru, em um inventário, a média de área basal obtida foi em torno de $25,5 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (PINTO, 2007).

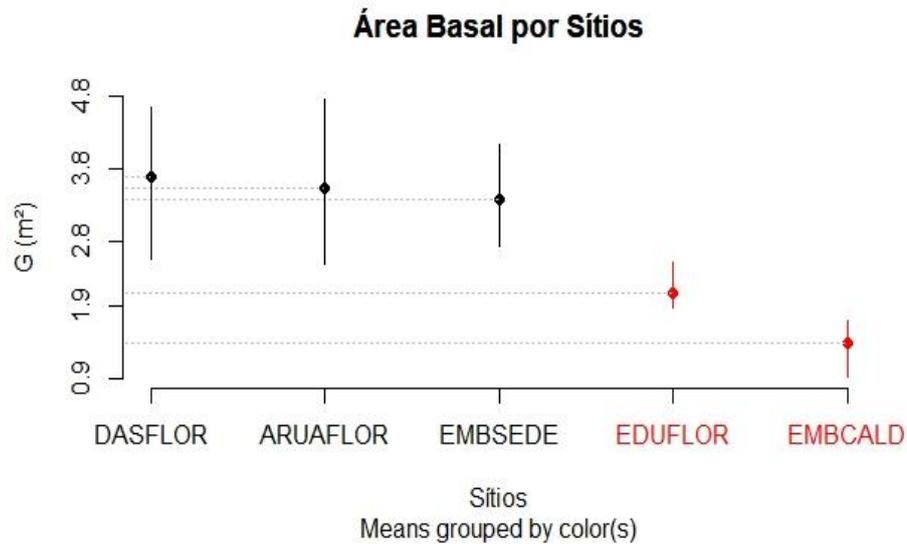


Figura 8 Gráfico de médias de Área Basal entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).

4.1.4 Volume

Os volumes estimados para os sítios florestais ficaram entre os valores médios de $16,44 \pm 7,05 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ e $48,75 \pm 14,53 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$. Na figura 9, observa-se diferença significativa entre o grupo DASFLOR, ARUAFLOR e EMBSEDE e o grupo EDUFLORE e EMBCALD. A média de volume estimada para 1 ha, considerando-se os sítios analisados e a metodologia empregada foi de $401,11 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$. Em uma floresta no município de Manacapuru, o volume estimado foi de $329,7 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (PINTO, 2007). Esta diferença observada, em torno de 18%, pode-se atribuir a diferentes áreas de estudo e a prováveis diferenças de estágios de sucessão das florestas comparadas.

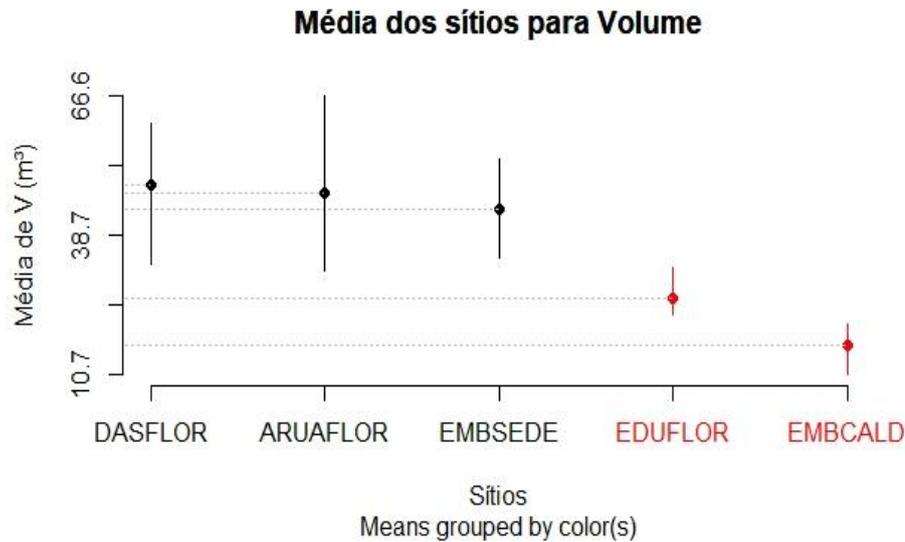


Figura 9 Gráfico de médias de Volume entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLOL – Eduardo Floresta).

4.2 RESPIRAÇÃO DO SOLO NOS SÍTIOS FLORESTAIS

A tabela 4 mostra as médias dos gases da respiração do solo por sítios.

Tabela 4 Teste ScottKnott para médias de respiração do solo entre os sítios florestais

SÍTIO	CO ₂ (μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	CH ₄ (μmolCH ₄ m ⁻² h ⁻¹)	N ₂ O (μmolN ₂ O m ⁻² h ⁻¹)
EDUFLOL	7,24 ± 1,8a	-9,18 ± 5,05b	0,86 ± 1,32b
DASFLOR	6,43 ± 1,72a	1,45 ± 10,08a	0,89 ± 0,73b
EMBCALD	6,25 ± 1,63a	-8,76 ± 3,75b	0,95 ± 1,09b
ARUAFLOR	6,17 ± 1,45a	-2,91 ± 3,71a	1,19 ± 0,92b
EMBSEDE	5,05 ± 1,09a	-4,91 ± 2,29b	2,75 ± 2,81a

Médias e desvio padrão seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si a (5% de significância) (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLOL – Eduardo Floresta)

4.2.1 Média de CO₂ por sítio

As médias de CO₂ obtidas por sítios estão dispostas graficamente na figura 10 e analisadas conjuntamente com a tabela 4 mostram que não houveram diferenças significativas sob o teste de ScottKnott a 5% de significância entre os sítios florestais estudados. As médias

obtidas variaram entre 5,05 e 7,24 ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e a média geral entre os sítios estudados foi de 6,23 ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$). As medições abrangeram períodos com pouco chuva, seca intensa e chuva forte, respectivamente. Em um estudo realizado na cidade de Manaus, foi obtida a média de $6,86 \pm 1,78 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, ainda no mesmo estudo foi observado que após eventos chuvosos o efluxo de CO_2 caiu drasticamente (SOTTA, 1998). Em um trabalho realizado no estado do Pará, foram obtidas medidas de CO_2 entre 5,47 e 5,44 ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) na estação seca e chuvosa respectivamente, sendo observadas reduções no efluxo do período seco para o chuvoso, entretanto as diferenças não foram significativas (DIAS, 2006).

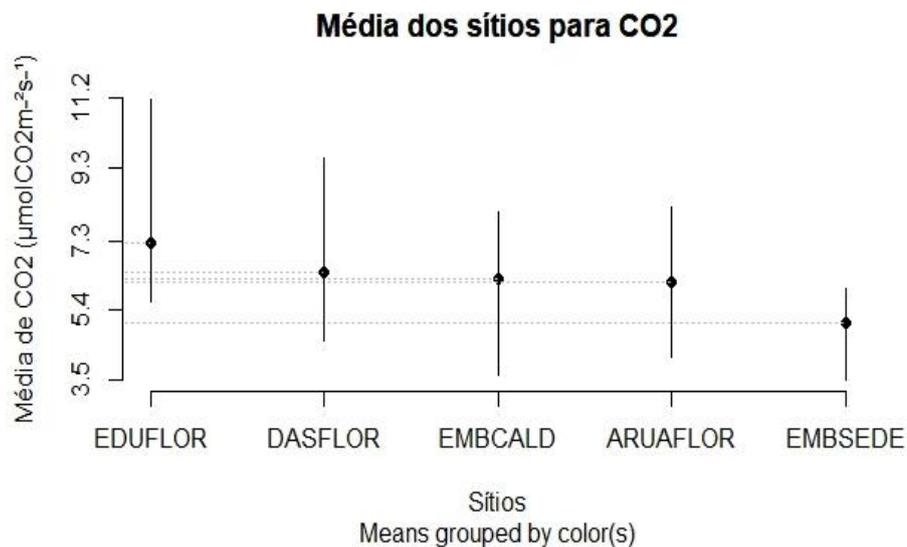


Figura 10 Gráfico de médias de CO_2 entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLO – Eduardo Floresta).

4.2.2 Média de CH_4 por sítio

O efluxo de CH_4 apresentou médias entre $-9,18$ e $1,45 \mu\text{molCH}_4\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ e as médias entre os sítios florestais DASFLOR e ARUAFLOR apresentaram diferenças estatísticas em relação aos sítios EMBSEDE, EMCALD e EDUFLO a 5% de significância (Figura 11). A média geral obtida entre os sítios florestais foi de $-4,86 \mu\text{molCH}_4\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Os valores negativos de metano são atribuídos ao consumo de CH_4 atmosférico, ocorrendo principalmente em solos bem drenados como os solos de terra firme da região amazônica. Em outro estudo em florestas

tropicais o consumo médio de CH_4 foi $-2,75 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, valor obtido baseado em 13 estudos (OERTEL et al., 2016). A diferença pode ser explicada em função de que no presente estudo foram coletados gases em períodos de chuva, seca e chuva forte, assim obtendo-se a média em relação aos 3 diferentes períodos. A umidade do solo é o parâmetro mais importante para as emissões de gases do solo, pois controla a atividade microbiana e todos os processos relacionados (OERTEL et al., 2016). Com os diferentes períodos de medições, a intensidade de chuva ou falta de chuva foi um fator notório que pode ter influenciado nos fluxos de CH_4 .

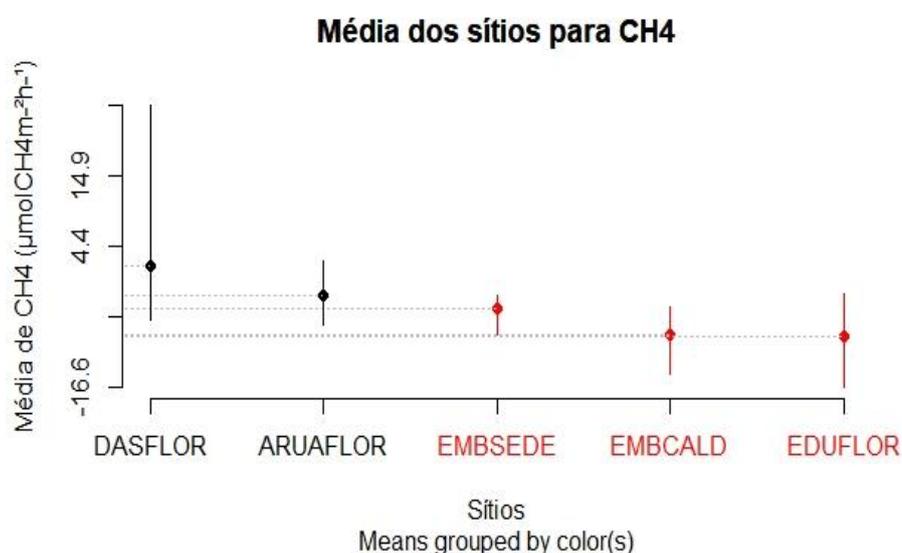


Figura 11 Gráfico de médias de CH_4 entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLOL – Eduardo Floresta).

4.2.3 Média de N_2O por sítio.

A figura 12 mostra que o fluxo de N_2O do sítio EMBSEDE apresentou média diferente dos demais sítios. A variação do fluxo entre os sítios estudados foi de $0,86 \pm 1,32$ a $2,75 \pm 2,81 \mu\text{molN}_2\text{Om}^{-2}\text{h}^{-1}$ e a média foi de $1,33 \mu\text{molN}_2\text{Om}^{-2}\text{h}^{-1}$. A diferença existente entre o sítio EMBSEDE e os demais, pode estar relacionada a um efeito de borda no referido sítio. Outro fator que tem relação com fluxo de N_2O é a disponibilidade de nitrogênio do solo, entretanto os sítios apresentam médias semelhantes, de acordo com a tabela 6 da sequência deste estudo, assim não sendo possível atribuir a diferença de fluxos de N_2O a disponibilidade de N do solo.

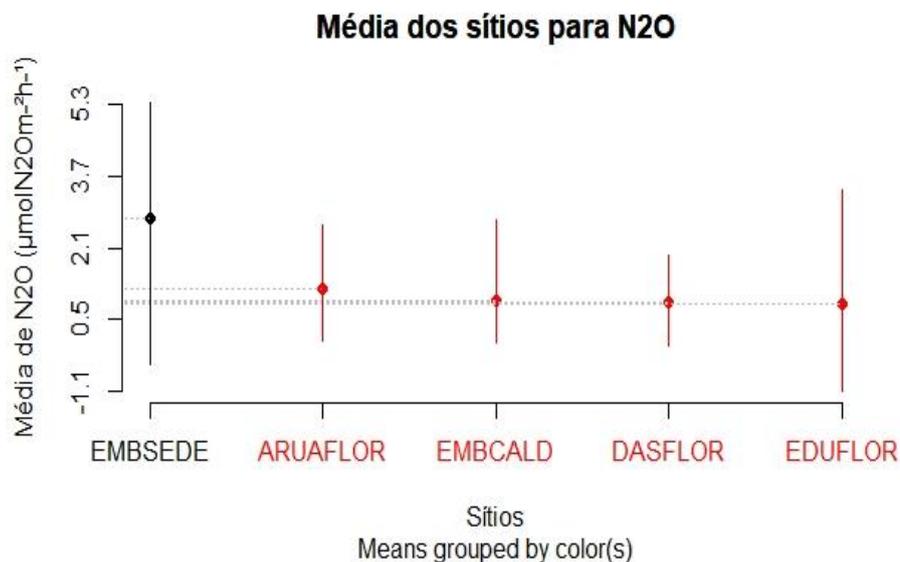


Figura 12 Gráfico de médias de N₂O entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLOL – Eduardo Floresta).

4.3 TEMPERATURA E UMIDADE NOS SÍTIOS FLORESTAIS

Foram obtidos resultados tanto para temperatura do ar como para temperatura do solo, bem como para umidade do ar e umidade do solo, pois tais fatores exercem funções de grande importância no fluxo de gases do solo para atmosfera.

Tabela 5 Teste ScottKnott para médias de umidade do ar e do solo, temperatura do ar e do solo entre os sítios florestais.

SÍTIO	HUM. DO AR (%)	HUM. DO SOLO (%)	TEMP. DO AR (°C)	TEMP. DO SOLO (°C)
DASFLOR	71,95 ± 2,51a	29,9 ± 5,88b	27,45 ± 0,76b	25,45 ± 0,54b
EMBSEDE	68,71 ± 5,87b	35,56 ± 4,62a	28,89 ± 2,69b	25,4 ± 0,99b
ARUAFLOR	67,41 ± 2,96b	20,0 ± 4,68c	29,36 ± 1,13b	26,19 ± 0,69a
EDUFLOL	66,35 ± 5,12b	27,17 ± 8,73b	30,2 ± 3,6a	26,24 ± 1,47a
EMBCALD	66,33 ± 1,43b	19,93 ± 1,42c	31,22 ± 0,7a	26,67 ± 1,06a

Médias e desvio padrão seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si a (5% de significância) (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLOL – Eduardo Floresta)

4.3.1 Média de Umidade do Ar por sítio.

Conforme a realização dos testes de médias de Umidade do ar, pôde-se observar que houve diferença significativa somente para o sítio DASFLOR. A média de umidade do ar no sítio DASFLOR foi de $71,95 \pm 2,5$ (%) a maior entre os sítios estudados. Os outros quatro sítios ARUAFLOR, EMBSEDE, EMBCALD e EDUFLORE apresentaram as médias de umidade do ar mais baixas e ficaram agrupadas sem diferenças significativas entre si. A média geral de umidade do ar ficou em 68,15 %.

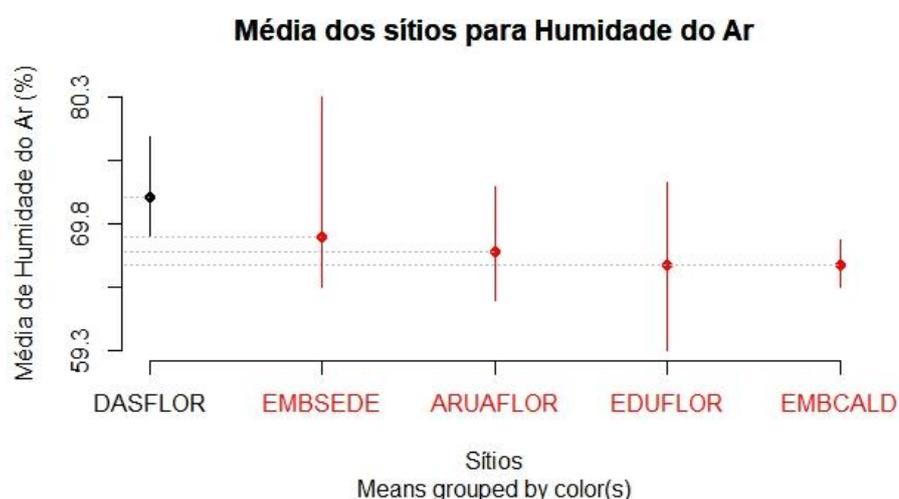


Figura 13 Gráfico de médias de Umidade do Ar entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).

4.3.2 Média de Umidade do Solo por sítio.

A umidade do solo sendo um dos parâmetros mais importantes de influência no efluxo dos gases CO_2 , CH_4 e N_2O apresentou diferença significativa entre os sítios. As médias ficaram entre $19,93 \pm 1,42$ e $35,56 \pm 4,62$ (%) e a média geral entre os sítios foi de 26,51 (%).



Figura 14 Gráfico de médias de Umidade do Solo entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLOR – Eduardo Floresta).

4.3.3 Média de Temperatura do Ar por sítio.

Conforme mostra a figura 15, as médias de temperatura do ar entre os sítios apresentaram diferenças significativas, EMBCALD e EDUFLOR ficaram com médias próximas, sendo representadas com cores iguais no gráfico, $31,22 \pm 0,7$ e $30,2 \pm 3,6$ ($^{\circ}\text{C}$) respectivamente, apresentando diferenças dos sítios ARUAFLOR, EMBSEDE e DASFLOR. A média geral entre os sítios ficou em $29,43^{\circ}\text{C}$. Santos (2012) comparando temperatura do ar em diferentes coberturas do solo, verificou as seguintes médias $29,9^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,4$) na agricultura, $26,0^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,2$) na capoeira e $30,3^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,7$) na pastagem. A média obtida nesta pesquisa quando comparada com o estudo de Santos (2012), mostra-se semelhante, onde nos sítios estudados nesta pesquisa foram apresentadas médias mínima de $27,45^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,24$) EDUFLOR e máxima de $31,22^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,7$) EMBCALD.

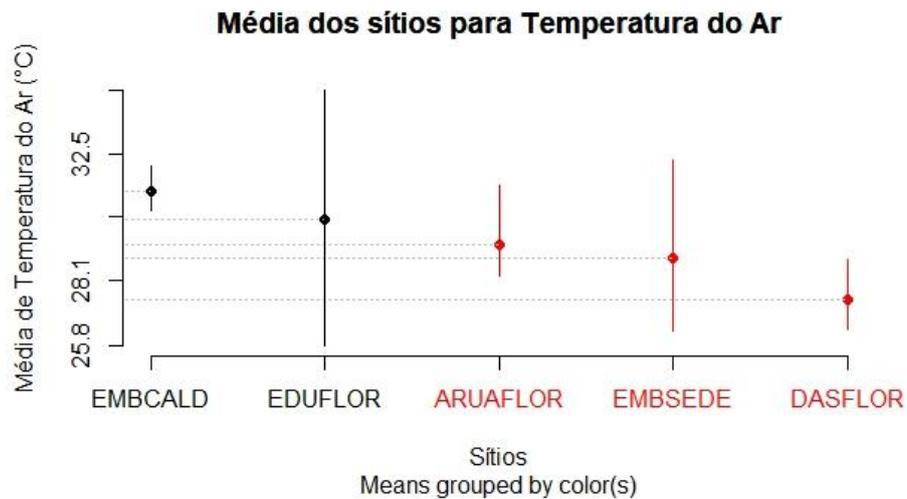


Figura 15 Gráfico de médias de Temperatura do Ar entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLOL – Eduardo Floresta).

4.3.4 Média de Temperatura do Solo por sítio.

As médias de temperatura do solo foram estatisticamente iguais para os sítios EMBCALD, EDUFLOL e ARUAFLOR sendo sumarizadas com a mesma letra “a”. Os sítios DASFLOR e EMBSEDE apresentaram médias bem mais baixas, entretanto sem diferenças significativas entre si, mas diferentes do primeiro grupo sumarizado com a letra “a”. A média de temperatura do solo entre os sítios estudados na presente pesquisa foi de 25,99 °C. Dias (2006) em solos de florestas nativas da Amazônia conferiu médias de temperatura de 25,8 e 26,5 °C na estação seca e chuvosa respectivamente, mostrando baixa variação nos diferentes períodos do ano. Em um trabalho realizado em uma floresta no Mato Grosso, foi obtida a média de temperatura do solo de $24,21 \pm 0,06$ °C, mostrando também baixa variação da temperatura do solo em relação as outras florestas citadas neste estudo, (VALENTINI, 2004).

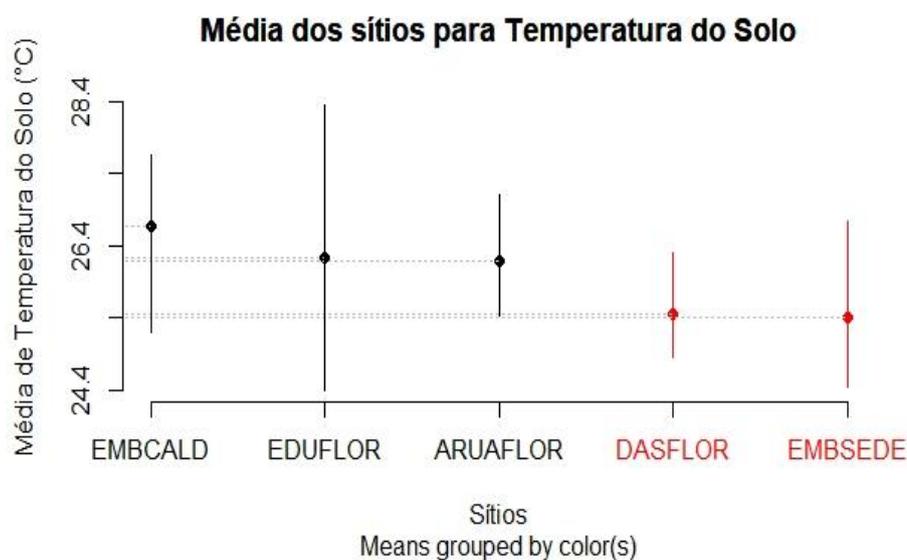


Figura 16 Gráfico de médias de Temperatura do Solo entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).

4.4 ANÁLISE DO SOLO NOS SÍTIOS FLORESTAIS

A tabela 6 apresenta os valores das médias de carbono, nitrogênio e a relação c:n do solo nos diferentes sítios estudados.

Tabela 6 Teste ScottKnott para médias de Carbono, Nitrogênio e C:N entre os sítios florestais

SÍTIO	C (wt-%)	N (wt-%)	C/N (wt-%)
EDUFLORE	2,81 ± 0,38a	0,2 ± 0,03a	13,81 ± 0,28a
ARUAFLOR	2,58 ± 0,03b	0,18 ± 0,01b	14,24 ± 0,59a
EMBSEDE	2,53 ± 0,24b	0,18 ± 0b	13,78 ± 1,31a
DASFLOR	2,21 ± 0,09c	0,18 ± 0,01b	12,64 ± 0,37b
EMBCALD	1,58 ± 0,04d	0,12 ± 0c	13,73 ± 0,9a

Médias e desvio padrão seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si a (5% de significância) (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta)

4.4.1 Média de Carbono do Solo por sítio.

A análise do carbono do solo mostrou diferenças significativas entre a maior parte dos sítios, exceto ARUAFLOR E EMBSEDE, que não apresentaram diferenças significativas entre

si. As médias variaram entre $1,58 \pm 0,04$ e $2,81 \pm 0,38$ (wt-%) e a média entre todos os sítios foi de 2,34 (wt-%).

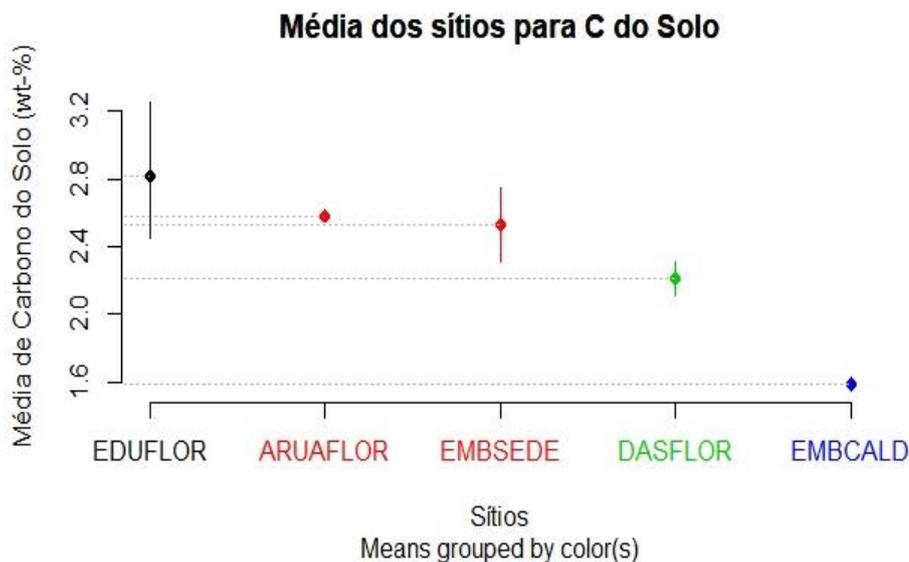


Figura 17 Gráfico de médias de Carbono do Solo entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLOR – Eduardo Floresta).

4.4.2 Média de Nitrogênio do Solo por sítio.

O nitrogênio do solo teve média entre os sítios de $0,12 \pm 0$ a $0,20 \pm 0,3$ (wt-%) e apresentou diferenças significativas entre os sítios estudados. A média geral entre todos os sítios foi de 0,17 (wt-%).

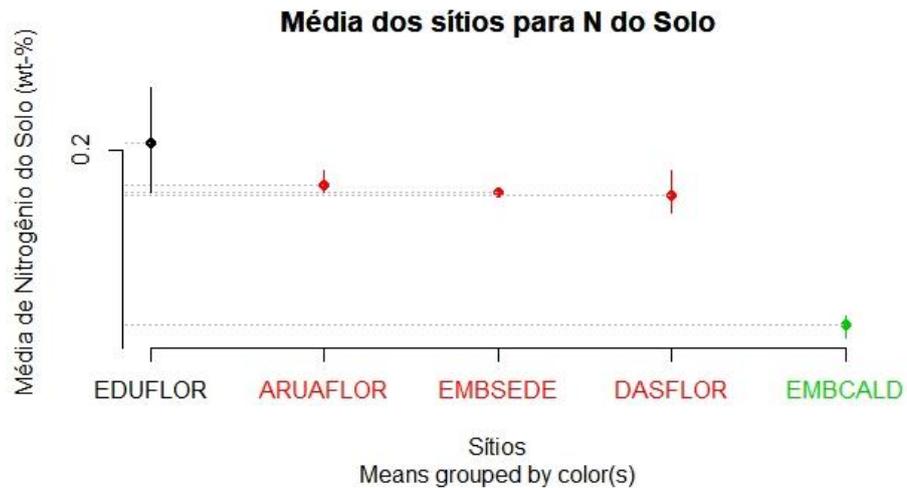


Figura 18 Gráfico de médias de Nitrogênio do Solo entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR – Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLOR – Eduardo Floresta).

4.4.3 Média da Relação Carbono Nitrogênio do Solo por sítio.

As médias para C:N observadas na figura 20 não foram estatisticamente diferentes entre os sítios, exceto DASFLOR. As médias variaram entre $12,64 \pm 0,37$ e $14,24 \pm 0,59$ (wt-%). A média da C:N entre os sítios estudados foi de 13,64 (wt-%).

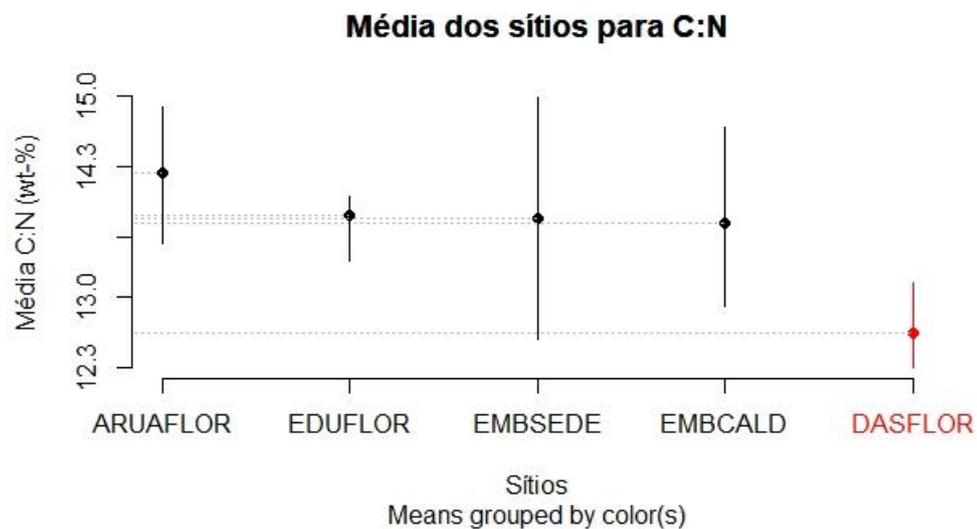


Figura 19 Gráfico de médias de C:N do Solo entre sítios florestais. Os traços verticais correspondem aos mínimos e máximos entre as médias dos sítios. (ARUAFLOR –

Aruanã Floresta, DASFLOR – DAS Floresta, EMBSEDE- Embrapa Sede, EMBCALD – Embrapa Caldeirão e EDUFLORE – Eduardo Floresta).

4.5 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO E REGRESSÃO

4.5.1 Correlação entre variáveis nos sítios florestais.

Após as análises de testes de médias entre os sítios florestais estudados, foi realizada a matriz de correlação (figura 20) para verificação da relação entre os parâmetros da estrutura da floresta, parâmetros edafoclimáticos e parâmetros da respiração do solo.

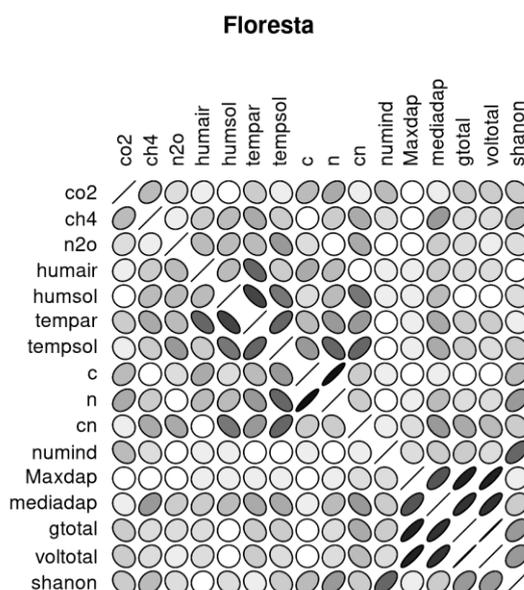


Figura 20 Gráfico da matriz de correlação de Pearson entre parâmetros da estrutura da floresta. As elipses com as maiores intensidades de colorações indicam maiores correlações, a inclinação da elipse com a parte superior para o lado direito, mostra que a correlação é positiva sendo negativas se estiverem para o lado esquerdo.

Com base na análise da figura 20, pôde-se observar e selecionar algumas variáveis da estrutura da floresta que apresentaram boa correlação com as taxas da respiração do solo. As variáveis da estrutura da floresta selecionadas para análise da relação com a respiração do solo foram as seguintes: Área basal, Número de Indivíduos, DAP máximo, DAP médio e Índice shannon.

As correlações da respiração do solo com as variáveis da estrutura foram maiores quando analisadas em função do fluxo de CO₂, principalmente das variáveis número de indivíduos, área basal, volume total e índice de shannon. As correlações de fluxos de CH₄ e N₂O foram maiores com as variáveis umidade do ar e do solo, temperatura do ar e do solo e C:N.

Em estudos de fluxo de CO₂ relacionado com estrutura da floresta, o parâmetro área basal mostrou $R^2 = 0,37$, sendo considerado moderado. Outros parâmetros como DAP, DAP máximo foram analisados em relação ao efluxo de CO₂ e apresentaram $R^2 = 0,60$ e $R^2 = 0,38$, respectivamente. No entanto, estes parâmetros foram analisados conjuntamente com outros fatores espaciais, como a distância das árvores até 6 metros em relação ao ponto de coleta de gás, onde foi possível observar melhores correlações (KATAYAMA, 2009).

Para Sotta (1998) a área basal de modo geral não apresentou relação com o fluxo de CO₂, pois houve pontos que as correlações foram positivas e outros negativas. No entanto, houveram dois pontos com uma alta correlação positiva, indicando que pode haver uma relação do efluxo do CO₂ com o tamanho das árvores, provavelmente devido à queda de liteira e a quantidade e tamanho das raízes que determinariam a maior produção de CO₂. Importante frisar que a autora atribuiu os resultados de pontos sem correlação a poucas medições nos referidos pontos.

Segundo Valentini (2004) as variáveis Temperatura do solo e efluxo de CO₂ apresentaram uma correlação forte ($r = 0,67$), no entanto o resultado da presente pesquisa apresentou correlação fraca conforme o gráfico de correlações na figura 20.

4.5.2 Regressão entre variáveis nos sítios florestais.

Foram realizadas análises de regressão para verificar a capacidade de predição de respiração do solo em função de variáveis da estrutura da floresta. Os resultados apresentados na sequência, foram selecionados observando os critérios citados na metodologia da presente pesquisa.

A figura 21 mostra o ajuste de uma equação para predição de efluxo de CO₂ em função da variável independente área basal. O coeficiente de determinação R^2 ajust = 0,9106 mostrou boa capacidade de predição e teve um pvalor <0,001 mostrando-se significativo. O gráfico de distribuição dos resíduos não apresentou tendenciosidade, desta forma pode-se inferir que a

área basal é uma variável que exerce influência no efluxo de CO₂ e apresenta qualidade na estimativa.

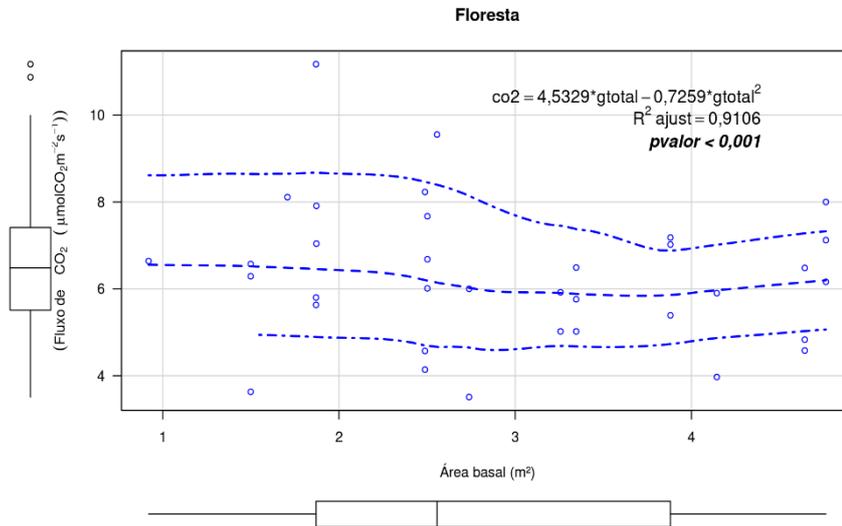


Figura 21 Gráfico de regressão de fluxo de CO₂ em função da área basal, considerando os sítios sob cobertura de florestas. $co_2 = \text{fluxo de CO}_2$; $gtotal = \text{área basal}$.

Na figura 22 é apresentado o ajuste de equação para estimativa do fluxo de CO₂, utilizando a variável DAP máximo, que apesar de não ter apresentado diferença estatística entre diferentes sítios florestais, apresentou boa capacidade de predição de fluxo de CO₂ com $R^2 \text{ ajustado} = 0,8746$ e boa distribuição gráfica dos resíduos.

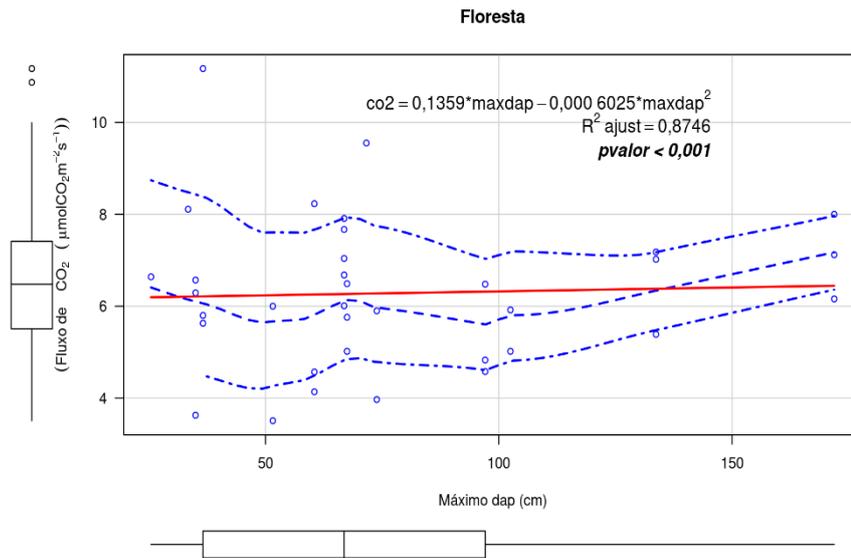


Figura 22 Gráfico de regressão de fluxo de CO₂ em função de DAP máximo, considerando os sítios sob cobertura de florestas. co2 = fluxo de CO₂; maxdap = DAP máximo basal.

A figura 23 mostra o ajuste de equação para estimativa do fluxo de CO₂, utilizando a variável Número de indivíduos, um parâmetro da estrutura da floresta muito utilizado em análises de sítios florestais, pois a abundância é um dos componentes do índice de valor de importância. A referida variável apresentou boa capacidade de predição de fluxo de CO₂ com $R^2 \text{ ajustado} = 0,9077$ e $p\text{valor} < 0,001$. A distribuição gráfica dos resíduos mostra uma concentração maior na média de 55 devido os sítios apresentarem essa média de indivíduos, entretanto o gráfico não apresenta tendência.

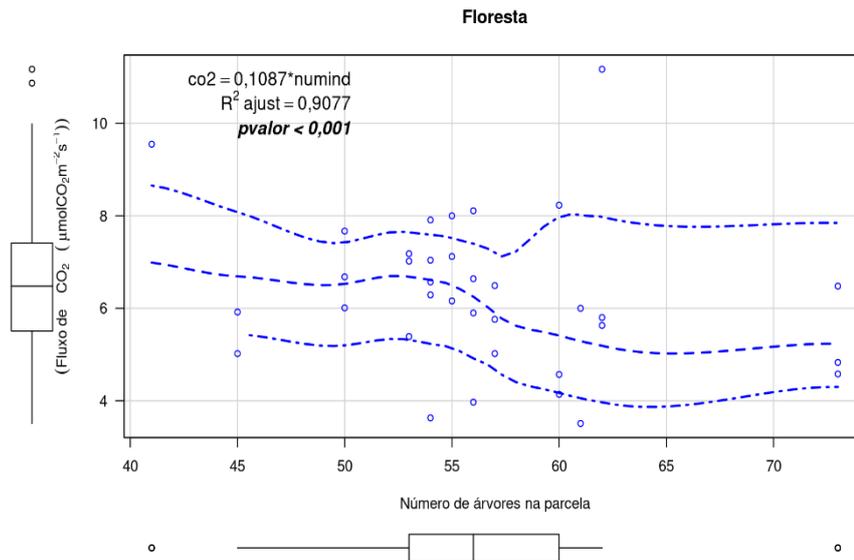


Figura 23 Gráfico de regressão para variável independente Número de indivíduos, considerando os sítios sob cobertura de florestas. $co2$ = fluxo de CO₂; $numind$ = Número de indivíduos na parcela.

Na figura 24 é apresentado o ajuste de equação para estimativa do fluxo de CO₂, utilizando a variável índice de shannon (H'), um parâmetro da estrutura da floresta relacionado a diversidade de espécies que foi testado e apresentou um R^2 ajust = 0,9317, $pvalor < 0,001$ e boa distribuição dos resíduos, sendo considerado na presente pesquisa uma boa opção de variável para predição de fluxo de CO₂.

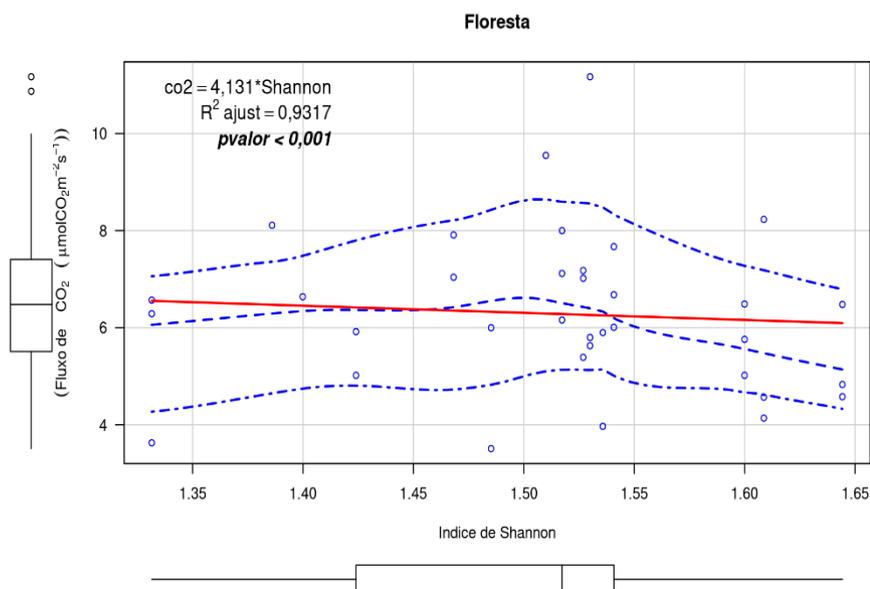


Figura 24 Gráfico de regressão de fluxo de CO₂ em função do Índice de Shannon, considerando os sítios sob cobertura de florestas. co2 = fluxo de CO₂; Shannon = Índice de Shannon.

4.5.3 Correlação entre variáveis do sistema Floresta e Pós Floresta.

Foram feitos testes de correlação entre as variáveis do sistema Floresta como uma análise exploratória dos dados para verificar se a respiração do solo tem relação com algum parâmetro da estrutura florestal ou com algum parâmetro edafoclimático que pudesse ser comparado com os sistemas Pós Floresta.

Na figura 25, além de parâmetros da estrutura da floresta, outros parâmetros como umidade do ar, umidade do solo, temperatura do ar e temperatura do solo, bem como Carbono e Nitrogênio do solo, apresentaram sinais de correlações em função da respiração do solo.

Segundo Coelho (2005) apesar da baixa correlação existente entre efluxo de CO₂ do solo e umidade do solo, verifica-se que com o aumento da umidade há um decréscimo da liberação do efluxo de CO₂, talvez provocado pela saturação do solo, que substitui o conteúdo de ar dos poros por água e forma uma barreira para a saída de CO₂ advindo da decomposição de matéria orgânica e da respiração das raízes.

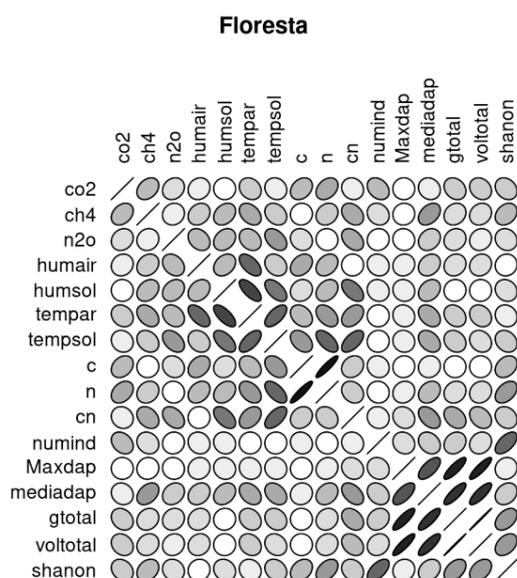


Figura 25 Gráfico da matriz de correlação de pearson dos sítios sob cobertura florestal. As elipses com as maiores intensidades de colorações indicam maiores correlações, a inclinação da elipse com a parte superior para o lado direito, mostra que a correlação é positiva sendo negativas se estiverem para o lado esquerdo.

O sistema Pós Floresta apresentou de modo geral correlações mais baixas entre a respiração do solo e os fatores edafoclimáticos em comparação ao sistema floresta.

Apesar das baixas correlações, foram selecionadas variáveis relevantes na análise da respiração do solo, de forma que pudessem ser comparadas com as relações das mesmas entre os sistemas Floresta e Pós Floresta (não floresta).

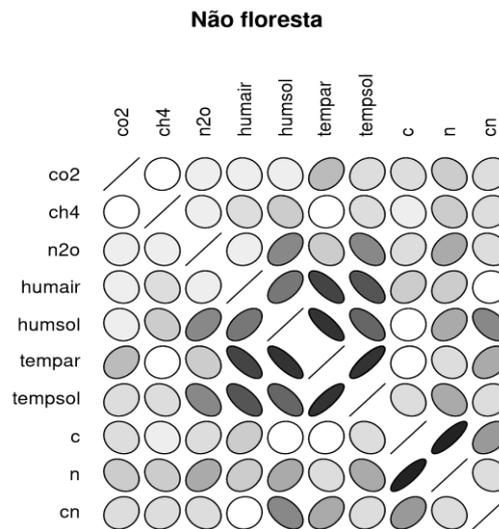


Figura 26 Matriz de correlação de Pearson dos sítios sob cobertura pós floresta. As elipses com as maiores intensidades de colorações indicam maiores correlações, a inclinação da elipse com a parte superior para o lado direito, mostra que a correlação é positiva sendo negativas se estiverem para o lado esquerdo.

4.5.4 Regressão entre variáveis do sistema Floresta e Pós Floresta.

Foram feitos testes de regressão para predição de efluxos de CO_2 , CH_4 e N_2O , respiração do solo, com as variáveis edafoclimáticas para comparação entre cenários floresta e pós floresta, de forma a verificar se a influências dos fatores isolados são maiores no sistema floresta ou no sistema pós floresta.

4.5.4.1 Fluxo de CO_2 vs Umidade do ar.

Nas figuras 27 e 28, os gráficos de dispersão do fluxo de CO_2 em função da variável umidade do ar, mostram diferenças importantes no ajuste das equações, onde no sistema floresta a capacidade de predição do fluxo de CO_2 por meio da variável umidade do ar é melhor do que no sistema pós floresta conforme os coeficientes de determinação R^2 ajust = 0,9325 pvalor < 0,001 e R^2 ajust = 0,7896 pvalor < 0,001 para floresta e pós floresta respectivamente. Entretanto, pode-se observar no sistema pós floresta que o efluxo de CO_2 tende a diminuir conforme o aumento da umidade do ar. No sistema floresta, a reta de regressão sugere o inverso, porém não

fica clara essa relação, uma vez que os resíduos não apresentam boa distribuição como no sistema pós floresta.

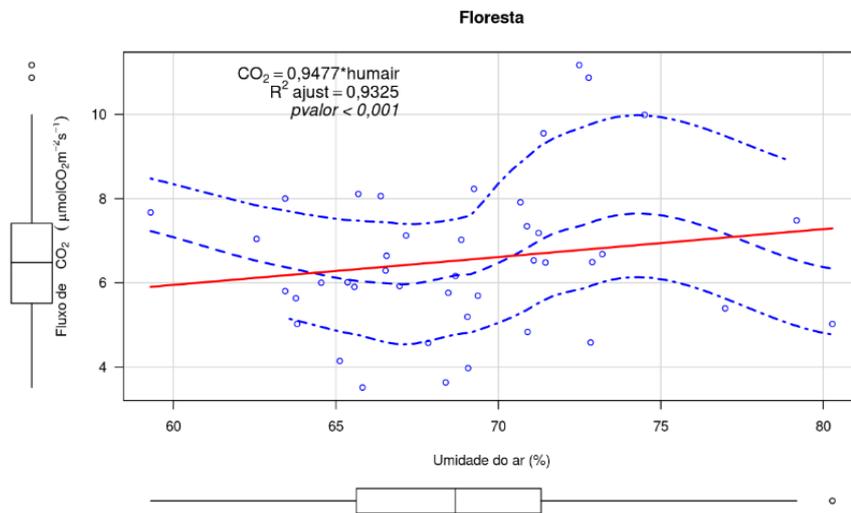


Figura 27 Gráfico de regressão do fluxo de CO₂ em função da Umidade do ar, considerando os sítios sob cobertura de florestas. CO₂ = fluxo de CO₂; humair = umidade do ar.

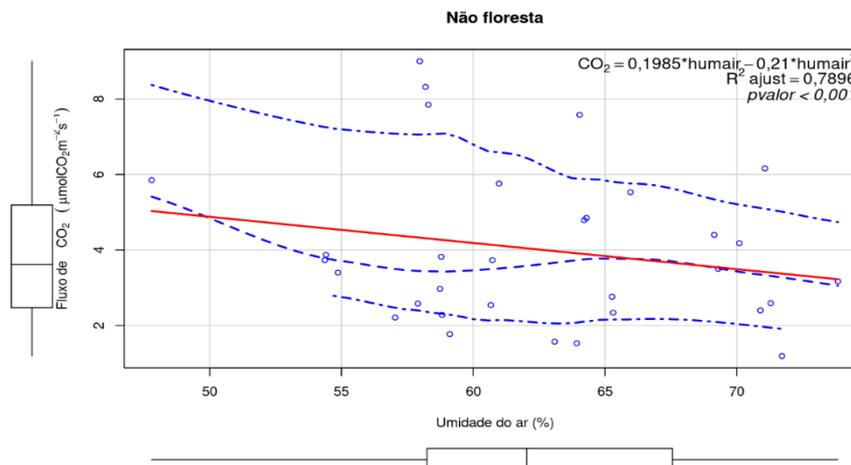


Figura 28 Gráfico de regressão do fluxo de CO₂ em função da Umidade do Ar considerando os sítios sob cobertura pós floresta, CO₂ = fluxo de CO₂; humair = umidade do ar.

4.5.4.2 Fluxo de CO₂ vs Umidade do solo.

Na figura 29 o fluxo de CO₂ em função da variável umidade do solo no sistema floresta apresentou R² ajust = 0,8647; pvalor <0,001 e boa distribuição gráfica dos resíduos. No sistema pós floresta, figura 30, o R² ajust = 0,7776; pvalor <0,001 e a distribuição gráfica dos resíduos não foi melhor que os valores obtidos no sistema floresta, mostrando que a variável umidade do solo exerce maior influência e capacidade de predição dos fluxos de CO₂ no sistema floresta. A umidade do solo é um fator importante para que ocorra o efluxo de CO₂ em função de ser limitante na ocorrência de reações químicas de decomposição da matéria orgânica (VALENTINI, 2004)

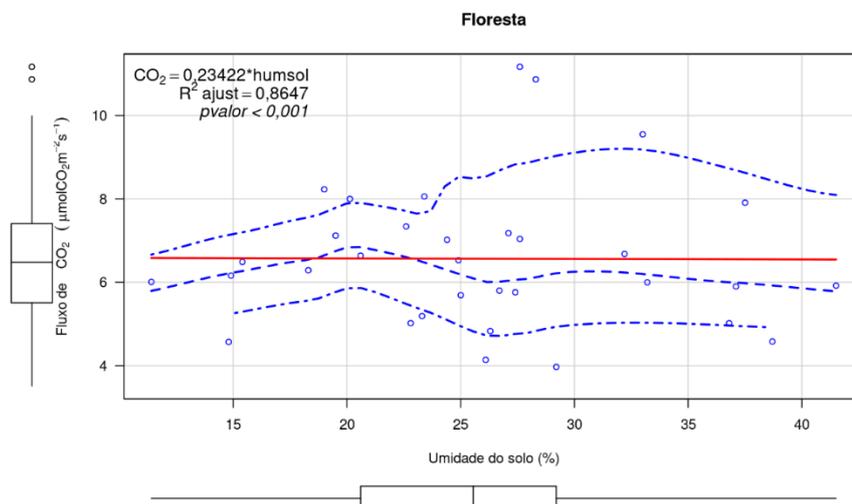


Figura 29 Gráfico de regressão do fluxo de CO₂ em função da Umidade do solo, considerando os sítios sob cobertura de florestas. CO₂ = fluxo de CO₂; humsol = umidade do solo.

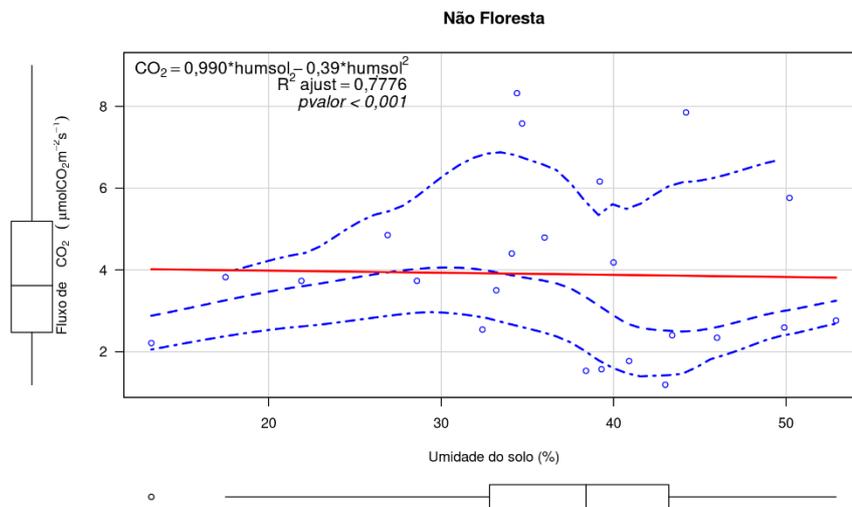


Figura 30 Gráfico de regressão do fluxo de CO_2 em função da Umidade do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CO_2 = fluxo de CO_2 ; humsol = umidade do solo.

4.5.4.3 Fluxo de CO_2 vs Temperatura do ar.

As figuras 31 e 32, apresentam comportamentos de respostas diferentes, com relações inversas, onde a predição do fluxo de CO_2 a partir da variável temperatura do ar mostra-se decrescente no sistema floresta e crescente no pós floresta. Ambas as situações apresentaram bons coeficientes de determinação e significativas, $R^2 \text{ ajustado} = 0,9328$; $p\text{valor} < 0,001$ e $R^2 \text{ ajustado} = 0,804$; $p\text{valor} < 0,001$; sistema floresta e pós floresta respectivamente, mostrando que a variável temperatura do ar, pode influenciar nos fluxos de CO_2 . Com o aumento do número de observações pode ser que a relação entre as variáveis fique mais claras.

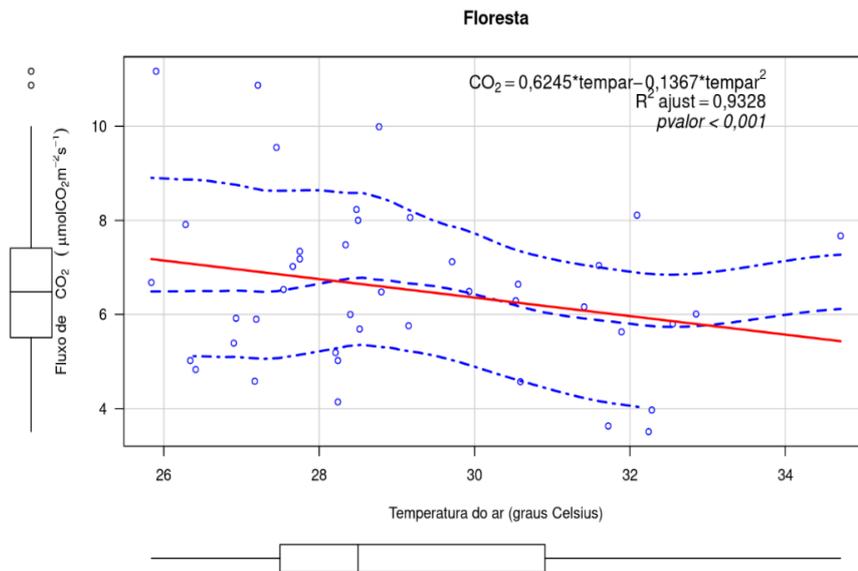


Figura 31 Gráfico de regressão do fluxo de CO_2 em função da Temperatura do ar, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CO_2 = fluxo de CO_2 ; tempar = temperatura do ar.

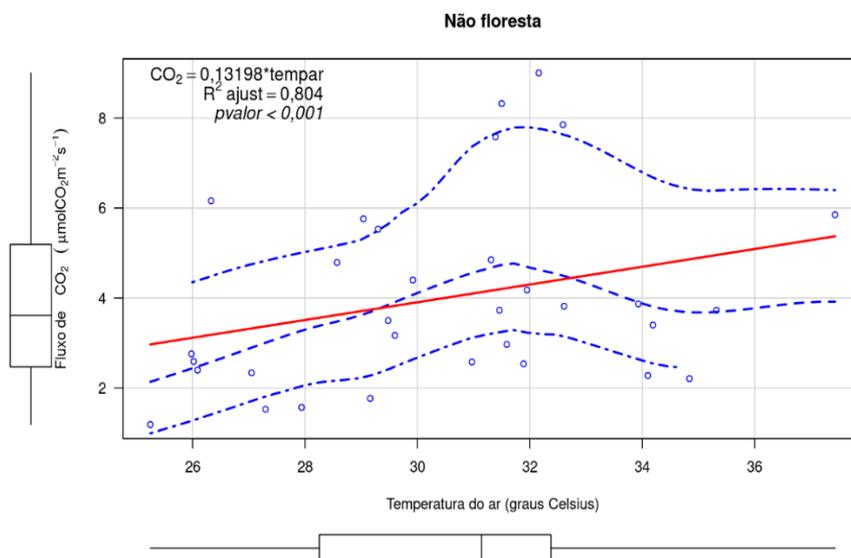


Figura 32 Gráfico de regressão do fluxo de CO_2 em função da Temperatura do ar, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CO_2 = fluxo de CO_2 ; tempar = temperatura do ar.

4.5.4.4 Fluxo de CO₂ vs Carbono do solo.

O gráfico de dispersão de fluxo de CO₂ em função do carbono do solo no sistema floresta, demonstrado na figura 33, apresentou R² ajust = 0,9325; pvalor < 0,001 no entanto quando avaliado conjuntamente com a dispersão dos resíduos pode-se afirmar que as predições apresentam distorções em função da tendência observada a partir de 2,5 wt-% , portanto a variável independente carbono do solo não apresenta boa capacidade de estimativa de fluxos de CO₂ em todas as faixas de teor de carbono. No sistema pós floresta demonstrado na figura 34, a regressão apresentou tendências em diferentes pontos do gráfico, além de um R² ajust = 0,7635; pvalor <0,001 mostrando que a variável carbono do solo apresenta baixa qualidade na predição de fluxos de CO₂ também em sistemas pós floresta.

A velocidade que um dado resíduo de planta é oxidado depende da sua composição química e das condições físicas do ambiente que o cerca. Os fatores principais são: temperatura, suprimento de oxigênio, umidade, pH, disponibilidade de nutrientes tais como o P e o N, e relação C:N do resíduo da planta (DIAS, 2006), esta afirmação mostra que o Carbono do solo apresenta relação com o efluxo de CO₂ mesmo que indiretamente, pois a relação C:N exerce influência no tempo de decomposição de forma que estimula a produção de CO₂ por microrganismos do solo.

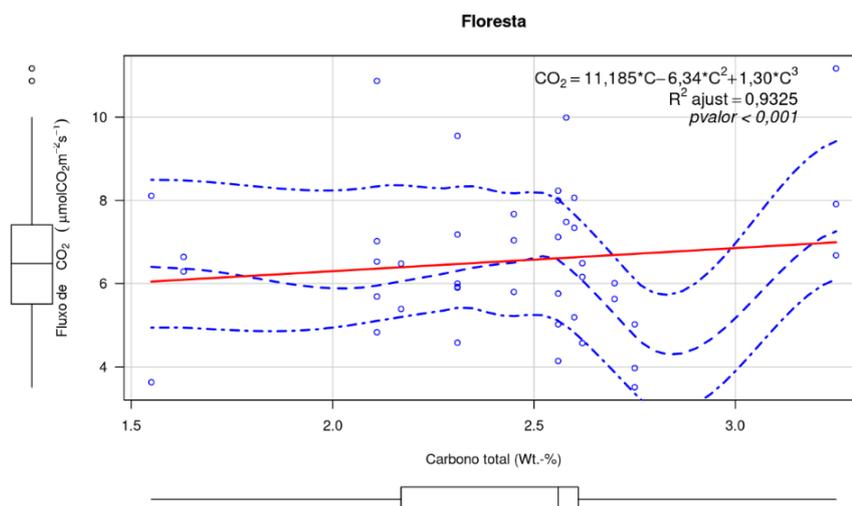


Figura 33 Gráfico de regressão do fluxo de CO₂ em função do Carbono do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CO₂ = fluxo de CO₂; C = carbono do solo.

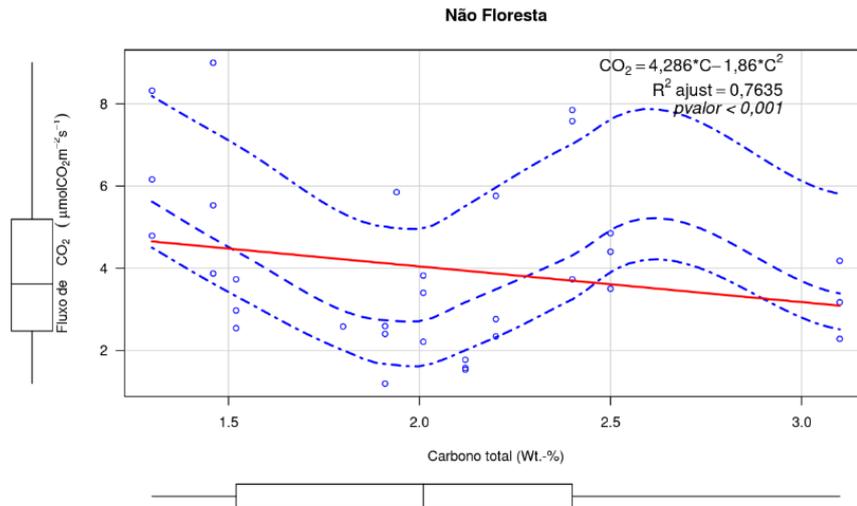


Figura 34 Gráfico de regressão do fluxo de CO_2 em função do Carbono do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CO_2 = fluxo de CO_2 ; C = carbono do solo.

4.5.4.5 Fluxo de CO_2 vs Nitrogênio do solo.

Avaliando o fluxo de CO_2 em função da variável independente nitrogênio do solo, e levando em consideração tanto a distribuição dos resíduos e o coeficiente de determinação R^2 ajust, foi observado, que no sistema floresta, o nitrogênio do solo apresenta boa capacidade de predição (R^2 ajust = 0,932; $p\text{valor} < 0,001$) (Figura 35). Enquanto que, no sistema pós floresta, o coeficiente de determinação R^2 ajust tem uma redução para 0,8039 e a distribuição dos resíduos apresenta baixa linearidade, mostrando que a variável analisada apresenta menor qualidade de estimativa no sistema pós floresta (Figura 36).

Em contraste com a umidade do solo e a respiração do solo, a determinação dos parâmetros químicos do solo fornece um sinal imediato de representatividade, dada a estabilidade a longo prazo dos parâmetros relacionados.

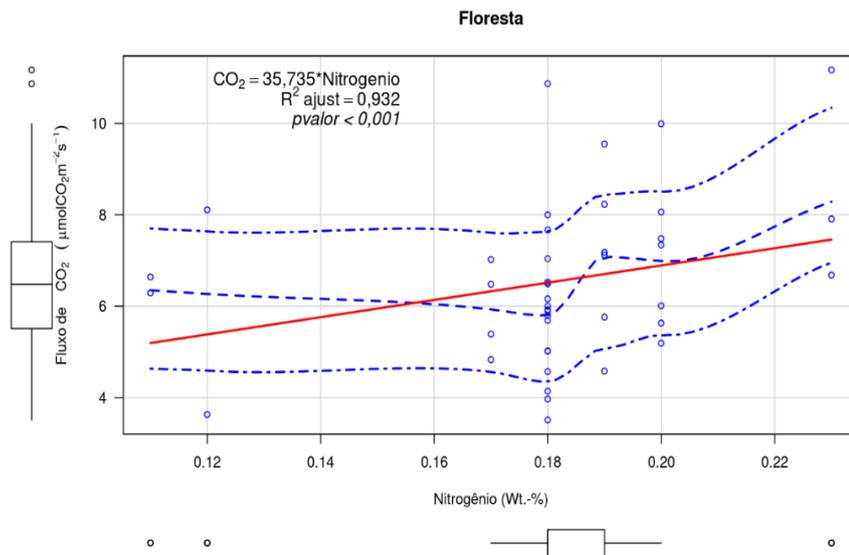


Figura 35 Gráfico de regressão do fluxo de CO_2 em função do Nitrogênio do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CO_2 = fluxo de CO_2 ; N = nitrogênio do solo.

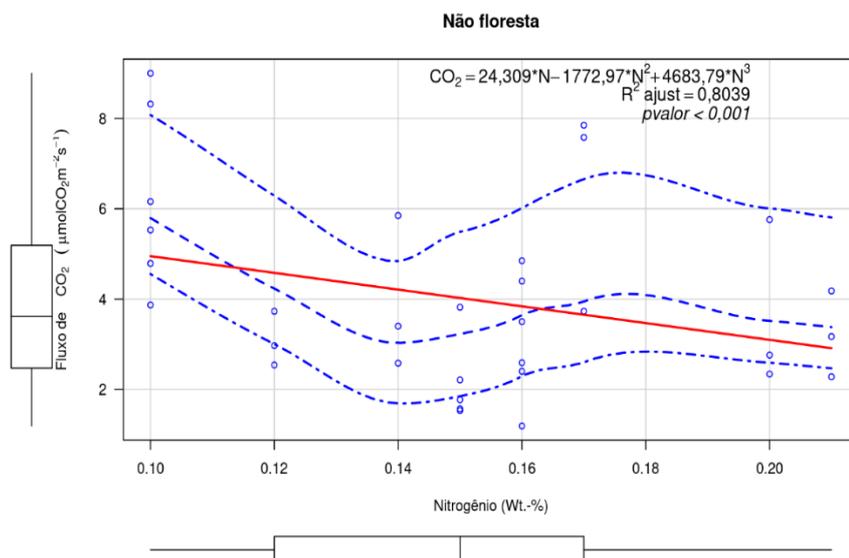


Figura 36 Gráfico de regressão do fluxo de CO_2 em função do Nitrogênio do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CO_2 = fluxo de CO_2 ; N = nitrogênio do solo.

4.5.4.6 Fluxo de CH₄ vs Umidade do ar.

Avaliando o fluxo de CH₄ em função da variável independente umidade do ar, e levando em consideração tanto a distribuição dos resíduos quanto o coeficiente de determinação R² ajust, foi observado, que no sistema floresta, a umidade do ar não apresenta boa capacidade de predição (R² ajust = 0,3147; pvalor < 0,0012) (Figura 37). No sistema pós floresta, o coeficiente de determinação R² ajust = -0,016; pvalor = 0,4782 e a distribuição dos resíduos apresentam baixa qualidade de estimativa no sistema pós floresta a partir da umidade do ar (Figura 38).

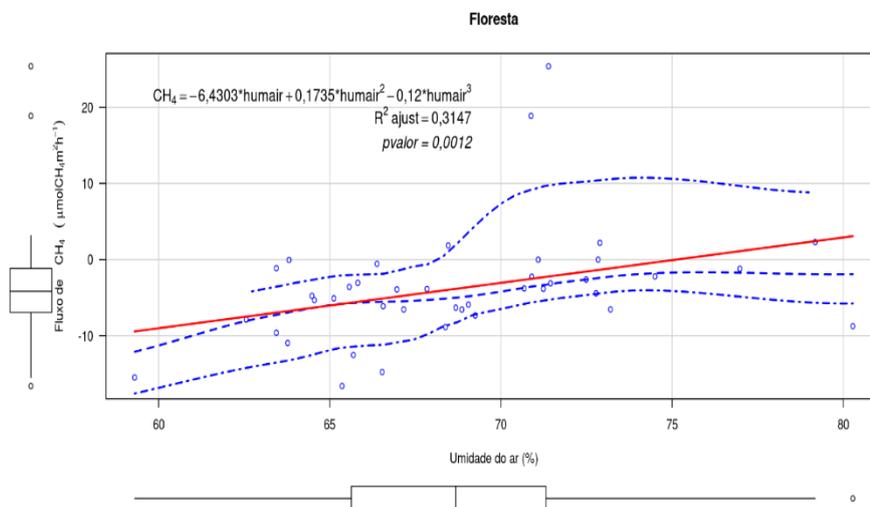


Figura 37 Gráfico de regressão do fluxo de CH₄ em função da Umidade do ar, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CH₄ = fluxo de CH₄; humair = umidade do ar.

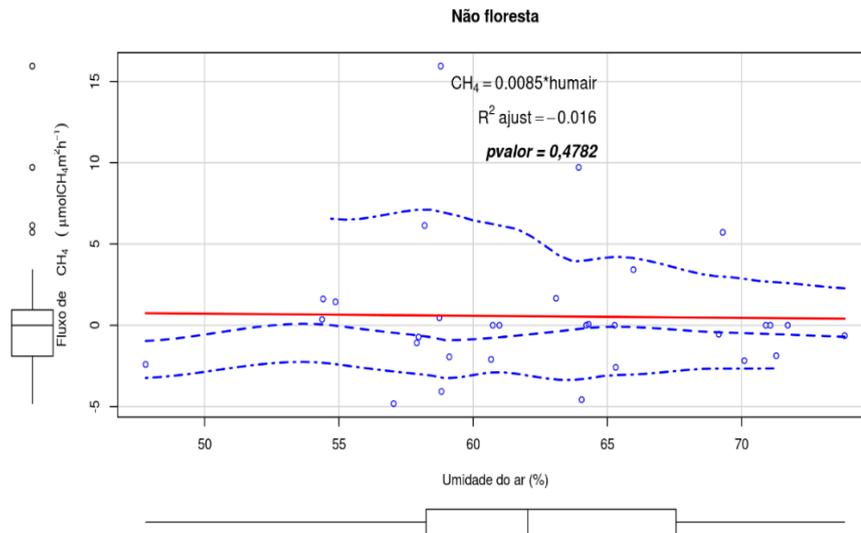


Figura 38 Gráfico de regressão do fluxo de CH_4 em função da Umidade do ar, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CH_4 = fluxo de CH_4 ; humair = umidade do ar.

4.5.4.7 Fluxo de CH_4 vs Umidade do solo.

A variável independente umidade do solo não apresentou bons indicadores de qualidade de predição de fluxos de CH_4 em ambos os sistemas avaliados (sistema floresta: R^2 ajust = 0,0075, p valor = 0,2757; sistema pós floresta: R^2 ajust = 0,0109, p valor = 0,2803. Em ambos os sistemas, o p valor não apresentou significância suficiente para aceitar as predições geradas pelo modelo (Figura 39 e 40).

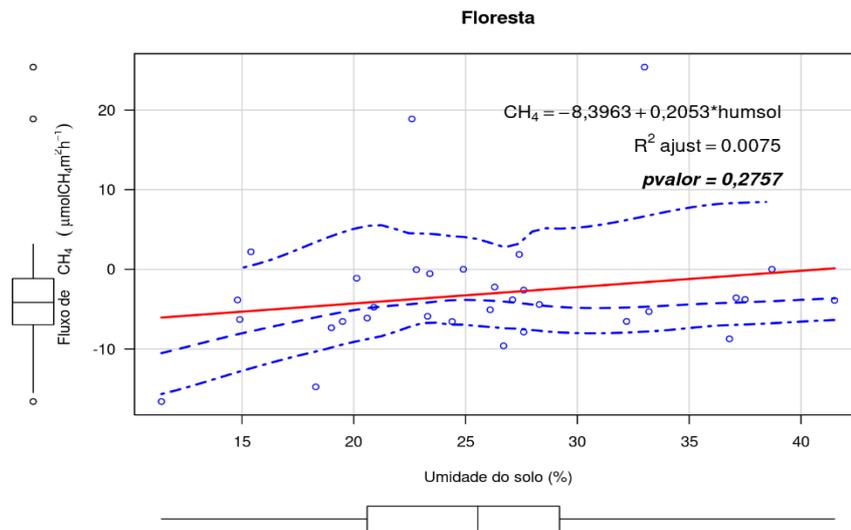


Figura 39 Gráfico de regressão do fluxo de CH_4 em função da Umidade do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CH_4 = fluxo de CH_4 ; humsol = umidade do solo.

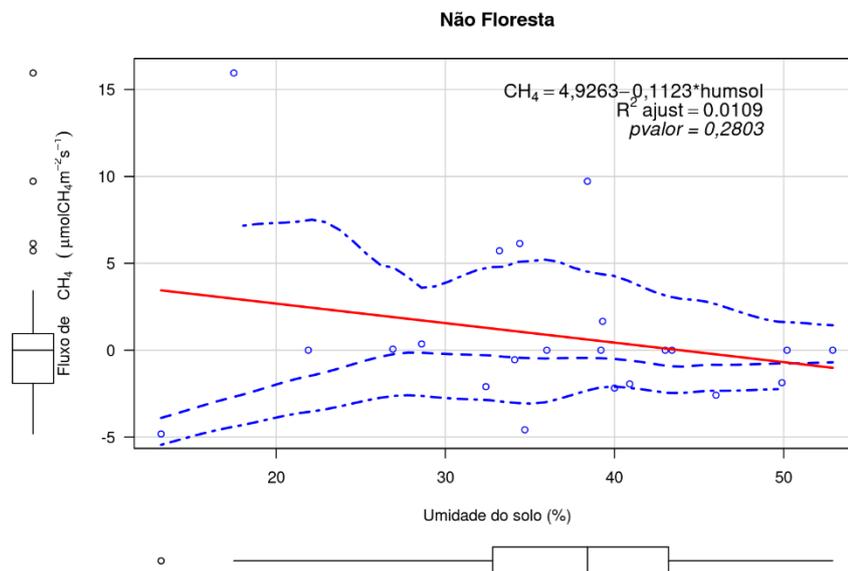


Figura 40 Gráfico de regressão do fluxo de CH_4 em função da Umidade do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CH_4 = fluxo de CH_4 ; humsol = umidade do solo.

4.5.4.8 Fluxo de CH₄ vs Temperatura do ar.

Na figura 41 o gráfico de dispersão do fluxo de CH₄ em função da temperatura do ar no sistema floresta, apresenta R² ajust = 0,3575; pvalor <0,001 e a distribuição dos resíduos não apresenta padrão de tendenciosidade. A partir da comparação do sistema floresta com o não floresta, observa-se que a pesar do baixo coeficiente de determinação, a estimativa do fluxo de CH₄ em função da temperatura do ar é melhor no sistema floresta, pois o R² ajust = 0,00796 e pvalor = 0,6331 da regressão no sistema pós floresta, demonstrada na figura 42, mostra que a estimativa em sistemas pós florestas não são bem explicadas pela variável temperatura do ar.

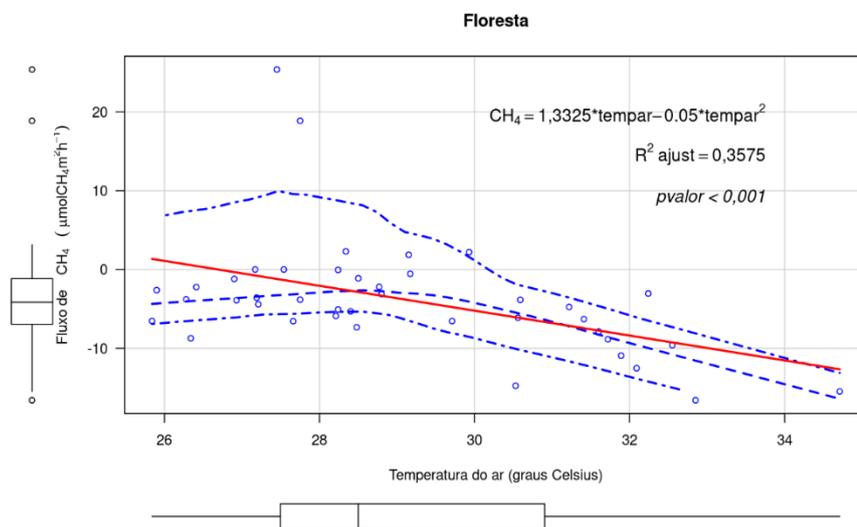


Figura 41 Gráfico de regressão do fluxo de CH₄ em função da Temperatura do ar, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CH₄ = fluxo de CH₄; tempar = temperatura do ar.

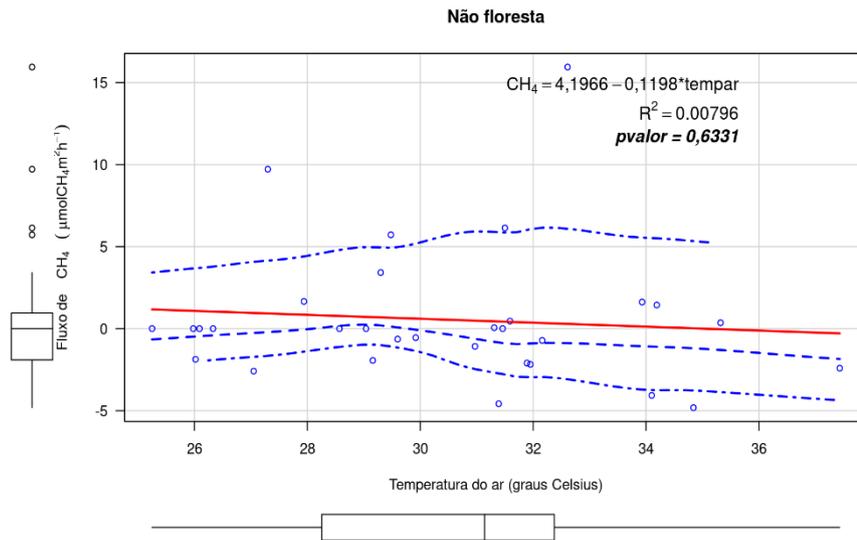


Figura 42 Gráfico de regressão do fluxo de CH_4 em função da Temperatura do ar, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CH_4 = fluxo de CH_4 ; tempar = temperatura do ar.

4.5.4.9 Fluxo de CH_4 vs Carbono do solo.

As regressões do fluxo de CH_4 em função do carbono do solo nos sistemas floresta e pós floresta mostraram nas figuras 43 e 44 que a variável independente não apresenta boa qualidade na estimativa do fluxo de CH_4 , pois apresentaram R^2 ajust = 0,1903 e $p\text{valor} = 0,01147$ no sistema floresta e R^2 ajust = 0,0017 e $p\text{valor} = 0,3137$ no sistema pós floresta, em ambos os casos verifica-se que os coeficientes não foram significativos.

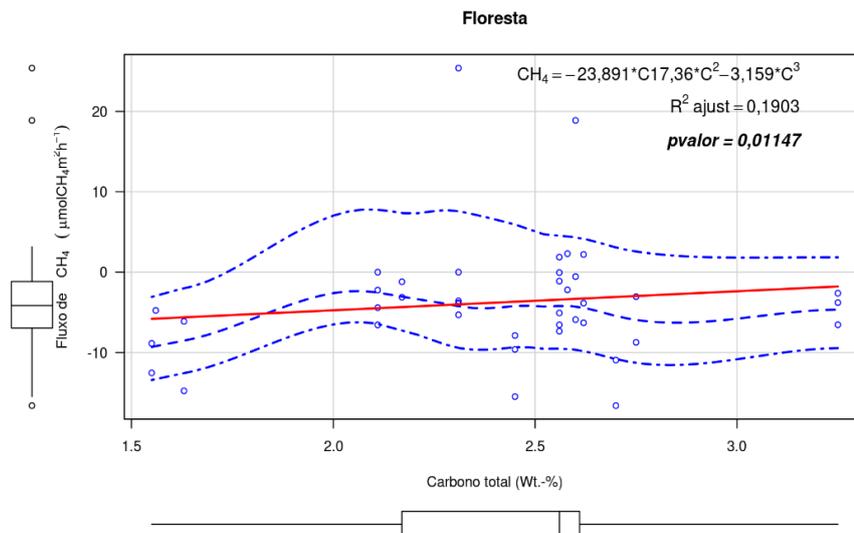


Figura 43 Gráfico de regressão do fluxo de CH_4 em função do Carbono do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CH_4 = fluxo de CH_4 ; C = carbono do solo.

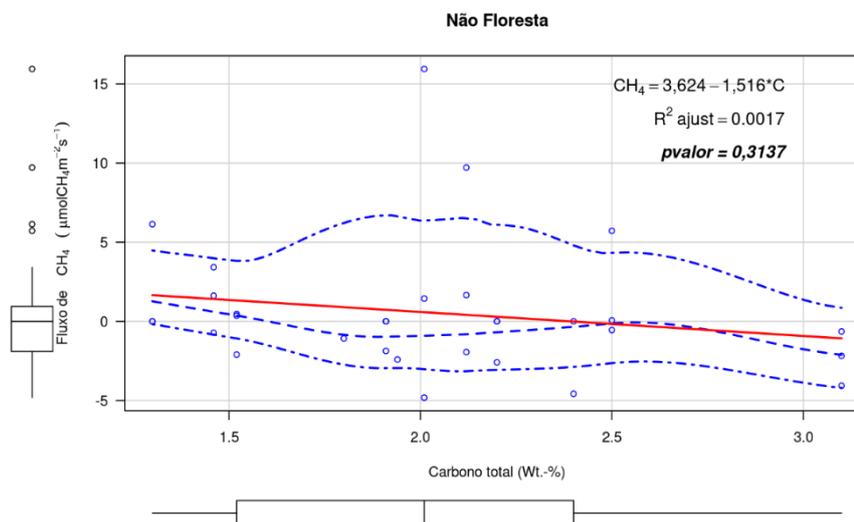


Figura 44 Gráfico de regressão do fluxo de CH_4 em função do Carbono do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CH_4 = fluxo de CH_4 ; C = carbono do solo.

4.5.4.10 Fluxo de CH₄ vs Nitrogênio do solo.

As estimativas de fluxos de CH₄ em função do nitrogênio do solo, analisadas pelas regressões apresentadas nas figuras 45 e 46, mostram que apesar das diferenças existentes nos sistemas floresta e pós floresta, não apresentam boas condições de predição. Os valores de R² ajust = 0,04807 e pvalor = 0,09014 no sistema floresta e R² ajust = 0,02581 e pvalor = 0,1907 no sistema pós floresta demonstram baixa confiabilidade na predição.

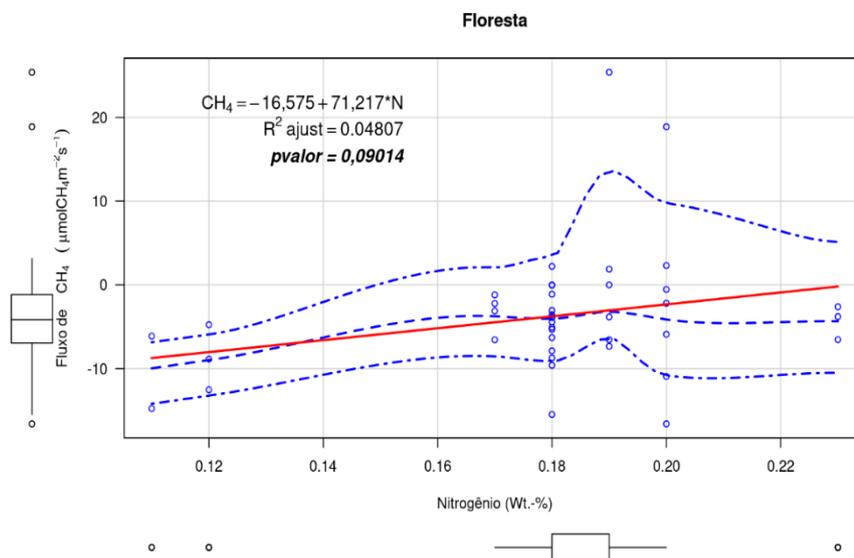


Figura 45 Gráfico de regressão do fluxo de CH₄ em função do Nitrogênio do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. CH₄ = fluxo de CH₄; N = nitrogênio do solo.

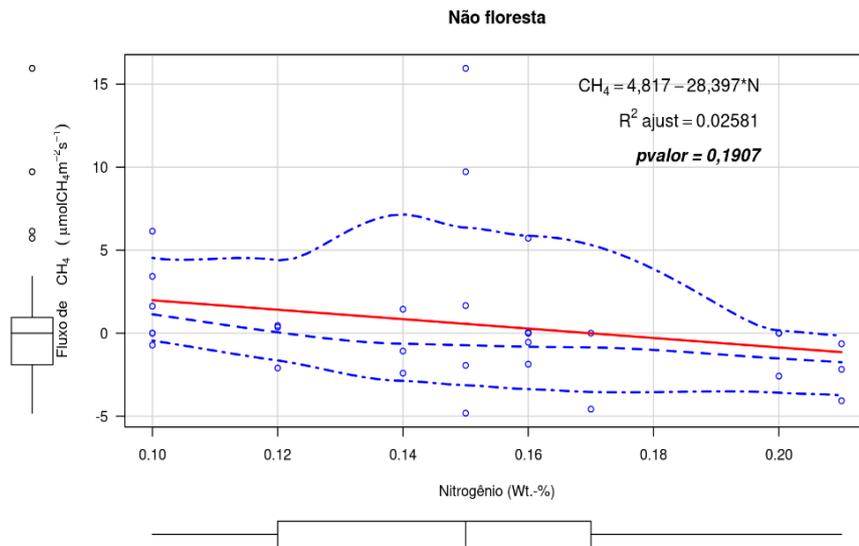


Figura 46 Gráfico de regressão do fluxo de CH_4 em função do Nitrogênio do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. CH_4 = fluxo de CH_4 ; N = nitrogênio do solo.

4.5.4.11 Fluxo de N_2O vs Umidade do ar.

A umidade do ar, quando testada para predição de fluxos de N_2O , mostra semelhança nos resultados, tanto para o sistema floresta quanto para o pós floresta, onde os valores de R^2 ajust são respectivamente 0,4021 e 0,4399 sob o mesmo nível de significância p valor $< 0,001$, entretanto no sistema floresta a distribuição dos resíduos apresentou um comportamento melhor, sem padrão de distribuição ou características de tendências na predição do fluxo de N_2O (figura 47 e 48).

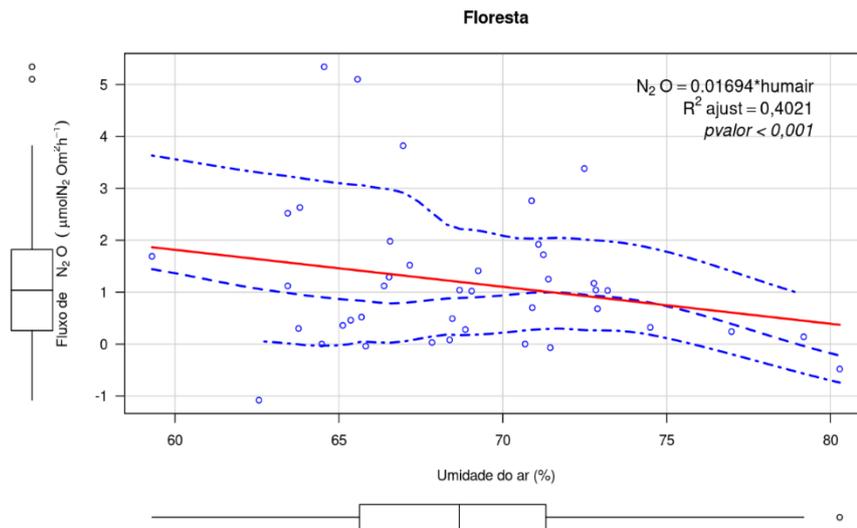


Figura 47 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função da Umidade do ar, considerando os sítios sob cobertura de floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; humair = umidade do ar.

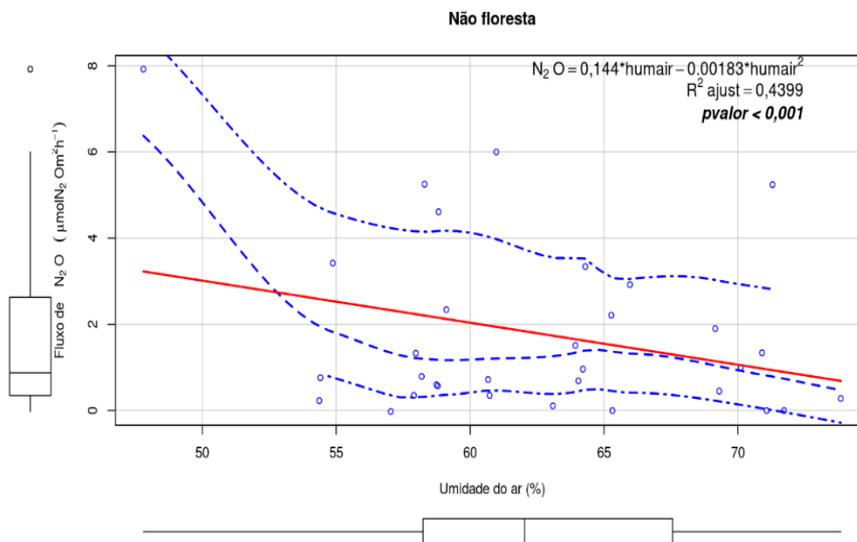


Figura 48 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função da Umidade do ar, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; humair = umidade do ar.

4.5.4.12 Fluxo de N₂O vs Umidade do solo.

Conforme observado na figura 49, a variável umidade do solo quando ajustada para predição de fluxo de N₂O no sistema floresta, apresentou R^2 ajust = 0,5195; p valor <0,001. A distribuição dos resíduos mostra que com o aumento da umidade do solo, ocorre maior dispersão dos valores de fluxo de N₂O, de forma que o modelo não mostra qualidade na predição em todas as faixas de umidade, perdendo a precisão em valores acima da média.

No sistema pós floresta apresentado na figura 50, é possível observar que a linha de predição dos valores de N₂O, subestima os fluxos nas faixas de umidade abaixo de 20% e acima de 50%. O R^2 ajust = 0,5058; p valor < 0,001 também mostra que a variável umidade do solo isoladamente não apresenta qualidade na estimativa do fluxo de N₂O.

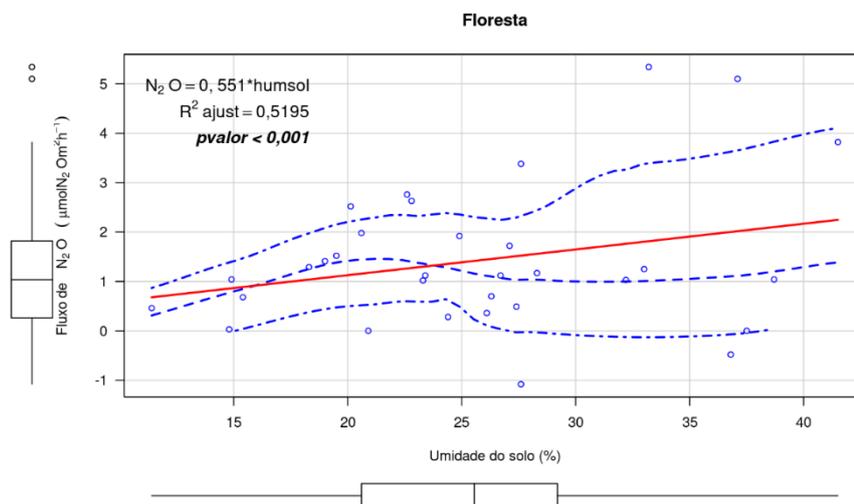


Figura 49 Gráfico de regressão do fluxo de N₂O em função da Umidade do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. N₂O = fluxo de N₂O; humsol = umidade do solo.

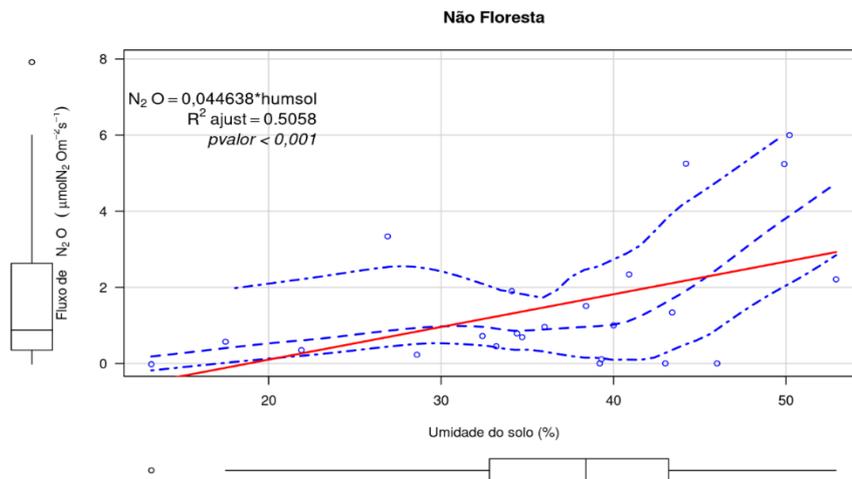


Figura 50 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função da Umidade do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; humsol = umidade do solo.

4.5.4.13 Fluxo de N_2O vs Temperatura do ar.

A temperatura do ar como variável independente na predição de fluxos de N_2O no sistema floresta, apresentou uma boa distribuição dos resíduos, entretanto apresentou R^2 ajust = 0,3956 menor que no sistema pós floresta onde o R^2 ajust = 0,4494, indicando que a temperatura do ar tem maior influência no fluxo de N_2O no sistema pós floresta, em ambos os casos o $p\text{valor} < 0,001$ sendo os coeficientes considerados significativos (figura 51 e 52).

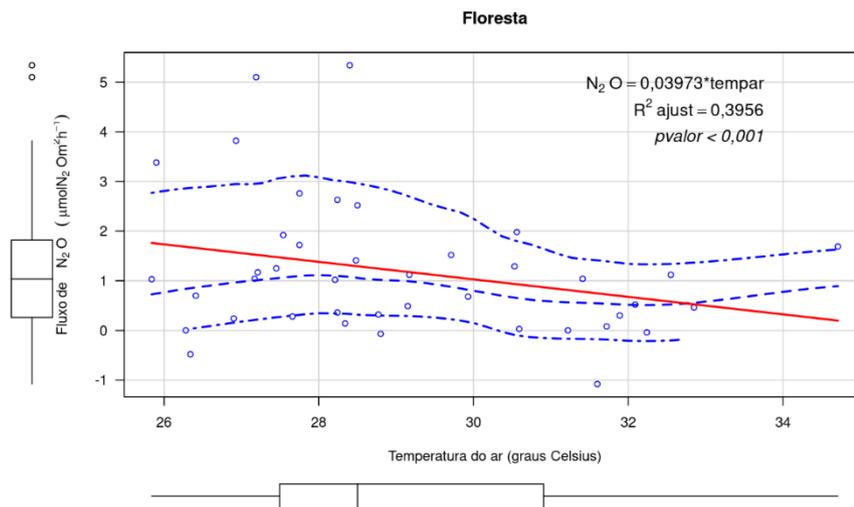


Figura 51 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função da Temperatura ar, considerando os sítios sob cobertura de floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; tempar = temperatura do ar.

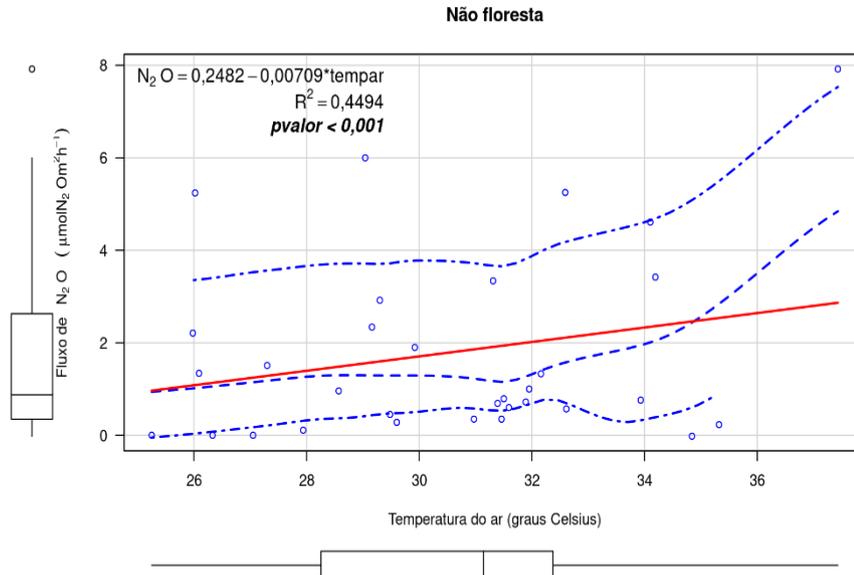


Figura 52 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função da Temperatura do ar, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; tempar = temperatura do ar.

4.5.4.14 Fluxo de N_2O vs Carbono do solo.

Na figura 53, sistema floresta, o fluxo de N_2O em função da variável carbono do solo apresentou R^2 ajust = 0,4099; p valor <0,001. Entretanto observa-se que a linha de regressão não apresenta uma variação de fluxos de óxido nitroso em função de menores ou maiores teores de carbono no solo, indicando assim que o carbono do solo não apresenta influência direta no aumento ou diminuição de fluxo de óxido nitroso. Contudo no sistema pós floresta observa-se um R^2 ajust = 0,4412 e melhor distribuição dos resíduos (figura 54). Foi possível observar também, que com o aumento do carbono do solo também ocorre o aumento do fluxo de N_2O , mostrando assim que no sistema pós floresta há maior influência do carbono do solo no fluxo de óxido nitroso.

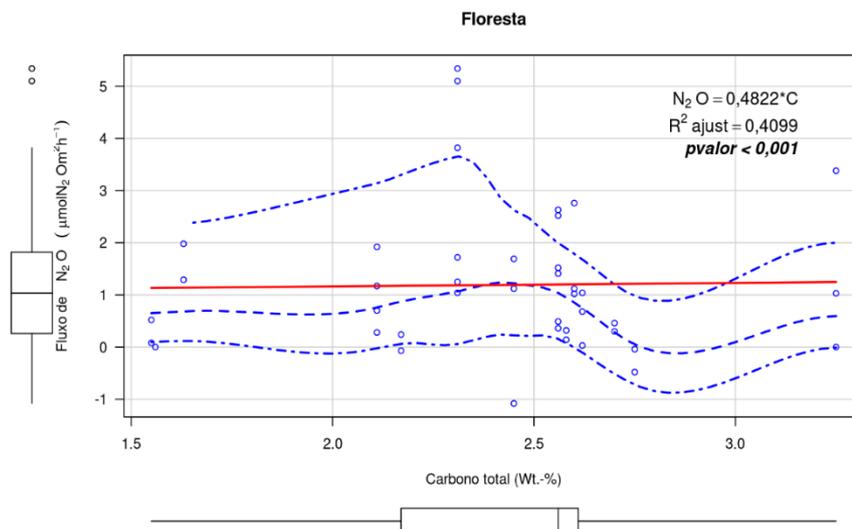


Figura 53 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função do Carbono do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; C = carbono do solo.

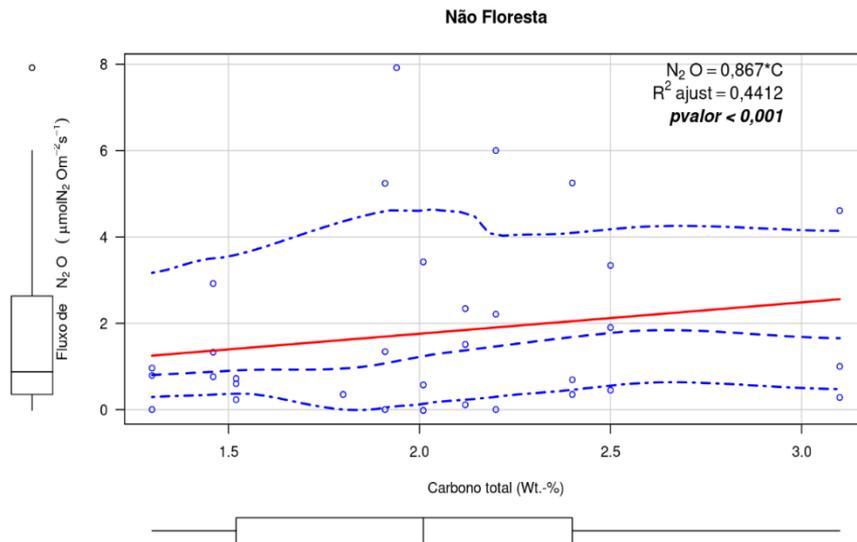


Figura 54 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função do Carbono do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; C = carbono do solo.

4.5.4.15 Fluxo de N_2O vs Nitrogênio do solo.

No sistema floresta o fluxo de N_2O em função da variável nitrogênio do solo, apresentou $R^2 \text{ ajust} = 0,4238$ e distribuição dos resíduos com valores concentrados na faixa de 0,18 (wt-%) de nitrogênio, de forma que o modelo não apresenta qualidade na estimativa do fluxo de óxido nitroso (figura 55). Entretanto no sistema pós floresta, observa-se um $R^2 \text{ ajust} = 0,4475$ e melhor distribuição dos resíduos (figura 56). Também é possível observar que com o aumento do nitrogênio do solo também ocorre o aumento do fluxo de N_2O , mostrando assim que no sistema pós floresta há maior influência do nitrogênio do solo no fluxo de óxido nitroso. Em ambos sistemas o pvalor foi $<0,001$.

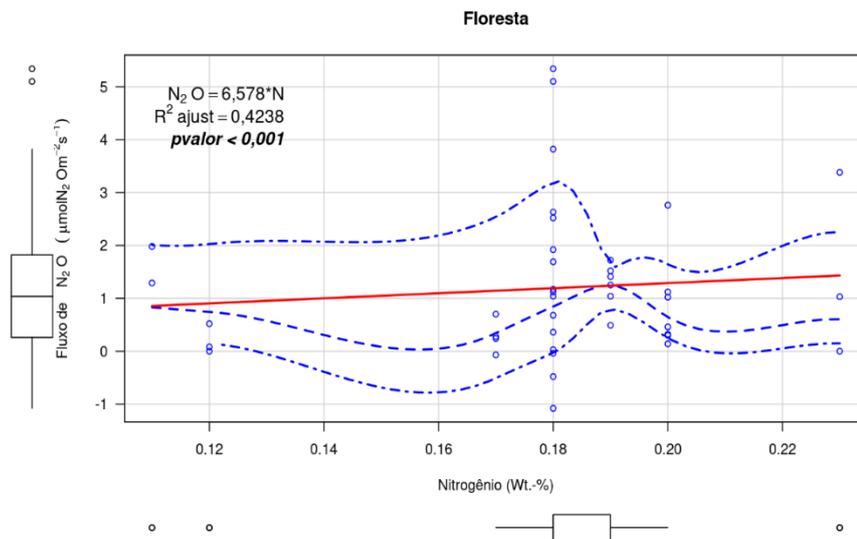


Figura 55 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função do Nitrogênio do solo, considerando os sítios sob cobertura de floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; N = nitrogênio do solo.

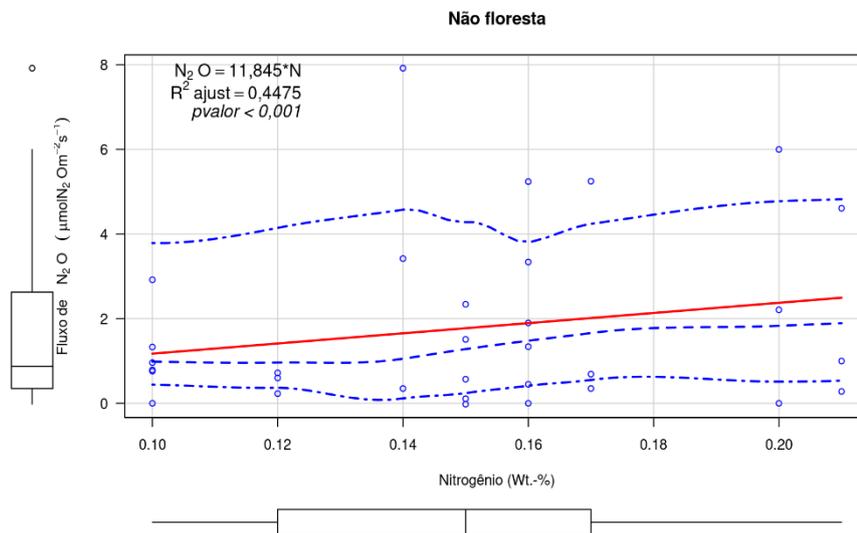


Figura 56 Gráfico de regressão do fluxo de N_2O em função do Nitrogênio do solo, considerando os sítios sob cobertura pós floresta. N_2O = fluxo de N_2O ; N = nitrogênio do solo.

4.6 ANÁLISE DE DIFERENTES COBERTURAS DE SOLO

Após as análises de teste de médias realizadas entre os sítios florestais, foi possível observar que houve diferença significativa entre parâmetros da estrutura das florestas, diferenças entre os parâmetros ambientais temperatura, umidade e parâmetros do solo, entretanto as diferenças entre as médias da respiração do solo, principalmente em função do efluxo de CO₂, sendo o principal gás da respiração do solo, não foram significativas.

Os fluxos de CH₄ e N₂O, apresentaram-se com diferenças significativas pelo menos para um sítio, entretanto mostraram que apesar das condições diversas edafoclimáticas dos sítios sob florestas, alguns sítios não apresentam diferenças significativas em relação a respiração do solo. Desta forma as médias dos sítios florestais foram unificadas para testes de médias entre diferentes coberturas do solo, no caso específico Floresta e Pós floresta.

4.6.1 Respiração do solo no sistema floresta e pós floresta

Os testes exploratórios por meio dos Boxplots, levantaram indícios de diferenças estatísticas entre as medianas da respiração do solo nos diferentes sistemas estudados.

Conforme a figura 57, às medianas para fluxo de CO₂ em áreas pós floresta são menores que as de áreas com floresta, levantando a necessidade de teste de médias para verificar se a diferença é significativa.

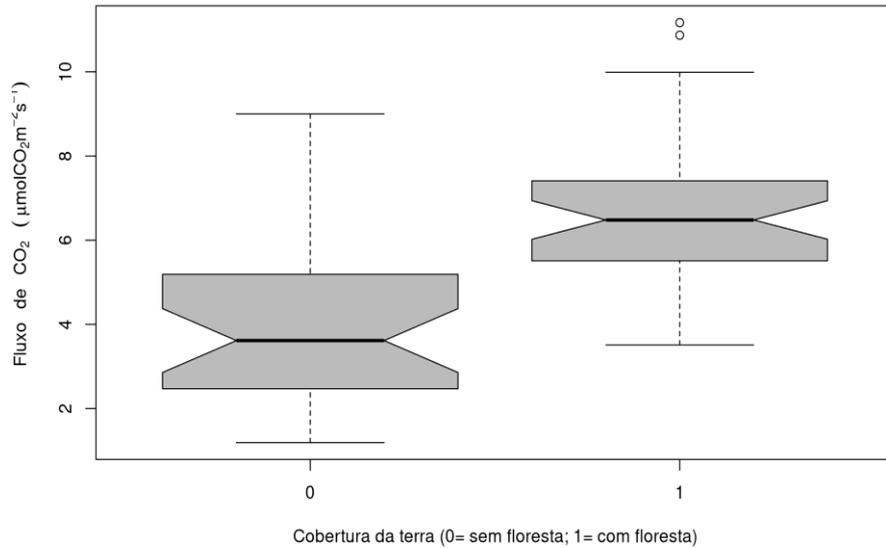


Figura 57 Boxplot exploratório para fluxos de CO₂ em função de diferentes sistemas (Floresta e Pós Floresta).

A figura 58 mostra que as medianas para fluxo de CH₄, em áreas pós floresta são maiores que as de áreas com floresta.

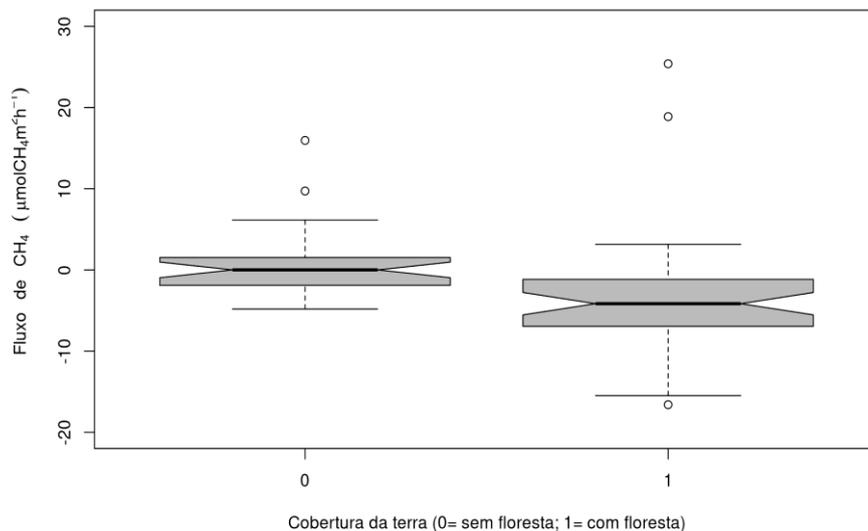


Figura 58 Boxplot exploratório para fluxos de CH₄ em função de diferentes sistemas (Floresta e Pós Floresta).

Conforme a figura 59, às medianas para fluxo de N₂O não apresentam diferenças visuais entre os sistemas Floresta e Pós Floresta, portanto fez-se necessário outros testes para as devidas conclusões.

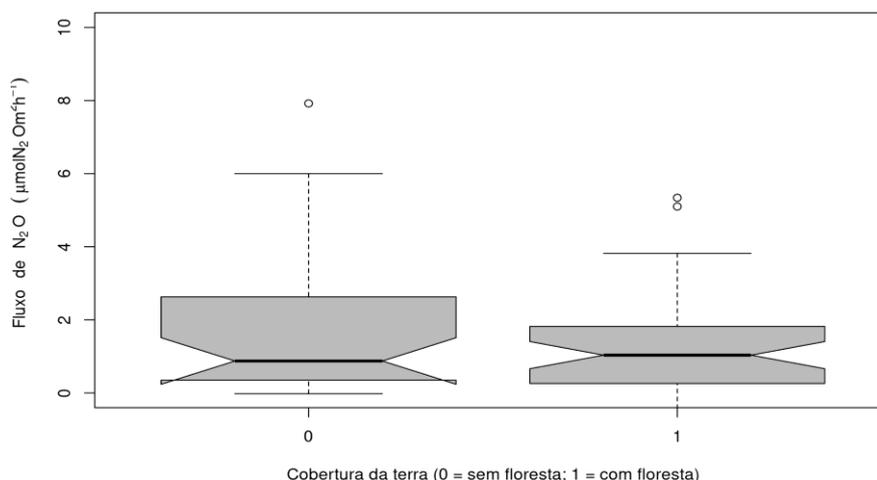


Figura 59 Boxplot exploratório para fluxos de N₂O em função de diferentes sistemas (Floresta e Pós Floresta).

As médias obtidas para a respiração do solo nos diferentes sistemas foram testadas, sumarizadas e apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 Teste ScottKnott para médias de fluxo de CO₂, CH₄ e N₂O entre os sistemas Floresta e Pós Floresta.

COBERTURA VEGETAL	CO ₂ (µmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	CH ₄ (µmolCH ₄ m ⁻² h ⁻¹)	N ₂ O (µmolN ₂ Om ⁻² h ⁻¹)
FLORESTA	6,54 ± 1,76a	-3,77 ± 7,36b	1,22 ± 1,37a
PÓS FLORESTA	4,01 ± 2,07b	0,55 ± 4,17a	1,79 ± 2,04a

Médias e desvio padrão seguidas de mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si a 5% de significância

As médias demonstradas na tabela 7, mostram-se diferentes para os fluxos de CO₂, CH₄ e iguais para fluxos de N₂O entre os diferentes sistemas analisados. Desta forma pode-se entender que o comportamento do efluxo de CO₂ e CH₄ são diferentes sob diferentes sistemas de uso solo.

Os fluxos de óxido nitroso são muito variáveis quando se compara diferentes culturas e mesmo avaliando culturas iguais (SANTOS, 2012). Resultados dessa natureza reforçam e validam a ideia proposta por Mosier (1990), de que as interações entre as variáveis físicas,

químicas e biológicas são muito complexas, tornando-se necessário um número maior de trabalhos experimentais para melhor caracterizar a emissão de óxido nitroso pela agricultura, pois cada cultura tem características próprias e reage de maneira diferente dependendo das condições ambientais.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados é possível concluir que as estruturas das florestas dos sítios EMBSEDE, DASFLOR e ARUAFLORE são diferentes das florestas dos sítios EDUFLOR e EMCALD nos parâmetros DAP médio, área basal e volume.

O efluxo de CO₂ nos sítios sob cobertura de floresta não apresentam diferenças.

O efluxo dos gases CH₄ e N₂O nos sítios sob cobertura de floresta apresentam diferenças em pelo menos um sítio.

A cobertura do solo (floresta ou pós floresta) influencia nos fluxos dos gases CO₂ e CH₄.

Com base nos resultados das análises de regressão, conclui-se que as variáveis da estrutura da floresta (área basal, número de indivíduos, diâmetro máximo e índice de shannon) influenciam nos fluxos de CO₂.

As análises de regressão mostraram que as variáveis edafoclimáticas (umidade do ar, umidade do solo, temperatura do ar, carbono e nitrogênio do solo) influenciam nos fluxos de CO₂ e N₂O tanto em coberturas de floresta como pós floresta.

Os fluxos de CH₄ não sofreram influência por parte das variáveis edafoclimáticas (umidade do ar, umidade do solo, temperatura do ar, carbono e nitrogênio do solo) de forma isolada tanto em coberturas de floresta como pós floresta.

Considerando os poucos estudos existentes sobre os processos de respiração do solo e inter-relações entre as condições ambientais diversas, cobertura do solo e fatores edafoclimáticos principalmente na região Amazônica, sugere-se que novos estudos sejam realizados para avaliar as variáveis ambientais ainda não estudadas. Recomenda-se que sejam feitas análises com a respiração de raízes pois estima-se que 30% a 80% da respiração do solo seja oriunda das raízes

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADACHI, M. et al. **Differences in soil respiration between different tropical ecosystems.** Applied Soil Ecology. v.34, p. 258–265, 2006.

ALMEIDA, A. P. **Influência de fatores bióticos e abióticos na distribuição espacial e composição de girinos em assembleias de poças em uma floresta de terra firme na Amazônia Central.** 2011. 41 f. Dissertação, Mestrado em Diversidade Biológica, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011.

ANDREAE, M. O.; CRUTZEN, P. J. **Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry.** Science, v. 276, p.1.052-1.058, 1997.

ARTAXO, P. et al. **Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n.3a, p.168-22, 2006.

BIO-DITRL. **Ciclo do Carbono.** <http://juntadigital.casadasciencias.org/recurso/5878>. 2008

BRASSEUR, G. P.; ORLANDO, J. J.; TYNDALL, G. S. **Atmospheric chemistry and global change.** New York: Oxford University, 654p. 1999.

Brazão, J.E.M.; Santos, M.M; Silva, Z.L. **Vegetação e Recursos florísticos.**In: Caldeiron, S.S. (Ed.). **Recursos Naturais e Meio Ambiente: Uma visão do Brasil. Vol 1.** Fundação Instiuto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE . Rio de Janeiro, RJ. p.59-68, 1993.

COELHO, M. M. **Estudo da respiração do solo em floresta de transição no Sudoeste da Amazônia.** 2005. 46 f. Dissertação, Mestrado em Física e Meio Ambiente, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

CONEN, F., SMITH, K. A. **A re-examination of closed flux chamber methods for the measurement of trace gas emissions from soils to the atmosphere.** European Journal of Soil Science. v.49, p.701-707, 1998.

CORDEIRO NETO, J. **Potencial energético de espécies florestais do sub-bosque em plantios comerciais de Castanha-do-brasil – Estudo de caso: Agropecuária Aruanã S.A.** 2014. 71 f. Dissertação, Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

CORTEZ, J. W. et al. **Soil moisture content and surface temperature in tillage systems and stages of development of maize crop.** Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering. v.35, n.4, p. 699-710, jul./ago. 2015.

DAVIDSON, E. A. et al. **Mimimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration.** Agricultural and Forest Meteorology. v.113, p.21-37, 2002.

DIAS, J. D. **Fluxo de CO2 proveniente da respiração do solo em áreas de florestas nativa da Amazônia.** 2006. 87 f. Dissertação, Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ECORESPIRA-AMAZON. **Relatório final NoPa II – projeto EcoRespira-Amazon**. Manaus, 2017.

FEARNSIDE, P. M. **Brazil Amazon Forest and the global carbon problem**. *Interciência*, Rio de Janeiro, v.11, n.2, p.58-64, mar./abr. 1986.

FERREIRA, C. C. et al. **Estudo do efluxo de CO₂ do solo em caatinga e pasto no agreste meridional de pernambuco, Brasil**. In: XIII jornada de ensino, pesquisa e extensão – JEPEX, 2013. Recife, UFRP, 2013.

FERREIRA, F. M. S. **Estudo da temperatura e umidade do solo e a dinâmica dos fluxos de N₂O e CO₂ em um sistema lavoura-pecuária**. 2014. 37 f. Monografia, Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

GATES C.E., BILBRO J.D. **Illustration of a Cluster Analysis Method for Mean Separation**. *Agron J*,70, 462-465, 1978.

HIGUCHI, N. et al. **Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira**. *Acta Amazônica*. v.28, n.2, p.153 – 166, 1998.

HOEGBERG, P. et al. **Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration**. *Nature*. v.411, p.789–792, 2001.

HOUGHTON, R. A. **Forest and the global carbon cycle: current storage and emission**. In: Workshop emissão versus seqüestro uma nova oportunidade de negocio para o brasil, 1994, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Ed. Campus, p.12 -13, 1994.

HOWARD, D. M.; HOWARD, P. J. A. **Relationships between CO₂ evolution, moisture-content and temperature for a range of soil types**. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 25, n. 11, p.1537-1546, Nov. 1993.

KATAYAMA, A. et al. **Effect of forest structure on the spatial variation in soil respiration in a Bornean tropical rainforest**. *Agricultural and Forest Meteorology*. v.149, p. 1666–1673, 2009.

KUZYAKOV, Y. **Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods**. *Soil Biology & Biochemistry*. v. 38. p. 425-448, 2006.

LE DANTEC, V.; EPRON, D.; DUFRENE, E. **Soil CO₂ efflux in beechforest: comparison of two closed dynamic systems**. *Plant and Soil*, Melbourne. v. 2, n.14, p.125- 132, Aug. 1999.

LIMA, ADRIANO JOSÉ NOGUEIRA. **Avaliação de um Sistema de inventário florestal contínuo em áreas manejadas e não manejadas do Estado do Amazonas (AM)** / Adriano José Nogueira Lima - Manaus: [s.n], 2010. 183f: il.color

LINN, D. M.; DORAN, J. W. **Effect of water-filled por space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils**. *Soil.Sci.Soc. Am. J.* v.48, p.1267-1272, 1984.

MACEDO, R. S. **Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em Terra Preta de Índio no município de Iranduba – AM.** 2013. 184 f. Tese, Doutorado em Ciências, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

MAGG, M.; VINTHER, F. P. **Nitrous oxide emission by nitrification and denitrification in different soil types and at different soil moisture contents and temperatures.** *Applied Soil Ecology.* v.4, p. 5-14, 1996.

MARQUES FILHO, A. O. et al. **Estudos climatológicos da Reserva Florestal Adolpho Ducke - Manaus – AM.** *Acta Amazônica.* v.11, n. 4, p.759-768, 1981.

MATSCHULLAT, J.; LIMA, R. M. B. **Examining soil/ecosystem respiration in the Amazon basin. International viewpoint and news.** *Environ Earth Sci.* v.76, n.141, p.1-3, 2017.

MEIR, P. et al. **Soil respiration in a rainforest in Amazônia and cerrado in central Brazil.** In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R. L. (Eds.). *Amazonian deforest and climate.* Wiley, Chichester. p. 319-330, 1996.

MOSIER, A. R., SCHIMEL, D. S., VALENTINE, D. W., BRONSON, K. and PARTON, W. J. **Methane and nitrous oxide in native fertilized and cultivated grasslands.** *Nature* 350: 330-332, 1991.

OERTEL, C. et al. **Soil respiration at forest sites in Saxony (Central Europe).** *Environ. Earth Sci.* v.74, p. 2405–2412, 2015.

OERTEL, C. et al. **Greenhouse gas emissions from soils – A review.** *Chemie der Erde, Geochemistry.* v. 76, p.327-352, 2016.

OLIVEIRA, A. A. R. **Estudo de respiração do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, projeto ESECAFLOR/LBA.** 2014. 52 f. Dissertação, Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2014.

PANOSSO, A. R. **Variabilidade espacial da emissão de co₂, temperatura e umidade em latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar em sistemas de colheita manual com queima e mecanizada.** 2006. 53 f. Dissertação, Mestrado em agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

PINTO, F. R.; LIMA, A. J. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J. **Análise da estrutura horizontal e estimativa de biomassa e carbono em uma floresta primária no município de Manacapuru (AM).** Sociedade de Ecologia do Brasil, Caxambu, 2007.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2018.

PIRES-O'BRIEN, M.J. & O'BRIEN, C.M. **Ecologia e modelamento de florestas tropicais.** Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Serviço de informação e documentação, Belém, 1995.

RAICH, J. W.; POTTER, C. S.; BHAGAWATI, D. **Interannual variability in global soil respiration,** 1980-94. *Global Change Biology,* v. 8, p. 800-812, 2002.

REGIS, W. D. E. **Unidades de Relevô. In: Caldeiron, S.S. (Eds). Recursos Naturais e Meio Ambiente: Uma visão do Brasil.** Vol 1. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Rio de Janeiro, RJ. p.39-45, 1993.

RYAN, M. G.; LAW, B. E. **Interpreting, measuring, and modeling soil respiration.** Biogeochemistry. v.73, p. 3–27, 2005.

RODRIGUES, R. A. R.; MELLO, W. Z. **Fluxos de óxido nitroso em solos com cobertura de floresta ombrófila densa Montana na serra dos órgãos, Rio de Janeiro.** Química Nova, v. 35, n. 8, p.1549-1553, 2012.

RODRIGUES, T. E. et al. **Levantamento semi-detalhado dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do campo experimental do Caldeirão do CPAA/Embrapa, Iranduba, Amazonas.** Rio de Janeiro: Embrapa, p.74 p, 1991.

SANTOS, F. C. **Trocas gasosas de CH₄ e N₂O entre solo e atmosfera em diferentes tipos de cobertura nos municípios de Belterra e Santarém, Pará.** 2012. 60 f. Dissertação, Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2012.

SANTOS, M. J. C. **Viabilidade econômica em sistemas agroflorestais nos ecossistemas de terra firme e várzea no Estado do Amazonas: um estudo de casos / Mário Jorge Campos dos Santos.** - - Piracicaba, 2004.

Scott R.J., Knott M. 1974. **A cluster analysis method for grouping mans in the analysis of variance.** *Biometrics*, **30**, 507-512.

SILVA, A. R. **Composição, estrutura Horizontal e espacial de 16 ha de floresta densa de terra-firme no estado do Amazonas / Alice Rodrigues da Silva.** 2015

SILVA, L. S. et al., **Dinâmica da emissão de metano em solos sobcultivo de arroz irrigado no sul do brasil.** R. Bras. Ci. Solo. v.35, p.473-481, 2011.

SILVA R. W. C.; PAULA B. L. **Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural.** Terræ Didática. v.5, n. 1, p. 42-49, 2009. Disponível em: <http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>

SØE, A. R. B.; BUCHMANN, N. **Spatial and temporal variations in soil respiration in relation to stand structure and soil parameters in an unmanaged beech forest.** Tree Physiol. v.25, p. 1427–1436, 2005.

SOTTA, E. D. et al. **Soil CO₂ efflux in a tropical forest in central Amazonian.** Global Change Biology. v.10, p. 601-617, 2004.

SOTTA, E. D. **Fluxo de CO₂ entre solo e atmosfera em floresta tropical úmida da Amazônia central.** 1998. 99 f. Dissertação, Mestrado em Ciências Biológicas, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Amazonas. Manaus, 1998.

STOYAN, H. et al. **Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale.** *Plant Soil.* v. 222, p. 203–214, 2000.

VALENTINI, C. M. A. **Efluxo de CO₂ do solo de uma área de floresta de transição no noroeste de Mato Grosso.** 2004. 81f. Dissertação, Mestrado em Física e Meio Ambiente. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2004.