

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
Programa Integrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais - PIPG
BTRN
Programa de Pós-Graduação em Ecologia - CPEC

**INFLUÊNCIA DE ATRIBUTOS FÍSICOS E HÍDRICOS DO SOLO
NA DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO SOB DIFERENTES
COBERTURAS VEGETAIS NA AMAZÔNIA CENTRAL**

JEAN DALMO DE OLIVEIRA MARQUES

Manaus, Amazonas

Setembro 2009

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
Programa Integrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais – PIPG
BTRN
Programa de Pós-Graduação em Ecologia - CPEC

**INFLUÊNCIA DE ATRIBUTOS FÍSICOS E HÍDRICOS DO SOLO
NA DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO SOB DIFERENTES
COBERTURAS VEGETAIS NA AMAZÔNIA CENTRAL**

JEAN DALMO DE OLIVEIRA MARQUES

Orientador: Ph.D. Flavio Jesus Luizão

Co-orientador: Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas, área de concentração: Ecologia.

Manaus, Amazonas

Setembro 2009

Tese aprovada junto ao Curso de Pós Graduação em Ecologia do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

Banca Examinadora

Dr. Adonis Moreira
EMBRAPA-CPPSE

Dr. Jean Ometto
USP-CENA

Dr. João Ferraz
INPA-CFT

Dr. Paulo Fernando Martins
UFPA

Dr. Sávio Ferreira
INPA-CPCR

Dra. Sonia Sena Alfaia
INPA-CPCA

Dr. Thierry Desjardins
IRD-França

Manaus, 30 de Setembro de 2009.

Ficha catalográfica

M357 Marques, Jean Dalmo de Oliveira
Influência de atributos físicos e hídricos do solo na dinâmica do carbono orgânico sob diferentes coberturas vegetais na Amazônia Central / Jean Dalmo de Oliveira Marques.--- Manaus : [s.n.], 2009.
277 f. : il. color.

Tese (doutorado)-- INPA/UFAM, Manaus, 2009
Orientador : Flávio Jesus Luizão
Co-orientador : Wenceslau Geraldes Teixeira
Área de concentração : Ecologia de Ecossistemas Terrestres

1. Solos – Amazônia. 2. Carbono orgânico. 3. Ecossistemas amazônicos.
4. Fracionamento da MOS. 5. Física do solo. I. Título.

CDD 19. ed. 574.526404

Sinopse:

Estudou-se a influência de atributos do solo e hídricos sobre a dinâmica do carbono em diferentes ecossistemas terrestres amazônicos, como forma de compreender melhor a contribuição da Amazônia no ciclo regional do carbono.

Palavras-chave:

Carbono orgânico, Dinâmica do carbono, Fracionamento da MOS, Ecossistemas Amazônicos, Física do Solo

Dedico

Aos meus pais: João da Costa Marques e Maria Íris de O. Marques, a minha esposa, amiga e companheira Elizalane Marques e aos meus queridos e amados filhos: Gabriel Marques e Lucas Marques

Compartilho

Com meus irmãos: Alexandre Marques e Linderjane Marques; e minha tia Iolanda Krichanã, tio João Krichanã e com os primos Daniel e Karen Krichanã.

In Memoriam

Martinho Lopes e Ária Nunes (meus avós)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido a permissão de vencer mais uma etapa da minha vida.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), pela oportunidade e apoio na pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo.

Ao Professor Dr. Flávio Jesus Luizão pela orientação constante, apoio e amizade.

A Dra. Regina Luizão pelo incentivo e amizade.

Ao Projeto LBA pelo apoio constante para a realização deste estudo.

A EMBRAPA/CPAA, na pessoa do Dr. Rogério Perin, pelo apoio das coletas na área do DAS.

Ao Dr. Wenceslau Teixeira, EMBRAPA/CPAA pelos ensinamentos na área de Física do Solo.

A Dra. Claudia Keller, coordenadora do Curso de Pós-graduação em Ecologia/INPA.

Aos Pesquisadores da Coordenação em Clima e Recursos Hídricos: Dr. Sávio Ferreira e Ari Marques Filho pelo apoio e incentivo durante o decorrer da pesquisa.

A Dra. Hillândia Brandão da Cunha (CPCRH) pelo apoio nas análises de DOC e nutrientes.

A Família LBA/INPA que incentivaram esta pesquisa durante todas as etapas através do apoio logístico, destacando: Rubenildo Lima, Ruth Araújo, Natan Andrade e Ricardo Ferrão, Tomé Nascimento, Tiago de Lima, Antônio Hauxley, Geraldo, Zezinho, Julio Gomes, Adriana Castro, Marcos, Fabrício, J.Tota, Joana de Paula, Terezinha Monteiro e Daniela Pauletto

Ao Laboratório Temático de Análise de Solo e Planta do INPA, especialmente aos amigos Orlando Cruz Júnior, Edivaldo Chaves, Tânia Pimentel, Nonato Aquino, Jonas Filho, Beto Quesada, Marta Iria, Raimundo Nonato, Luan Peres e Cleuteomar Marcio.

A Valda Nogueira e Princila Nogueira pela amizade

A Jucimary Nascimento que, apesar da distância, sempre incentivou minha vida acadêmica.

A Ana Maria Reis e a toda a família Reis, em especial a Dona Socorro Reis, pelo apoio durante a realização do Curso.

Aos amigos da Embrapa/CPAA, companheiros de longas excursões pela Amazônia: Estevão, Taveira e Gilvan

Ao amigo Ruben Barbosa pela amizade e auxílio na elaboração dos desenhos e esquemas desta tese.

Aos amigos de curso: Lucerina Trujillo, Fabiane Oliveira, Erik Oblitas, José Júlio e Carlos pelo convívio do dia a dia no decorrer da redação desta tese.

Aos amigos Pedro Carvalho, Marcelo Oliveira, Jesus, Daniel Maquiné pelo apoio incondicional nas etapas do campo desta pesquisa.

A Secretaria da Pós-Graduação em Ecologia pelo trabalho das funcionárias Beverly e Rosirene

A família Moura de Araújo: Paulo, Sandra, Silvania, Juliana, Elizangela, Priscila e Laurenice Noronha, pelo convívio de todos os dias.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xv
RESUMO.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUÇÃO GERAL.....	20
OBJETIVOS GERAIS.....	31
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	31

Capítulo I: Relação entre estoque e dinâmica de carbono orgânico com atributos físicos do solo em floresta sob gradiente topográfico na Amazônia Central

Resumo.....	32
1. Introdução.....	33
2. Materiais e Métodos.....	37
3. Resultados e Discussão.....	49
4. Conclusão.....	93
5. Referências	95

Capítulo II: Variações do carbono orgânico dissolvido em função de parâmetros físico-hídricos do solo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Central

Resumo.....	108
1. Introdução.....	109
2. Materiais e Métodos.....	112
3. Resultados e Discussão.....	117
4. Conclusão.....	140
5. Referências	142

Capítulo III: Fracionamento da matéria orgânica do solo em posições topográficas na Amazônia Central: potencial de estocagem e vulnerabilidade do carbono nas frações do solo de floresta

Resumo.....	149
1. Introdução.....	150
2. Materiais e Métodos.....	152
3. Resultados e Discussão.....	157

4. Conclusão.....	182
5. Referências.....	184

Capítulo IV: Fracionamento da matéria orgânica do solo sob diferentes ecossistemas na Amazônia Central

Resumo.....	191
1. Introdução.....	192
2. Materiais e Métodos.....	195
3. Resultados e Discussão.....	214
4. Conclusão.....	253
5. Referências	255
CONCLUSÃO GERAL.....	268
REFERÊNCIAS GERAIS.....	270

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I: Relação entre estoque e dinâmica de carbono orgânico com atributos físicos do solo em floresta sob gradiente topográfico na Amazônia Central

- Figura 1.** Desenho esquemático da toposseqüência com os pontos amostrais.....38
- Figura 2.** Desenho representativo do experimento ao longo da toposseqüência: coleta de solo nos horizontes pedogenéticos.....39
- Figura 3.** Perfis de solos abertos no platô, encosta e baixio para coleta de amostras deformadas.....41
- Figura 4.** Amostra de solo em cilindro volumétrico para determinação da densidade do solo (A); preparação das amostras para determinação da densidade (B), aferição do diâmetro e altura com o paquímetro (C).....46
- Figura 5.** Imagem da delimitação da bacia hidrográfica com as delimitações das áreas de platô, encosta e baixio.....48
- Figura 6.** Distribuição granulométrica (%) dos solos, nos diferentes horizontes dos solos e posições topográficas em Bacia Hidrográfica na Reserva Biológica do Cueiras/ZF2 (Floresta Primária).....50
- Figura 7.** Densidade (A) e distribuição dos poros (B), nos diferentes horizontes dos solos e posições topográficas em Bacia Hidrográfica na Reserva Biológica do Cueiras/ZF2 (Floresta Primária).....51
- Figura 8.** Valores médios das massas de agregados retidos em diferentes classes de tamanho e diâmetro médio geométrico. A primeira letra compara as classes de tamanho dos agregados dentro de cada solo, a segunda compara as classes entre os solos ($p < 0,05$; Tuckey HSD a 5%).....59
- Figura 9.** Valores médios das concentrações de carbono, ao longo de 4 anos amostragem, ao longo do gradiente topográfico em Bacia Hidrográfica na Reserva Biológica do Cueiras/ZF2 (Floresta Primária), nas diferentes classes de solos.....62

- Figura 10.** Valores médios das concentrações de nitrogênio, ao longo de 4 anos amostragem, ao longo do gradiente topográfico em Bacia Hidrográfica na Reserva Biológica do Cueiras/ZF2 (Floresta Primária), nas diferentes classes de solos.....63
- Figura 11.** Valores médios da relação CN, ao longo de 4 anos amostragem, ao longo do gradiente topográfico em Bacia Hidrográfica na Reserva Biológica do Cueiras/ZF2 (Floresta Primária), nas diferentes classes de solos.....64
- Figura 12.** Relação entre Carbono Orgânico do Solo (COS) e Atributos físicos do solo: A, B e C (textura); D, E e F (densidade); G, H e I (porosidade total) em Latossolo, Argissolo e Espodossolo, respectivamente.....71
- Figura 13.** Relação entre Carbono Orgânico do Solo (COS) e Atributos físicos do solo: A, C e E (Macroporosidade) e B, D e F (Microporosidade) em Latossolo, Argissolo e Espodossolo, respectivamente.....72
- Figura 14.** Relação entre carbono orgânico e teor de caulinita nos horizontes de solos muito argilosos e argilosos: Latossolo Amarelo distrófico (A) e Argissolo Vermelho amarelo distrófico(B).....78
- Figura 15.** Relação entre carbono orgânico e teor de quartzo nos horizontes de solos arenosos: Espodossolo Cárbico Hidromórfico típico.....80
- Figura 16.** Somatório do estoque de carbono no platô, ao longo dos anos, em camadas (A), em intervalos de camadas (B) sob floresta primária (ZF2/Cueiras).....82
- Figura 17.** Somatório do estoque de carbono na encosta, ao longo dos anos, em camadas (A), em intervalos de camadas (B) em Bacia Hidrográfica sob floresta primária (ZF2/Cueiras).....83
- Figura 18.** Somatório do estoque de carbono no baixio, ao longo dos anos, em camadas (A), em intervalos de camadas (B) em Bacia Hidrográfica sob floresta primária (ZF2/Cueiras).....84
- Figura 19.** Estoques de carbono no platô (A), encosta (B) e baixio (C) nos horizontes do solo em Bacia Hidrográfica sob floresta primária (ZF2/Cueiras).....88
- Figura 20.** Imagem STRM da delimitação da Microbacia Hidrográfica com as porcentagens das áreas de platô, encosta e baixio.....91

Capítulo II: Variações do carbono orgânico dissolvido em função em função de parâmetros físico-hídricos do solo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia central.

Figura 1. Bateria representativa dos extratores de solução do solo instalados no experimento.....	115
Figura 2. Extratores distanciados no campo.....	115
Figura 3. Procedimentos no processo de coleta de solução do solo nas diferentes profundidades.....	116
Figura 4. Gráfico demonstrativo da precipitação durante o período estudado.....	118
Figura 5. Dinâmica do COD até 2m de profundidade em solos de textura argilosos (A) e média (B) em função de gradiente topográfico.....	119
Figura 5. Dinâmica do COD até 60 cm de profundidade em solos arenosos (C) em função de gradiente topográfico.....	123
Figura 6. Dinâmica do COD até 2,0 cm de profundidade em solos de textura argilosa sob pastagem manejada.....	125
Figura 7. Dinâmica do COD até 2,0 cm de profundidade em solos de textura argilosa sob Sistemas Agroflorestais e Capoeira.....	126
Figura 8. Variação do COD em função da sazonalidade em floresta primária: A) platô;latossolo e B) encosta;argissolo	128
Figura 8. Variação do COD em função da sazonalidade em área de baixio (Espodossolo) (C) sob Floresta Primária.....	129
Figura 9. Variação do COD em função da sazonalidade em Floresta Primária (A) e Pastagem (B).....	131
Figura 10. Variação do COD em função da sazonalidade em Sistema Agroflorestal (A) e Capoeira (B).....	132
Figura 11. Variação do COD em função da sazonalidade, período seco(A) e chuvoso(B)...	134
Figura 12. Variação do COD em função da sazonalidade: seco-chuvoso (A) e chuvoso-seco (B).....	135

Figura 13. Valores médios geométricos das massas de agregados retidos em diferentes classes de tamanho (A) seguido do diâmetro médio dos agregados (B) nos diferentes ambientes.....138

Capítulo III: Fracionamento da matéria orgânica do solo em posições topográficas na Amazônia central: potencial de estocagem e vulnerabilidade do carbono nas frações do solo de floresta

Figura 1. Perfil de solo amostrado (A); amostras indeformadas em cilindro volumétrico para determinação da densidade do solo (B); preparação das amostras para determinação da densidade (C).....154

Figura 2. Amostras das camadas superficiais e subsuperficiais (2A) para extração da fração orgânica das amostras em repouso (2B) através da bomba de vácuo (2C) e pesagem dos filtros (2D).....155

Figura 3. Distribuição granulométrica (%) dos solos, nos diferentes horizontes dos solos e posições topográficas na bacia hidrográfica Asú, na Reserva Biológica do Cueiras/ZF2 (Floresta Primária).....158

Figura 4. Fracionamento dos poros dos solos (%), nos diferentes horizontes e posições topográficas em Bacia Hidrográfica na Reserva Biológica do Cueiras/ZF2 (Floresta Primária).....159

Figura 5. Porcentagem do carbono orgânico nas frações leve livre (C-FLL), leve intra-agregada (C-FLI) e pesadas (C-Areia, C-Argila e C-Silte) nas diferentes profundidades dos solos situados no Platô e Encosta em Floresta Primária (Reserva Biológica do Cueiras/ZF2), respectivamente.....164

Figura 6. Presença de redes de raízes finas e médias que retém liteira fina e grossa nas camadas superficiais do solo.....167

Figura 7. Estoques de carbono nas frações leves e pesadas do solo em diversas profundidades ao longo de gradiente topográfico em Floresta Primária (Reserva Biológica do Cueiras/ZF2), localizado no platô.....171

Figura 8. Estoques de carbono nas frações leves e pesadas do solo em diversas profundidades ao longo de gradiente topográfico em Floresta Primária (Reserva Biológica do Cueiras/ZF2), localizado na encosta.....172

Figura 9. Estoques de carbono nas frações leves e pesadas do solo em diversas profundidades ao longo de gradiente topográfico em Floresta Primária (Reserva Biológica do Cueiras/ZF2), localizado no baixio.....173

Figura 10. Estoques de nitrogênio nas frações leves e pesadas do solo em diversas profundidades ao longo de gradiente topográfico em Floresta Primária (Reserva Biológica do Cueiras/ZF2), localizado no platô.....176

Figura 11. Estoques de nitrogênio nas frações leves e pesadas do solo em diversas profundidades ao longo de gradiente topográfico em Floresta Primária (Reserva Biológica do Cueiras/ZF2), localizado na encosta.....177

Figura 12. Estoques de carbono nas frações leves e pesadas do solo em diversas profundidades ao longo de gradiente topográfico em Floresta Primária (Reserva Biológica do Cueiras/ZF2), localizado no baixio.....178

Capítulo IV: Fracionamento da matéria orgânica do solo sob diferentes ecossistemas na Amazônia Central

Figura 1. Localização das áreas estudadas.....197

Figura 2. Perfis de solos abertos para coleta das amostras deformadas para análise física, química e fracionamento físico da matéria orgânica do solo.....198

Figura 3. Identificação dos horizontes pedológicos (A=Latossolo Amarelo; B= Latossolo Vermelho Amarelo) a partir da retirada de amostras deformadas.....198

Figura 4. Delimitação das profundidades para coleta das amostras para o fracionamento físico da matéria orgânica do solo.....199

Figura 5. Análise granulométrica.....201

Figura 6. Cilindros volumétricos para amostragem da densidade do solo (A e B) e esquema representativo da coleta dos cilindros nas camadas do solo.....202

Figura 7. Abertura de perfis de solo (A), retirada de amostras indeformadas (B), classificação de solos (C) e aferição de anéis volumétricos (D).....203

Figura 8. Identificação dos horizontes do solo (A) e camadas do solo (B).....204

Figura 9. Diferentes pesos obtidos nas frações FLL (A) e FLI (B).....206

Figura 10. Esquema demonstrativo do fracionamento da matéria orgânica do solo da fração leve livre (FLL).....208

Figura 11. Esquema demonstrativo do fracionamento da matéria orgânica do solo da fração leve intra agregada (FLI) e fracionamento pesado nas frações argila, areia e silte.....209

Figura 12. Valores médios geométricos das massas de agregados retidos em diferentes classes de tamanho.....	218
Figura 13. Diâmetro médio dos agregados nos diferentes ambientes ($p < 0,05$).....	219
Figura 14. Diferença entre a quantidade de carbono orgânico encontrado na superfície e em profundidade, na fração C-FLL (A), pesagem do carbono contido na fração C-FLI (B)..	230
Figura 15. Teores de carbono nas frações dos solos nos diferentes ecossistemas.....	236
Figura 16. Teores de nitrogênio nas frações dos solos nos diferentes ecossistemas.....	239
Figura 17. Estoques de carbono nas frações leves e pesadas em diversas profundidades em Floresta Primária.....	243
Figura 18. Estoques de carbono nas frações leves e pesadas em diversas profundidades em Pastagem Manejada.....	244
Figura 19. Estoques de carbono nas frações leves e pesadas em diversas profundidades em Capoeira.....	245
Figura 20. Estoques de carbono nas frações leves e pesadas em diversas profundidades em Sistema Agroflorestal.....	246
Figura 21. Estoques de nitrogênio nas frações leves e pesadas em diversas profundidades em Floresta Primária.....	247
Figura 22. Estoques de nitrogênio nas frações leves e pesadas em diversas profundidades em Pastagem.....	248
Figura 23. Estoques de nitrogênio nas frações leves e pesadas em diversas profundidades em Capoeira.....	249
Figura 24. Estoques de nitrogênio nas frações leves e pesadas em diversas profundidades em Sistema Agroflorestal.....	250

LISTA DE TABELAS

Capítulo I: Relação entre estoque e dinâmica de carbono orgânico com atributos físicos do solo em floresta sob gradiente topográfico na Amazônia Central

Tabela 1. Resultados das análises químicas dos perfis da topossequência, , Reserva Biológica do Cueiras/ZF2 – Manaus/AM.....55

Tabela 2. Valores totais de densidade, carbono orgânico, nitrogênio, relações C/N, densidade do solo, teor de argila, estoques de carbono e estoque de nitrogênio em diversas profundidades ao longo de gradiente topográfico em Floresta Primária (Reserva Biológica do Cueiras/ZF2).....56

Tabela 3. Caracterização macromorfológica dos perfis localizados no platô e encosta, topossequência, Reserva Biológica do Cueiras/ZF2, km 34 – Manaus/AM.....57

Tabela 4. Valores totais do carbono orgânico, nitrogênio, relação C/N e estoque de carbono nos diferentes horizontes dos solos e posições topográficas em Bacia Hidrográfica na Reserva Biológica do Cueiras/ZF2 (Floresta Primária).....65

Tabela 5. Teores dos minerais (g kg^{-1}) existentes na fração argila nos horizontes dos solos do platô, encosta e baixo.....76

Tabela 6. Valores médios dos estoques de carbono (Mg ha^{-1} de C) em camadas para as classes de solos avaliadas em Floresta Primária (ZF2/Cueiras) considerando os anos amostrados (N=3).....85

Tabela 7. Valores médios dos estoques de carbono (Mg ha^{-1} de C) em intervalos de camadas para as classes de solos avaliadas em Floresta Primária (ZF2/Cueiras) considerando os anos amostrados (N=3).....86

Tabela 8. Valores médios estimados para os estoques de carbono (Gg C) em cada camada de solo para as classes de solos avaliadas em Floresta Primária (ZF2/Cueiras) considerando os anos amostrados (N=3).....89

Tabela 9. Valores médios dos estoques de carbono (Gg C) em intervalos de camadas para as classes de solos avaliadas em Floresta Primária (ZF2/Cueiras) considerando os anos amostrados (N=3).....90

Capítulo II: Variações do carbono orgânico dissolvido em função em função de parâmetros físico-hídricos do solo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia central

Tabela 1. Parâmetros físico-hídricos do solo e carbono orgânico dissolvido em diversas profundidades em diferentes sistemas de uso da terra (SUT): Floresta, Pastagem, Capoeira e SAF, na Amazônia Central.....139

Capítulo III: Fracionamento da matéria orgânica do solo em posições topográficas na Amazônia central: potencial de estocagem e vulnerabilidade do carbono nas frações do solo de floresta

Tabela 1. Teores de carbono orgânico (g kg^{-1} solo) nas frações físico-densimétricas de amostras coletadas em diversas profundidades em três posições topográficas em Floresta Primária (Reserva Biológica do Cueiras/ZF2). Os valores representam a média de cinco perfis por posição topográfica (N=5).....161

Tabela 2. Valores totais de densidade, carbono orgânico, nitrogênio, relações C/N, densidade do solo, teor de argila, estoques de carbono e nitrogênio em diversas profundidades ao longo de gradiente topográfico em Floresta Primária (Reserva Biológica do Cueiras/ZF2).....181

Tabela 3. Estoques totais de carbono nas frações do solo por perfil até 2,0 m de profundidade em Mg ha^{-1} se C contidos em cada fração do solo.....179

Tabela 4. Estoques totais de nitrogênio (Mg ha^{-1} de N nas frações do solo por perfil até 2,0 m de profundidade contidos em cada fração do solo).....180

Capítulo IV: Fracionamento da matéria orgânica do solo sob diferentes ecossistemas na Amazônia central: floresta, pastagem, capoeira e SAF

Tabela 1. Valores totais de densidade, carbono orgânico, nitrogênio, relações C/N, densidade do solo, teor de argila, estoques de carbono e estoque de nitrogênio em diversas profundidades em diferentes sistemas de uso da terra (SUT): Floresta, Pastagem, Capoeira e SAF, na Amazônia Central.....220

Tabela 2. Resultados das análises químicas dos solos sob diferentes sistemas de uso da terra (SUT).....222

Tabela 3. Pesos das frações de carbono nos solos.....226

Tabela 4. Teores de carbono (g kg^{-1} solo) e nitrogênio nas frações leves dos solos nos diferentes ambientes.....228

Tabela 5. Teores de carbono (g kg^{-1} solo) e nitrogênio nas frações leves dos solos nos diferentes ambientes.....232

Tabela 6. Estoques totais de carbono nas frações do solo por perfil até 2,0 m de profundidade em MgCha^{-1} contidos em cada fração do solo.....252

Tabela 7. Estoques totais de nitrogênio nas frações do solo por perfil até 2,0 m de profundidade em Mg ha^{-1} de N contidos em cada fração do solo.....252

RESUMO

Neste estudo, foram realizadas coletas sucessivas de amostras de solos e solução do solo, juntamente com medidas das quantidades de água no solo, durante 4 anos, avaliando o carbono (C) e os nutrientes contidos no solo e na água do solo. As áreas de estudo, representando diferentes coberturas vegetais, foram: a) Floresta Primária (com parcelas em três posições topográficas distintas: platô, vertente e baixio); b) Pastagem antiga e ativa; c) Sucessão secundária; e d) Sistema Agroflorestal (SAF) com 14-17 anos de idade. Um total de 500 amostras de solo e solução do solo foram coletadas até 2,0 m de profundidade para análise de carbono e nutrientes. As amostras de solo foram coletadas em trincheiras abertas até 2,0 m de profundidade, sendo uma em cada ambiente estudado e em cada posição topográfica da Floresta Primária). Adicionalmente, foram realizadas tradagens em torno das trincheiras abertas em cada etapa da coleta, para avaliar o grau de heterogeneidade do solo. Fracionou-se o carbono orgânico do solo (COS) nas amostras das camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 80-100 cm, 100-160 cm, e 160-200 cm. Quantificou-se o potencial de emissão de carbono do solo em cada ecossistema estudado, comparando-se as diferenças entre os ambientes. Testes de infiltração e permeabilidade foram efetuados na camada superficial do solo, observando sua interação com o carbono orgânico dissolvido (COD). Os atributos do solo como textura, densidade do solo, estabilidade de agregados e macroporosidade, interferem no fluxo do carbono no solo, favorecendo aumentos nos estoques e na qualidade do COS, caso não sejam alterados. Houve uma variação espacial e temporal no COD entre as profundidades amostradas, decrescendo em profundidade e influenciado diretamente pela variação topográfica e pelos atributos físicos do solo. Os eventos de precipitação, e as taxas de infiltração e permeabilidade do solo podem induzir um movimento rápido da água através dos macroporos, superando o contato de solutos orgânicos e inorgânicos com a matriz do solo, reduzindo assim a retenção sorbitiva. Os resultados obtidos demonstram maiores concentrações de COD na seguinte seqüência: Sistema Agroflorestal (SAF) > Capoeira > Floresta > Pastagem, demonstrando a capacidade do SAF e Capoeira em recuperar e/ou disponibilizar o carbono na solução do solo. Na superfície dos quatro ambientes estudados, em torno de 60% do carbono presente está associado as frações mais lábeis do solo, enquanto que em profundidade 70% do carbono está retido nas frações pesadas. A média de perdas de carbono total na fração lábil na área de pastagem quando comparado com a floresta, capoeira e SAF foi de 38,82 Mgha⁻¹ de C 39,54 Mgha⁻¹ de C e 36,18 Mgha⁻¹ de C, respectivamente; inferindo-se que conversão de floresta para o estabelecimento de SAF ou capoeira libera menos carbono para a atmosfera. Em caso de alteração em área de Floresta Primária, o solo do platô, encosta e baixio emitiram para a atmosfera, nas diferentes frações, em torno de 112,71 Mgha⁻¹ de C (FLL-fração leve livre), 2,60 Mgha⁻¹ de C (FLI-fração leve intra-agregada), 28,34 Mgha⁻¹ de C (areia), 56,17 Mgha⁻¹ de C (argila) e 40,61 Mgha⁻¹ de C (Silte), potencializando 240,43 Mgha⁻¹ de C. Os altos estoques totais de C, especialmente em camadas pouco profundas nos baixios de florestas, reforçam a precaução atual em reduzir as explorações de áreas de floresta tropicais nativas. A exposição desse carbono em função do desmatamento destas áreas, aliado ao efeito das mudanças climáticas, pode induzir perdas significativas desse carbono estocado no solo para a atmosfera.

ABSTRACT

In the present study, successive sampling of soil layers and soil solution were carried out, together with measurements of soil water contents, during 4 years, to evaluate the contents of carbon (C) and nutrients in soil. The study areas, representing four different vegetation cover, were: a) primary forest (with plots on three distinct topographic positions: plateau, slope, and valley); b) active old pasture; c) second growth; and, d) a 14-17 year old Agroforestry system (AFS). A total of 500 samples of bulk soil and soil solution was collected up to a 2-m depth, for analyzing C and nutrients. Soil profiles were excavated, one for each type of vegetation cover, and topographic position (in primary forest). Additionally, soil cores were taken around the soil profiles, at each stage of the study, to evaluate the degree of heterogeneity of the soil. Soil organic carbon (SOC) was fractionated in the samples taken from the depths 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 80-100 cm, 100-160 cm, and 160-200 cm. The potential of carbon emission of the ground in each studied ecosystem was quantified, comparing the differences enters environments. Tests of water infiltration and soil permeability were made for the surface layer, evaluating their interactions with the dissolved organic carbon (DOC). Soil physical attributes such as texture, bulk density, aggregate stability, and macroporosity do interfere on the flow of soil carbon, favoring increases in the amounts and quality of soil C in case that they are not modified. There were spacial and temporal variations in DOC between horizons, decreasing in depth, directly influenced by topographical variation and soil physical attributes. The precipitation events, infiltration rates and soil permeability can induce a fast movement of the water throughout the macropores surpassing the contact of organic and inorganic solutes with the soil matrix, thus reducing the sorptive retention. The results demonstrated to greater concentrations of COD in the following sequence: agroforestry system (AFS) > second growth > forest > pasture, demonstrating the capacity of the SAF and second growth in recouping and/or send carbon in the solution of the ground. In the surface of four studied environments, around 60% of present carbon is associated the fractions labels of the ground, whereas in depth 70% of carbon is restrained in the heavy fractions. The average of losses of total carbon in the labil fraction in the pasture area when compared with the forest, second growth and AFS was of 38.82 Mgha⁻¹ of C 39.54 Mgha⁻¹ of C e 36.18 Mgha⁻¹ of C, respectively; supposed that the conversion of forest for the establishment of AFS or second growth liberates little carbon for the atmosphere. In case of land use changes in areas of primary forest, the ground of the plateau, slope and valley had emitted for the atmosphere, in the different fractions, around 112.71 Mgha⁻¹ of C (FLL), 2.60 Mgha⁻¹ of C (FLI), 28.34 Mgha⁻¹ of C (sand), 56.17 Mgha⁻¹ of C (clay) and 40.61 Mgha⁻¹ of C (silte), potencializando 240.43 Mgha⁻¹ of C. The high total stocks of soil C, especially in shallow layers of valley forests, stresses the need of extreme precaution towards the conversion of tropical forests into other systems. Exposing this to the effects of deforestation, besides the effect of climate changes can cause significant losses of this carbon stored in soil to the atmosphere.

INTRODUÇÃO GERAL

A floresta amazônica é um reservatório de carbono que pode ser gradualmente liberado para a atmosfera por meio da ação combinada de desmatamento, mudanças no uso da terra e os impactos das mudanças no clima (Cox et al., 2000, 2004; Houghton, 2005; IPCC, 2007; Malhi et al., 2006; Nepstad et al., 1999). Além disso, é um dos mais importantes ecossistemas do planeta, devido à extensão de suas florestas tropicais úmidas, a biodiversidade, as taxas em que estão sendo modificadas e também à sua extensa rede de drenagem (Krusche et al., 2005).

O entendimento dos processos de reposição e manutenção da matéria orgânica ao solo representa o componente chave no balanço do ecossistema terrestre (Bajracharya et al., 1998). A capacidade do solo em sequestrar carbono é função do teor de argila, da mineralogia, da estabilidade da estrutura, da posição na paisagem, da umidade, da temperatura, da forma e estabilidade de retenção dos microagregados do solo (Lal, 2004).

As informações sobre mudanças de carbono no solo são a chave para controlar os processos de estabilização em escala temporal e espacial. Fatores como mudanças no clima (regime de chuva e temperatura) influenciam bastante a qualidade e a distribuição da entrada de carbono e sua interação com o solo (Percival et al., 2004). As atuais alterações antropogênicas na biosfera têm causado a diminuição das fontes de entrada de carbono no solo (Schlesinger, 1993), além de serem emissores de CO₂ (Wallace, 2007). Os desmatamentos tropicais são importantes emissores de CO₂ quando se considera alterações do uso e cobertura do solo. Atualmente as queimadas em regiões Boreais vem sendo consideradas importantes contribuintes, e obviamente, a queima de combustíveis fósseis é a componente antropogênica mais importante às emissões de CO₂ à atmosfera.

Há uma gama de possíveis emissões de carbono a partir do desmatamento tropical, degradação do solo, fogo, invasões, implantação de pastagens, rodovias e monocultivos que parece mais real do que tem sido comumente informado pelos vários estudos e pesquisas. Essa situação tem motivado o meio acadêmico, a buscar informações relativas ao ciclo global do

carbono no ambiente terrestre. Dentro desse aspecto, o presente estudo pretende destacar a importância do solo como grande sumidouro de carbono na Amazônia.

Experimentos científicos demonstram que mudanças globais como a elevação da concentração de CO₂ atmosférico e nitrogênio alteram a taxa de deposição da entrada de carbono e nitrogênio nos solos (Hyvonen *et al.*, 2007) e modificam o balanço entre a decomposição do carbono orgânico do solo (COS) e processos de formação, afetando o conteúdo de carbono total do solo (van Groenigen *et al.*, 2006).

Dependendo da magnitude do fluxo de carbono do sistema de uso da terra (SUT) poderá haver uma maior ou menor atividade biológica, interferindo na produção de compostos orgânicos secundários, agregação do solo e aparecimento de outras propriedades emergentes do sistema solo (Lovato, 2004). De modo geral, as propriedades emergentes do ciclo do C no solo (teor de MOS (matéria orgânica do solo), agregação, porosidade, infiltração da água, retenção da água, aeração, CTC (capacidade de troca de cátions), balanço de N etc) melhoram a qualidade do solo (Vezzani, 2001).

A dinâmica do carbono tem um papel fundamental no equilíbrio da biosfera, sendo indispensável para a manutenção do ecossistema, já que participa dos principais processos biológicos (fotossíntese e respiração). Atualmente, a importância de estudar os ecossistemas amazônicos reside no fato de ser possível avaliar de que forma as características desses ambientes influenciam na dinâmica do carbono, bem como conhecer os potenciais de seu armazenamento. Devido ao seu tamanho e suas características, a Amazônia pode modificar significativamente os fluxos de carbono e água entre a biosfera e atmosfera (Davidson & Artaxo, 2004; Marland *et al.*, 2008; Ometto *et al.*, 2005; Saleska *et al.*, 2003; Schaphoff *et al.*, 2006; Tian *et al.*, 1998).

Para entender o papel dos ecossistemas amazônicos frente ao balanço do carbono atmosférico é preciso considerar a sua relação com as interações físicas, químicas, biológicas e hídricas com o solo. Atualmente, há uma grande busca de informações sobre os principais fatores que controlam o comportamento da matéria orgânica em solos tropicais como

umidade, clima, estrutura, textura, mineralogia e manejo do solo (Schoenholtz et al., 2000; Powers & Schlesinger, 2002; Telles et al., 2003).

Recentemente, uma grande ênfase tem sido dada à manutenção de matéria orgânica nos ecossistemas, promovendo a sua função de seqüestrar carbono (Lal, et al., 1999; Follet, 2001; Swift, 2001). As regiões tropicais e subtropicais são exemplos de ambientes onde o balanço entre manejo do solo aliado às características climáticas são um fator chave para equilíbrio da decomposição da matéria orgânica (Duxbury et al., 1989; Bayer et al., 2000; Sá et al., 2001). Nessas áreas tanto produção como decomposição da matéria orgânica aumentam com a temperatura, mas os maiores aumentos são constatados nas taxas de decomposição (Nakane, 1975; Schlesinger, 1977; Oades, 1988).

Inúmeras pesquisas ressaltam a preocupação com as mudanças no COS nos ecossistemas terrestres ao longo do tempo (Letterns et al., 2005; Vries et al., 2006), e em diferentes ecossistemas no Mundo (Bernoux, et al., 2006; Glenday, 2006; Hashimoto et al., 2000; Rodriguez, et al., 2006; Sá et al., 2001; Thuille & Shulze, 2006), sob a perspectiva do aumento nos níveis de CO₂ na atmosfera (Jastrow et al., 2005).

Apesar de uma intensa busca de informações sobre a interação da dinâmica do carbono com outros parâmetros, ainda é muito limitado o conhecimento sobre as prováveis influências que a pedologia e a dinâmica da água possam exercer sobre a dinâmica do carbono. Nessa perspectiva, trabalhos que possam descrever melhor a provável relação entre os atributos físico-hídricos do solo com a dinâmica do carbono em diferentes tipos de ecossistemas na Amazônia, são de extrema importância para o desenvolvimento de sistemas de uso da terra e para utilização racional de áreas abandonadas ou degradadas na Amazônia.

Sabe-se que a conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) (Zinn et al., 2005). Em sistemas naturais, os fatores de formação do solo são os

determinantes primários dos processos de ciclagem de C, uma vez que exercem influência sobre o aporte de resíduos e sobre as saídas de C do solo (Stevenson, 1994).

Quando a vegetação nativa é substituída por sistemas agrícolas, os estoques de carbono orgânico (Corg.) no solo podem ser drasticamente reduzidos, com perdas da ordem de 50 % nos primeiros 20 cm de profundidade e de até 20 % na profundidade de um metro. Em regiões tropicais, as condições de temperaturas elevadas, os altos índices pluviométricos e, como conseqüência, a intensa atividade microbiana propiciam a rápida decomposição dos materiais orgânicos depositados no solo (Silva & Machado, 2000; Mielniczuk et al., 2003). Segundo Zinn et al. (2005), as maiores taxas de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) observadas em áreas sob cultivo ocorrem devido às perturbações físicas do solo, que implicam do rompimento dos macroagregados (reduzindo a proteção física da MOS), expondo a MO (matéria orgânica) protegida aos processos microbianos e contribuindo, dessa forma, para aumentar as taxas de emissão de CO₂ para a atmosfera.

Nesse panorama, o solo tem uma grande participação no equilíbrio do balanço do carbono por ser um sistema aberto, com permanente troca de matéria e energia com o meio (Addiscott, 1995), e complexo, em virtude de uma intrínseca rede de relações entre os subsistemas que o compõem, representados pelos vegetais, organismos (macro e microrganismos) e matéria mineral. O aporte de carbono, nutrientes e da solução do solo na interface solo-planta-rio-atmosfera são importantes para o entendimento do ciclo biogeoquímico com reflexos diretos nas formas de uso do solo.

Vários mecanismos de estabilização da MOS tem sido discutidos (von Lutzow et al., 2006), sendo relacionados com atributos do solo, como a proteção física da matéria orgânica através da ação de poros, agregados, interação da superfície dos minerais com as moléculas orgânicas, bem como a relação da MOS com propriedade terrestre dos ecossistemas associadas aos processos físicos, químicos e biológicos (Chen et al., 2004).

O CICLO GLOBAL DO CARBONO

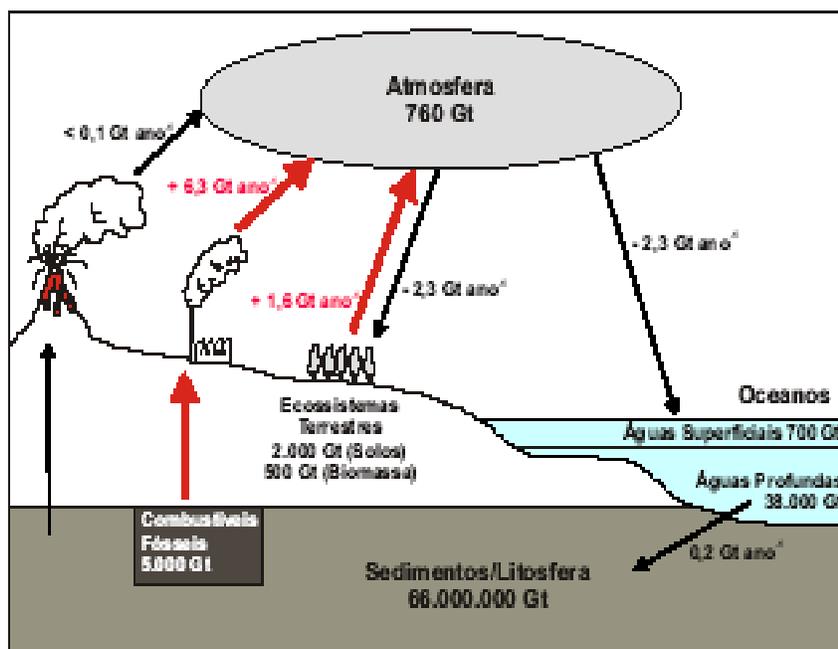
As quantidades de CO₂ na atmosfera resultam do balanço entre fontes e sumidouros nos seus principais reservatórios: os ecossistemas terrestres, os oceanos e a litosfera (Figura 1). O maior reservatório de carbono na Terra se encontra nas rochas sedimentares, sendo estimado em 66 bilhões de Gt de C (German, 1989). Os fluxos de carbono entre a atmosfera e esse imenso reservatório ocorrem lentamente, com taxas anuais extremamente baixas. O CO₂ atmosférico, por sua vez, pode ser absorvido nos ecossistemas terrestres, principalmente, pela fotossíntese e, nos oceanos, através da fotossíntese e da dissolução na forma de carbonatos (Schlesinger, 1997; Wigley & Shimel, 2000).

Nos ecossistemas terrestres, o CO₂ fixado pela vegetação segue vários caminhos, sendo parcialmente consumido pela respiração dos próprios autotróficos e, principalmente, servindo de fonte básica de energia para os demais sistemas heterotróficos.

Esses organismos consomem parte do carbono pela respiração e repassam outra parte para os diferentes níveis tróficos, terminando, finalmente, por ser consumido pelo processo de decomposição, no qual, parte do carbono acumula-se no solo, formando a matéria orgânica do solo (MOS). A MOS é também decomposta, porém em taxas lentas, o que permite que este seja um importante reservatório de C nos sistemas terrestres. Por essa razão, calcula-se que as quantidades de carbono armazenados nos solos sejam quatro vezes superiores às encontradas na vegetação (Watson et al., 2000). O tempo de permanência do C nestes reservatórios terrestres varia entre dias a alguns poucos milhares de anos (Wigley & Schimel, 2000).

Nos oceanos, o CO₂ pode seguir duas rotas principais: a orgânica, na qual é fixado pela fotossíntese das algas, e a mineral, na qual se dissolve na forma de ácido carbônico, com posterior precipitação de carbonatos. O C fixado na forma orgânica segue a mesma rota daquele dos ecossistemas terrestres, passando por diferentes níveis tróficos, sendo parcialmente perdido por respiração e decomposição, em um ciclo relativamente rápido. Parte deste C orgânico, e, principalmente, os carbonatos (inorgânicos) vão sendo lentamente acumulados no fundo dos oceanos, formando depósitos sedimentares. Em condições naturais,

o retorno para a atmosfera do carbono aprisionado neste reservatório sedimentar ocorre somente através de emissões vulcânicas e hidrotérmicas, o que leva em média 400 milhões de anos (Schlesinger, 1997).



Ciclo biogeoquímico do carbono

Fonte: Roscoe (2006) baseado em Watson et al. (2001)

O carbono orgânico do solo vem sendo sistematicamente quantificado tanto na forma de teores totais quanto em seus diferentes compartimentos no solo. Isto se dá pela alta relevância que o solo tem, por meio do seu manejo, de evitar que o C seja transferido para a atmosfera ou que permaneça retido no material do solo, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Watson et al., 2000).

Para uma melhor caracterização do carbono no solo, utiliza-se o fracionamento físico, que possibilita a separação de reservatórios da MOS mais relacionados com suas características e dinâmica no estado natural e que diferem em composição e função biológica podendo assim ser mais útil para o estudo da ciclagem de carbono (Campos, 2003). Esses métodos seguem procedimentos distintos, onde cada um está designado a um objetivo específico e não existe ainda nenhum esquema de procedimento consensual. O conceito no

qual está fundamentado o fracionamento físico enfatiza o papel das frações minerais na estabilização e transformação da MOS (Roscoe, Machado; 2002).

Nos últimos anos, as pesquisas quanto à dinâmica e estoque de carbono no solo estão delimitadas a poucas áreas, em períodos esparsos no tempo, alguns sem delimitações de profundidades e com diferentes unidades de grandezas e sem amostragens precisas de densidade do solo. As estimativas do estoque de carbono em solos tropicais e na região Amazônica têm sido realizadas em diferentes locais, com resultados também muito variados (Quadro 1). Uma comparação só seria possível a partir das mesmas unidades de massa e área o que é impedido pelas diferentes profundidades estudadas. Determinar os estoques de carbono no solo, bem como as variáveis que interferem são de extrema importância para determinar práticas de manejo que mantenham o carbono estocado no meio terrestre.

Trabalhos recentes sobre atributos físico-hídricos do solo (Ferreira et al., 2003; Teixeira, 2001; Tomasella et al., 1995; Tomasella & Hodnett, 1996; Marques et al., 2002, 2004, 2008) relatam a importância desses estudos para o conhecimento de impactos e alterações do uso do solo, no ciclo hidrológico, na dinâmica do carbono e nutrientes e na conservação do solo na Amazônia.

Outros estudos destacam a importância do fracionamento como forma de analisar quantitativa e qualitativamente o carbono orgânico do solo. O fracionamento densimétrico permite o isolamento e a quantificação dos compartimentos mais lábeis da MOS: a fração leve (FL), correspondendo a matéria orgânica não complexada. O fracionamento por granulometria proporciona estudos dos compartimentos mais humificados e tipicamente mais estáveis às mudanças no ambiente do solo, provocadas pelo manejo (Feller & Beare, 1997).

Quadro 1. Estudos realizados sobre estoque de carbono em Solos Tropicais

Autor(es)	Localização	Estoque de Carbono	Profundidade
Batjes, 1999	Solos Tropicais	616 à 640 Gt C	Até 2 m
Batjes & Dijkshoorn, 1999	Latossolos (Solos da Amazônia)	50,5 t há ⁻¹	0,0 - 0,3 m
Batjes & Dijkshoorn, 1999	Argissolos (Solos da Amazônia)	44 t ha ⁻¹	0,0 - 0,3 m
Batjes & Dijkshoorn, 1999	Solos da Amazônia	66 Pg C	Não informado
Bernoux, 1998; Batjes & Dijkshoorn, 1999	Solos sob Floresta/Amazônia	73 à 98 Mg ha ⁻¹	0,0 -1,0 m
Bernoux et al., 2001	Solos da Amazônia	7,76 kgCm ⁻² (Latossolo); 6,51 kgCm ⁻² (Argissolo); 8,31 kgCm ⁻² (Espodossolo)	Até 1,0 m
Bernoux et al., 2002	Noroeste do Estado do Mato Grosso	45 t ha ⁻¹	0,0 - 0,3 m
(Bohn, 1976; Moraes et al., 1995; Batjes & Dijkshoorn, 1999)	Acre, Amazônia Legal, Região Amazônica e América do Sul (Latossolos Amarelo e Vermelho)	6,3-5,9; 8,5-9,3; 10,2 e 12,0 kgm ⁻²	0,0 – 1,0 m
Buso et al., 2007	Latossolo Vermelho amarelo e Argissolo Vermelho amarelo	34,30 e 35,40 t há ⁻¹	0,0 - 0,3 m
(Bohn, 1976; Moraes et al., 1995; Batjes & Dijkshoorn, 1999)	Acre, Amazônia Legal, Região Amazônica e América do Sul (Argissolo Amarelo e Vermelho)	5,8-6,1; 9,5; 8,5 e 8,0 kgm ⁻²	0,0 – 1,0 m
Cerri et al., 2004	Solos sob floresta/Rondônia	24 à 26 t ha ⁻¹	0,0 - 0,2 m
Clark, 2000	Solos sob Floresta Tropical/Costa Rica	120-200 MgCha ⁻¹	Até 1,0 m
Clark, 2002	Solos sob Floresta Tropical/Costa Rica/Cambissolo	191,1 MgCha ⁻¹	Até 1,0 m
Clark, 2002	Solos sob Floresta Tropical/Costa Rica/ Argissolo (no plano e na inclinação)	224,2 MgCha ⁻¹ e 184,6 MgCha ⁻¹ , respectivamente	Até 1,0 m
Desjardins et al., 2004	Solos próximos a Manaus e Solos em Marabá	5,5 à 6,1 kgm ⁻² e 2,9 à 3,4 kgm ⁻²	Até 20 cm
Eswaran et al., 1993	Solos Tropicais	506 Pg C	Não informado
Fearnside, 1997; 2000; 2003	Solos da Amazônia Legal	138 GtC	Até 8,0 m
Filho et al., 2006	Mato Grosso	56,73 à 64,35 t ha ⁻¹	0,0 - 0,6 m
Jobbagy & Jackson, 2000	Solos Tropicais	474 Gt C	Até 3,0 m
Jobbagy & Jackson, 2000	Solos Tropicais	1037 Gt C	Abaixo de 3,0 m
Moraes, 1995	Solos Tropicais	22 kgCm ⁻²	Até 1,0 m
Moraes et al., 1996	Solos sob floresta/Sudoeste da Bacia Amazônica	37 t ha ⁻¹	0,0 - 0,3 m
Moraes et al., 1995.	Solos da Bacia Amazônica	45 x 10 ⁶ Pg C	Até 1,0 m
Moraes et al., 1995.	Solos da Bacia Amazônica	20 x 10 ⁶ Pg C	0,0 - 0,2 m
Melo, 2003	Solos do Estado do Acre – Argissolos Amarelo e Vermelho	1 Pg C	0,0 – 1,0 m
Melo, 2003	Solos do Estado do Acre – Argissolos Amarelo e Vermelho	3,5 à 3,6 kgm ⁻²	0,0 – 0,3 m
Melo, 2003	Solos do Estado do Acre – Latossolo Vermelho e Amarelo	3,3 à 4,2 kgm ⁻²	0,0 – 0,3 m
Melo, 2003	Solos do Estado do Acre – Argissolos Amarelo e Vermelho	5,8 à 6,8 kgm ⁻²	0,0 – 1,0 m
Melo, 2003	Solos do Estado do Acre – Latossolo Vermelho e Amarelo	5,9 à 7,6 kgm ⁻²	0,0 – 1,0 m
Neil et al., 1997	Rondônia – Nova Vida	32,3 t ha ⁻¹	0,0 – 0,3 m
Neil et al., 1997	Rondônia - Porto Velho	62 t ha ⁻¹	0,0 – 0,3 m
Post et al., 1982	Solos Tropicais	316 Gt C	Até 1,0 m
Potter et al., 1998	Solos tropicais - Amazônia	15,5 kgCm ⁻²	Até 1,0 m
Potter et al., 1998	Solos tropicais - Amazônia	106 PgC	Até 1,0 m
Potter et al., 1998	Solos tropicais - Amazônia	74 PgC	Até 1,0 m

RADAMBRASIL, 1981	Solos Tropicais/Amazônia	30 kgCm ⁻²	Até 1,0 m
Salimon, 2007	Argissolo/Floresta Secundária c/ 11 anos e 3 anos; Sudoeste da Amazônia: Peixoto, respectivamente.	14 à 44 MgCha ⁻¹ e 10 à 38 MgCha ⁻¹	0-60 cm
Salimon, 2007	Argissolo/Floresta Secundária c/ 3 anos; Sudoeste da Amazônia: Humaitá	14 à 41 MgCha ⁻¹	0-60 cm
Salimon, 2007	Reserva Legal/Sudoeste da Amazônia: Peixoto e Humaitá, respectivamente	14 à 45 MgCha ⁻¹ e 11 à 33 MgCha ⁻¹	0-60 cm
Sommer et al., 2000	Latossolos - Estado do Pará	143 Mg C ha ⁻¹	Abaixo de 3,0 m
Trumbore et al., 1990	Solo do tipo Argissolo/Curuá- Una/Pará	54 t Cha ⁻¹	60 cm
Trumbore et al., 1990	Solo do tipo Argissolo/Curuá- Una/Pará	76 t Cha ⁻¹	60-150 cm
Trumbore et al., 1995	Solos Tropicais	168 Mg C ha ⁻¹	Abaixo de 3,0 m
Trumbore et al., 1995	Solos em Paragominas/Pará	155 t Cha ⁻¹	1,0 – 8,0 m
Trumbore et al., 1995	Extrapolação para a Região Amazônica	138 Gt Cha ⁻¹ - 276 Gt Cha ⁻¹	Até 8,0 m
Veldkamp et al., 2003	Solos Tropicais sob Floresta/Costa Rica	90-130 Mg Cha ⁻¹	Acima de 1,0 m
Veldkamp et al., 2003	Solos Residuais Tropicais sob Floresta/Costa Rica	330 Mg C ha ⁻¹	Abaixo de 3m
Veldkamp et al., 2003	Solos Aluviais Tropicais sob Floresta/Costa Rica	214 Mg C ha ⁻¹	Abaixo de 3m
Veldkamp et al., 2003	Solos Residuais Tropicais sob Pastagem/Costa Rica	300 Mg C ha ⁻¹	Abaixo de 3m
Veldkamp et al., 2003	Solos Aluviais Tropicais sob Pastagem/Costa Rica	201 Mg C ha ⁻¹	Abaixo de 3m

Nas condições atuais, possíveis estudos sobre o fracionamento do carbono no solo e sua dinâmica contribuirão para uma predição sobre as práticas de manejo ecológico do carbono mais adequado. No mesmo sentido, a obtenção de informações sobre o funcionamento do ecossistema terrestre amazônico em micro escala, considerando os seus diversos ambientes, permite uma compreensão mais eficaz da dinâmica do carbono.

O objetivo desta tese é elucidar questões quanto a relação dos atributos físicos e hídricos do solo com a dinâmica do carbono orgânico sob diferentes formas de uso da terra na Amazônia. Compreender as interações solo x carbono x ecossistema que permitirá um melhor manejo e aproveitamento dos recursos naturais existentes na região. Nesse contexto, questões ainda não conhecidas sobre a influência de atributos físicos sobre a dinâmica do carbono são de extrema importância para a escolha do manejo adequado dos ecossistemas amazônicos.

Um enfoque maior foi dado ao SOLO como um grande armazenador de carbono no ecossistema terrestre amazônico. Informações foram geradas quanto à dinâmica do carbono no

solo e na solução, a partir de dados coletados em áreas de floresta, pastagem, capoeira e SAF (Sistemas Agroflorestais), principais formas de uso da terra na região, ao longo do tempo e em diferentes profundidades.

Esta tese está dividida em quatro capítulos, sendo:

➤ O Capítulo I avalia os estoques e a dinâmica de carbono orgânico do solo em bacia hidrográfica sob floresta primária na Amazônia Central. O presente estudo quantificou a concentração de carbono e analisou a sua dinâmica em solos sob floresta primária até 2 m de profundidade, relacionando com atributos do solo. Quatro coletas de solos foram realizadas ao longo do gradiente topográfico, sendo 7 em cada posição, atingindo 2,0 m de profundidade. Estabeleceram-se camadas orgânicas de carbono no solo com forma de constatar as diferenças existentes entre as camadas quanto ao teor de carbono. Foi possível quantificar a possível liberação de C para a atmosfera, caso esse ambiente possa vir a ser alterado devido as alterações antrópicas. Para tanto, atributos do solo como textura, densidade do solo, mineralogia, estabilidade de agregado e macroporosidade foram avaliados como forma de avaliar a influência desses atributos para a permanência do COS.

➤ O Capítulo II focaliza as variações do carbono orgânico dissolvido da solução do solo em função de parâmetros físicos e hídricos do solo em diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Central. Nesse capítulo é demonstrado a influência de parâmetros como textura, estabilidade de agregados, densidade, estrutura, precipitação, permeabilidade, infiltração exercem na dinâmica do carbono orgânico dissolvido (DOC).

➤ O Capítulo III aborda a distribuição da matéria orgânica do solo ao longo de gradiente topográfico na Amazônia Central, muito comum no ambiente de Floresta Primária, demonstrando o potencial da floresta primária em estocar carbono nas frações do solo, bem como a sua vulnerabilidade. A necessidade de compreensão das entradas e perdas de carbono no solo, mostra que o carbono seja quantificado nas frações do solo, de modo que os atributos do solo fossem considerados. Amostras de solo para o fracionamento e análises físicas foram

coletadas ao longo de gradiente topográfico. Obteve-se o potencial dos solos que compõem a seqüência de níveis topográficos quanto ao seqüestro de carbono em profundidade. Solos argilosos, muito argilosos e arenosos foram quantificados como sumidouro de carbono em cada componente físico do solo. Os resultados obtidos fornecem informações sobre os fatores que influenciam diretamente na dinâmica do carbono orgânico do solo em floresta primária.

➤ O Capítulo IV encerra esta tese apresentando o fracionamento da matéria orgânica do solo até dois metros de profundidade em diferentes ecossistemas amazônicos: floresta, pastagem, capoeira e SAF. A premissa desse estudo foi avaliar a qualidade e a quantidade do carbono orgânico nos diversos compartimentos das frações do solo de diferentes coberturas vegetais amazônicas. Dessa forma, foi possível avaliar o potencial de sistemas de uso da terra (SUT) predominante na Amazônia quanto à capacidade de armazenamento de carbono nas frações lábeis e não lábeis do solo. Cada SUT foi estudado considerando a sua capacidade em estocar carbono e nitrogênio, observando a sua contribuição como sumidouro de carbono;

OBJETIVOS

GERAIS

- 1) Verificar a relação entre os estoques e distribuição de carbono orgânico e a física do solo em ecossistemas naturais e alterados;
- 2) Avaliar o potencial de estocagem e suscetibilidade do carbono no solo em diferentes ecossistemas;
- 3) Compreender a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) sob diferentes coberturas vegetais, através do seu fracionamento

ESPECÍFICOS

- 1) Identificar a influência da densidade, textura, estrutura, mineralogia do solo sobre a dinâmica do carbono;
- 2) Estimar os estoques de C do solo e nutrientes da solução em profundidade em Floresta, Pastagem, Capoeira e SAF;
- 3) Analisar as variações do C orgânico do solo, dissolvido e nutrientes em função da umidade do solo, condutividade e infiltração nos diferentes ecossistemas;
- 4) Determinar a qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) nas diversas frações do solo;
- 5) Quantificar os estoques de carbono no solo nos horizontes pedológicos e nas camadas do solo até 2,0 m de profundidade;
- 6) Verificar as possíveis perdas de carbono do solo para a atmosfera nos ecossistemas de floresta, pastagem, capoeira e SAF.

CAPITULO I

RELAÇÃO ENTRE ESTOQUE E DINÂMICA DE CARBONO ORGÂNICO COM ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM FLORESTA SOB GRADIENTE TOPOGRÁFICO NA AMAZÔNIA CENTRAL

RESUMO

O balanço de carbono em ecossistemas terrestres é sensível as interferências humanas, sendo a estabilidade do carbono do solo, sob áreas de floresta, ainda passivo de quantificações mais precisas de tal forma de possa informar o potencial desses solos em estocar carbono. O presente estudo quantificou e analisou a dinâmica do carbono em solos sob floresta primária até 2 m profundidade, relacionando com atributos do solo. Coletaram-se amostras de solos sobre gradiente topográfico (platô, encosta e baixio), utilizando-se 05 parcelas de 20 x 40 m, durante 4 anos, para coleta de amostras para análises físicas, químicas, carbono orgânico do solo (COS), estoque de carbono do solo (ECOS) e de atributos físicos do solo. As concentrações de carbono do solo (Mgha^{-1} de C) foram obtidos multiplicando a concentração de C (g.kg^{-1}), densidade do solo na camada estudada (kg.m^{-3}) e espessura (h) em centímetros (cm). Delimitou-se uma área da bacia de 2679 ha através de imagens STRM e IKONOS extrapolando-se os teores de carbono obtidos no transecto para esta área. Os solos identificados foram Latossolo Amarelo distrófico textura muito argilosa (LAd), no platô, Argissolo Vermelho-Amarelos distrófico textura argilosa (PVAd), na encosta, e Espodossolo Cárnicos Hidromórficos típicos, no baixio. O total de COS foi maior em solos do platô seguido do solo da encosta e baixio, entretanto, os solos do baixio na superfície apresentaram maiores teores de COS. Estabeleceram-se camadas orgânicas de carbono: nos solos argilosos a muito argilosos (Latosolo), o COS se apresenta distribuído em três camadas de carbono que diferenciam-se significativamente em profundidade ($F=228,561$; $p<0,0001$) sendo de: superficial (0-10 cm), intermediária de (10-38) e subsuperficial de (38-200cm). Nos solos de textura média a argilosa tem-se diferença significativa ($F=334,385$; $p<0,0001$) do COS, encontrando-se também distribuído em 3 camadas: superficial (0-14cm), intermediária de (14-38) e subsuperficial de (38-200cm). Nos solos arenosos, o COS, diferencia-se significativamente ($F=668,914$; $p<0,001$) ao longo do perfil de solo, encontrando-se duas

camadas: superficial (0-25cm) e subsuperficial (25-120cm). As concentrações de nitrogênio seguiram a mesma tendência das camadas orgânicas, originando camadas intuladas de nitrogênicas. O COS apresentou correlações positivas com o teor de argila, densidade do solo, macro e microporosidade e negativa com a mineralogia do solo. A caulinita foi a argilomineral predominante nas classes de solos identificadas seguido pelos minerais gibbsita, goethita e anatásio, com grande influência do quartzo, não tendo variações ao longo da paisagem. Os estoques médios, na camada de 0 - 40 cm: $90 \pm 8 \text{ Mgha}^{-1}$ de C (Latossolo); $84 \pm 5 \text{ Mgha}^{-1}$ de C (Argissolo); $16 \pm 11 \text{ Mgha}^{-1}$ de C (Espodossolo); de 0 - 100 cm: $136,5 \pm 8,5 \text{ Mgha}^{-1}$ de C (Latossolo); $116 \pm 7 \text{ Mgha}^{-1}$ de C (Argissolo); $241 \pm 24 \text{ Mgha}^{-1}$ de C (Espodossolo, 0-120 cm); de 0-200 cm: $175,5 \pm 7 \text{ Mgha}^{-1}$ de C (Latossolo), $159 \pm 10,5 \text{ Mgha}^{-1}$ de C (Argissolo). Os valores totais de estoques (Ggha^{-1} de C) obtidos foram de 278 Ggha^{-1} de C (0-40 cm); ou 409 Ggha^{-1} de C (0-100 cm), ou 494 Ggha^{-1} de C (0-200 cm).

Palavras-chaves: carbono orgânico do solo, estoques de carbono, floresta primária, gradiente topográfico, física do solo

1. INTRODUÇÃO

Grande destaque tem sido concedido a Amazônia em termos dos estoques de carbono contidos nos seus ecossistemas como precursores em potencial de aumentos nas concentrações de CO_2 atmosféricos. Essa condição desperta uma preocupação mundial sobre as condições de vida futura, motivando o desenvolvimento de estudos em diversas regiões com o intuito de prever os estoques de carbono no solo, na biomassa, nos rios, na solução do solo, bem como o potencial de sua liberação para a atmosfera. Nesse quadro, os trópicos úmidos têm importante papel no ciclo global do carbono. Estima-se que o desmatamento libere $1,6 \text{ Gt}$ de C por ano para a atmosfera (Houghton, 2000).

Os estudos até então desenvolvidos tem abordado a relação dos ecossistemas amazônicos com o clima e ciclo do carbono, sendo que os resultados ainda não esclareceram se a região funciona como fonte ou sumidouro de carbono para a atmosfera. Esse enfoque se sobressai em função da contribuição das mudanças no uso do solo no aumento das

concentrações de CO₂ atmosférico, aliado as emissões de CO₂ pelos combustíveis fósseis (IPCC, 2007). Assim, os processos terrestres são os principais determinantes naturais da decomposição e concentrações de carbono orgânico e inorgânico na solução do solo e nos rios.

A evolução do aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera ao longo da história demonstra variações crescentes desde o período pré-industrial de 280 ppm para 379 ppm em 2005 (NOAA, 2007). Os últimos dez anos registraram os maiores aumentos de CO₂ atmosférico (média entre 1995 a 2005 foi de 1,9 ppm), sendo que os aumentos, em média, na faixa de 1,4 ppm por ano entre 1960 a 2005.

Estimativas do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), relata que os ecossistemas terrestres globais estariam atuando como sorvedores de carbono, absorvendo uma média de $0,2 \pm 0,7$ PgC ano⁻¹ na década de 1980 e $1,4 \pm 0,7$ PgC ano⁻¹ na década de 1990 (Prentice et al., 2001). Análises mais recentes, realizadas por Plattner et al. (2002), mostram valores menos disparados para o balanço líquido terrestre de carbono entre as duas décadas, com médias de 0,4 e 0,7 PgC ano⁻¹, respectivamente.

O balanço de carbono em ecossistemas terrestres é sensível, em curto tempo, a impactos de atividades humanas, incluindo desmatamento, queima da biomassa, mudanças no uso da terra e poluição ambiental (Batjes & Dijkshoorn, 1999). Analisando ao longo do tempo o fluxo de carbono por mudanças no uso da terra (1850–2000) liberou 156 PgC (1 Pg = 10¹⁵ g) para a atmosfera, cerca de 60% oriundos dos trópicos. A média de fluxos anual durante a década de 1980 e 1990 foram 2,0 e 2,2 PgC ano⁻¹, respectivamente, predominando a liberação de carbono por desmatamento tropical (Houghton, 2003).

Sabe-se que os ecossistemas terrestres interagem biologicamente pela fixação de carbono por fotossíntese da vegetação e liberação pela respiração da planta e do solo, desempenhando um significativo papel de sumidouros de carbono (Freitas, 2001). Os quatro maiores reservatórios de carbono são a atmosfera (730- 750 Pg C) (Schimel, 1995; Prentice et al., 2001), os oceanos (39.000 Pg), as reservas de combustível fóssil (5.000 a 10.000 Pg)

(Brady & Weil, 1999) e os ecossistemas terrestres (2.100 Pg; solo: 1.500 Pg C; vegetação 500-600 Pg C), incluindo a biota do solo (Houghton & Woodwell, 1989; Watson et al., 1990).

Os solos representam um compartimento essencial no armazenamento de carbono da biosfera. A estabilidade do carbono do solo e da solução, sob as áreas de floresta, quando são desmatadas ou perturbadas torna-se crítica. A estabilidade desse carbono afeta o seu estoque total que será conduzido ao novo equilíbrio em virtude da taxa de mudança sofrida (Fearnside, 2008). Estudos realizados na Estação Biológica La Selva (Costa Rica) demonstram uma grande concentração de C no solo, contribuindo com cerca de 66% - 77% do total do carbono contido no ecossistema (Clark, 2000; Clark et al., 2002; Veldkamp et al., 2003). Nos últimos anos, percebe-se uma preocupação muito grande com o carbono estocado no solo em diversos biomas do mundo (Franzluebbers, 2005; Glenday, 2006; Jones et al., 2005; Thuille & Schulze, 2006).

O estoque de carbono é controlado pelo balanço da entrada de carbono produzido pela planta, bem como a saída através da sua decomposição (Jenny, 1941; Schlesinger, 1977a). Em climas úmidos, tanto a produção como a decomposição aumentam com a temperatura (Schlesinger, 1977b; Oades, 1988). Nos ecossistemas terrestres, as florestas tropicais têm importante papel no ciclo global do carbono devido: a) sua maior extensão, compreendendo cerca de 43% da área global de florestas, sendo que 52% delas estão na América Tropical (Dixon et al., 1994); b) seu grande estoque de carbono na vegetação (60% do estoque de C das florestas do mundo) e no solo; c) suas altas taxas de emissões de CO₂ devido ao acelerado desmatamento e à conversão das florestas para outros usos.

Nesse cenário a Amazônia surge como um dos mais importantes ecossistemas do planeta, devido à extensão de suas florestas tropicais úmidas, a biodiversidade, as taxas em que estão sendo modificadas e também à sua extensa rede de drenagem (Krusche et al., 2005), constituindo-se no maior sistema hidrográfico do mundo, com aproximadamente 6.400.000 km², sendo a maior reserva de água doce do planeta (Yahn, 2005).

Devido ao seu tamanho, característica, processos naturais e antropogênicos, a Amazônia, pode modificar significativamente os fluxos de carbono e água entre a biosfera e atmosfera (Davidson & Artaxo, 2004; Ometto et al., 2005; Schaphoff et al., 2006; Tian et al., 1998). A mudança no conteúdo de carbono orgânico do solo é função da entrada de carbono fixado fotossinteticamente e a perda via decomposição da MOS. Em ecossistemas nativos, o clima e as condições do solo são os determinantes primários do balanço de carbono, porque eles controlam as taxas de produção e decomposição.

Parece que o destino do carbono estocado é crítico frente ao efeito da mudança climática global (Schultz & Freibauer, 2005). Assim, a possível liberação do carbono da matriz do solo e da solução do solo começa a se tornar uma grande preocupação, principalmente, pela possibilidade de aumentar as emissões de CO₂ para a atmosfera. Fearnside (2008) ressalta que a possibilidade da liberação do carbono do solo representa uma forma de retroalimentação positiva potencial, originando um efeito estufa fora de controle.

Nesse contexto, a busca de alternativas de manejo associadas com a manutenção e seqüestro de carbono em ambientes terrestres tem sido o objetivo de vários pesquisadores em ciências ambientais, em especial, na Ciência do Solo. Grande atenção tem sido concedida aos solos, pois estes armazenam quatro vezes mais carbono que a biomassa vegetal.

Apesar da biomassa das florestas tropicais desempenharem um importante papel no ciclo global do carbono, tanto como um reservatório dinâmico de carbono como uma fonte de dióxido de carbono para a atmosfera em áreas submetidas a desmatamento (Malhi et al., 2006; Fearnside, 2000); faz-se necessário uma melhor compreensão da dinâmica e estoque de carbono nos ecossistemas amazônicos, ao nível de solo, sendo fundamental para estimar com maior precisão a participação da região no balanço do carbono global do sistema solo-planta.

2. OBJETIVOS

GERAIS

Estudar a dinâmica do carbono orgânico do solo (COS) ao longo de gradiente topográfico na Amazônia;

Relacionar a dinâmica do carbono com atributos físicos do solo: densidade, textura, porosidade, estabilidade de agregados e mineralogia

ESPECÍFICOS

Quantificar os estoques de carbono do solo durante três anos ao longo dos horizontes pedogenéticos identificados ao longo do gradiente topográfico;

Quantificar o potencial de uma bacia hidrográfica quanto ao estoque de carbono nas suas diferentes classes de solos;

Determinar a influência da mineralogia sobre o carbono orgânico do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo encontra-se na Reserva Biológica do Cuieiras, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, que abrange uma área de aproximadamente 22.700 ha, localizada a 50 km ao Norte de Manaus, no km 34 da estrada vicinal ZF-2 (coordenadas geográficas: 2°35'21,08''S e 60°06'53,63''W) (Figura 1). Esta Reserva abrange uma larga área de floresta úmida primária, distribuindo-se entre duas bacias hidrográficas: à oeste, a bacia do rio Cuieiras (13.414 ha); à leste a bacia do rio Tarumã-Açu (9.321 ha) (Ranzani, 1980).

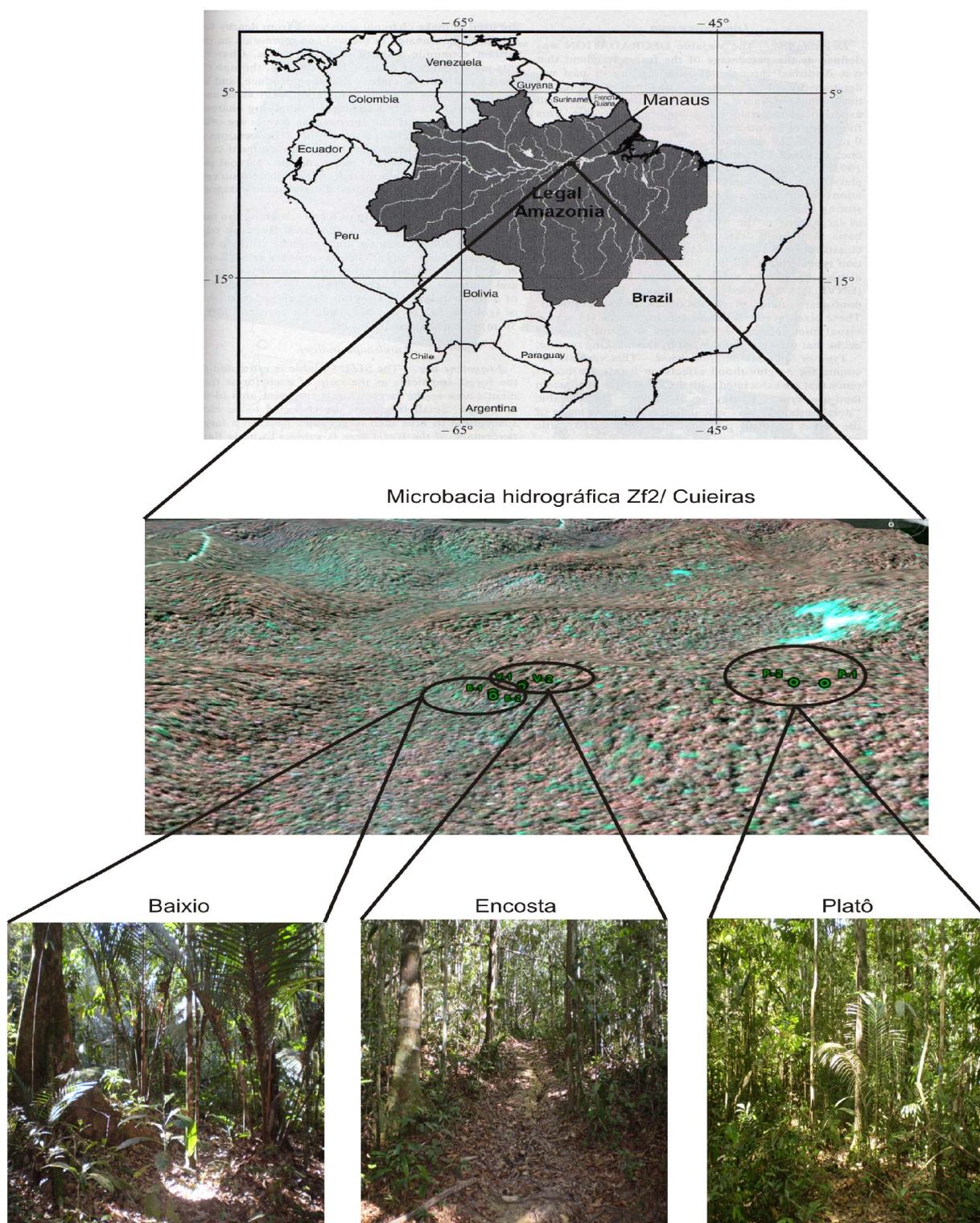


Figura 1. Desenho esquemático dos níveis topográficos com os pontos amostrais

A topografia do transecto (850 m) incluído no presente estudo apresenta uma seqüência de platô, encosta e baixio (Ferraz *et al.*, 1998; Luizão *et al.*, 2004). Os solos dos platôs são de textura argilosa; nas encostas, variam de argilo-arenoso (próximo aos platôs) a areno-argilosos (próximos aos baixios) e nos baixios são de textura arenosa. Assim, os solos dos níveis topográficos podem ser classificados em três tipos principais: Latossolo Amarelo, nos platôs; Podzólicos Vermelho-Amarelo, nas encostas e Arenossolos hidromórficos, nos baixios (Chauvel, 1982; Ferraz *et al.*, 1998).

Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi realizado em um gradiente topográfico representativo da área estudada, sendo que em cada posição topográfica (platô, encosta e baixio), foram utilizadas 05 parcelas de 20 x 40 m, para coleta de amostras para análises físicas, químicas, mineralógica, carbono orgânico do solo (COS), estoque de carbono do solo (ECOS) e de atributos físicos do solo (Figura 2).

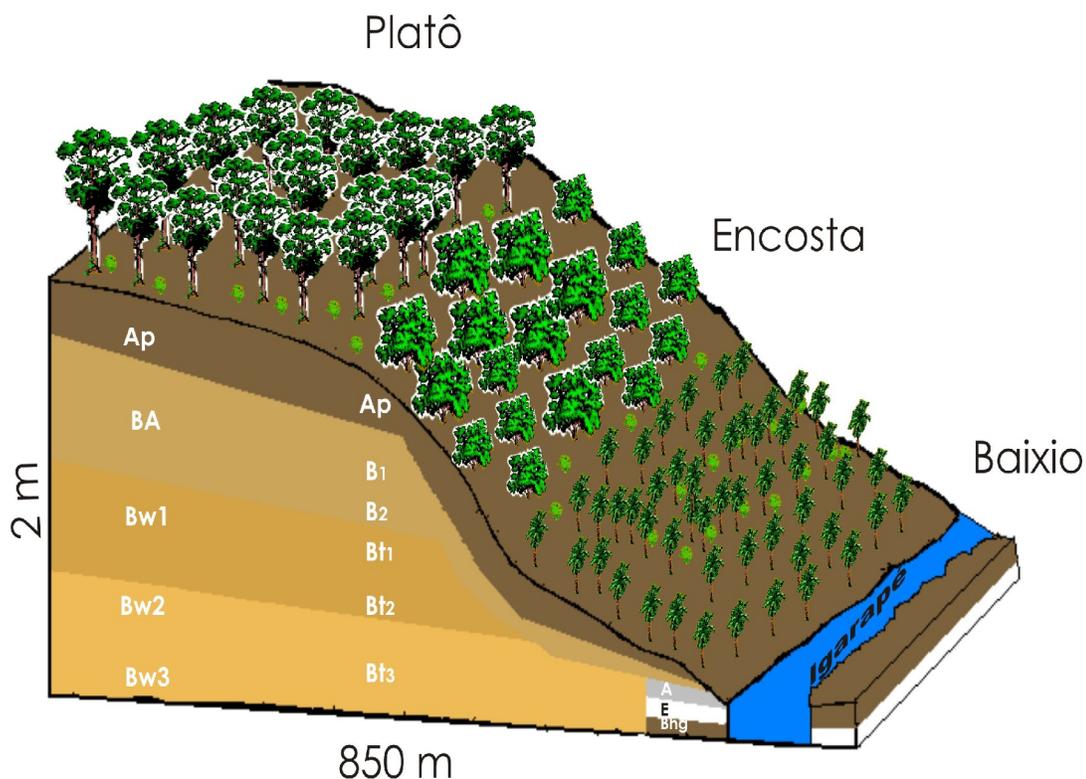


Figura 2. Desenho representativo do experimento ao longo dos níveis topográficos: coleta de solo nos horizontes pedogenéticos .

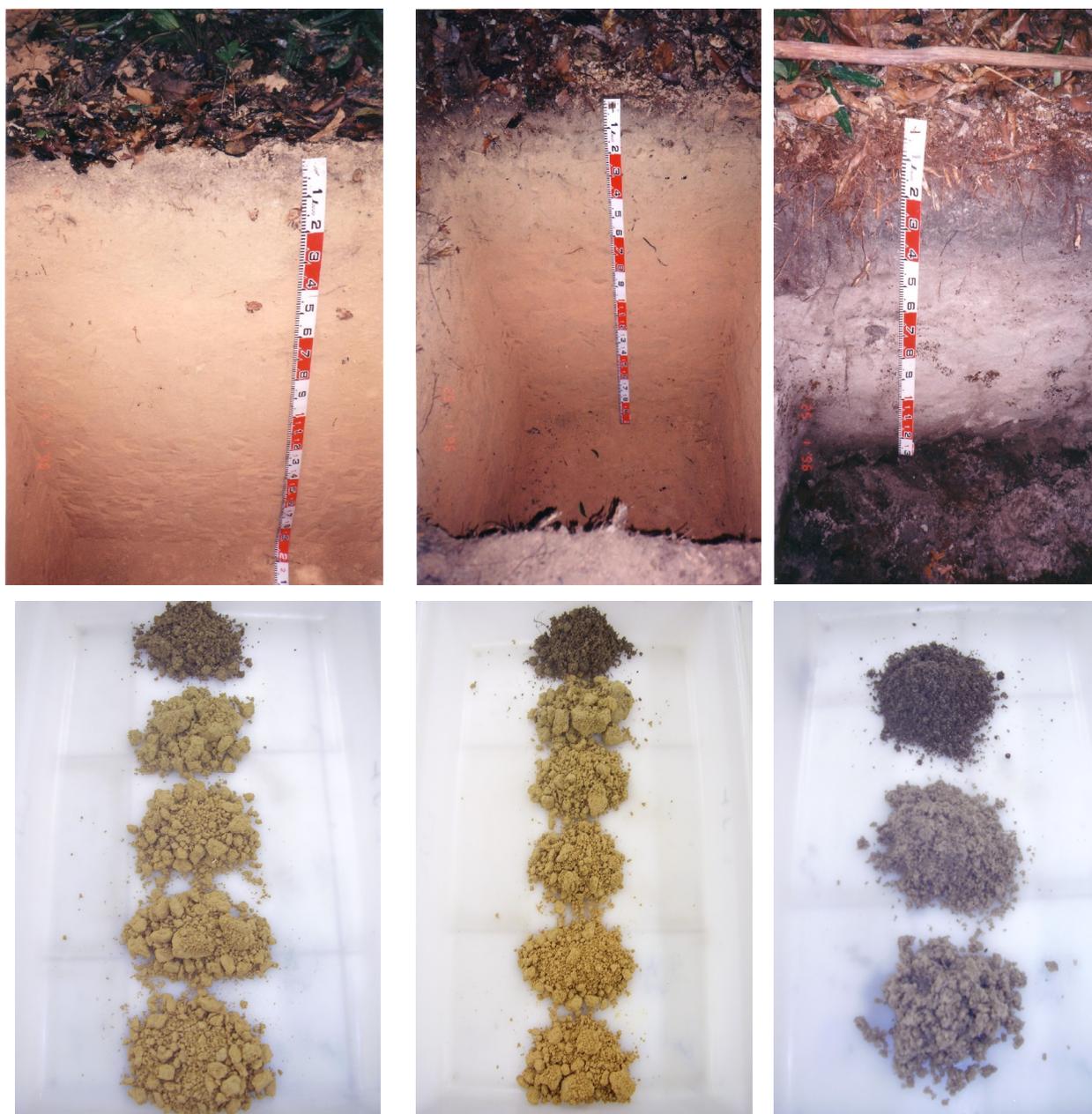
One way ANOVA foi utilizada a análise de variância para identificar diferença significativa entre os parâmetros analisados dentre as classes de solos. Teste de Tukey foi utilizado para comparação das médias, enquanto que o teste t foi utilizado para comparação do carbono no solo. Utilizou-se o nível de significância a 5% de probabilidade.

Coleta de amostras

Foram abertos 3 perfis de solo, sendo 1 em cada posição topográfica, com dimensão de 1,5 m x 1,5 m x 1,5 m para a descrição morfológica (Lemos & Santos, 1996). Coletaram-se amostras com estrutura deformada ao longo dos horizontes pedogenéticos (Figura 3) identificados para as determinações físicas e químicas. A partir dos três perfis de solo, em cada posição, aleatoriamente, procedeu-se tradagens a cada 10 m, a partir do perfil de solo aberto, para ambos os lados para obtenção de repetições de amostragem.

As amostras deformadas foram armazenadas em sacos plásticos de 0,5 kg, sendo posteriormente secas, limpas, trituradas e encaminhadas para análise. As amostras destinadas a determinação dos teores de carbono e análises químicas do solo foram coletadas em uma série de 03 anos seqüenciais, sendo 2005, 2006 e 2007 no mês de outubro.

Foram coletadas amostras indeformadas em anéis volumétricos utilizando-se amostrador tipo Uhland, com anéis volumétricos de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. ao longo dos horizontes do solo, com 05 repetições em cada horizonte. As amostras foram conduzidas ao laboratório onde foi possível realizar o tratamento do solo dentro de cada cilindro para obtenção do correto volume de solo.



A) Latossolo Amarelo Distrófico textura muito argilosa (LAd) B) Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico textura argilosa (PVAd) C) Espodossolo Cárstico Hidromórfico típico (EKg)

Figura 3. Perfis de solos abertos no platô, encosta e baixio para coleta de amostras deformadas

Análises e determinações realizadas

A análise granulométrica foi realizada no laboratório temático do INPA/LTSP pelo método da pipeta (Embrapa, 1997). Utilizaram-se 50 g de solo dispersando-o com solução aquosa de pirofosfato de sódio (6 kg m^{-3}) e de hidróxido de sódio (4 kg m^{-3}) por agitação lenta durante 16 horas. As frações grosseiras (areia fina e grossa) foram separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O silte corresponde ao complemento dos percentuais para 100%, sendo obtido por diferença das outras frações em relação a amostra original.

A análise de estabilidade de agregado foi realizado no laboratório de Física de Solos da Embrapa Amazônia Ocidental (Manaus-AM), seguindo a metodologia proposta por Kemper & Chepil (1965), modificado por EMBRAPA (1997). Amostras de solos foram coletadas na superfície do solo 0-10 cm, ao longo do gradiente topográfico. Em cada posição foram coletadas 6 amostras de solo, à exceção do baixo em decorrência da estrutura do solo não formar agregados.

As amostras deformadas foram secas ao ar, durante um período de 24 horas, sendo destorroadas, quebrando-se os agregados maiores em tamanhos menores. A seguir a amostra foi passada em duas peneiras, uma de 4,0 mm e outra de 2,0 mm. Após o processo do peneiramento, retirou-se uma quantidade de 20 g para a realização do teste de estabilidade de agregados. Posteriormente, colocaram-se as amostras em placa de vidro, umedecendo-as durante um período de 24 h.

Umedecidas, as amostras de solo foram levadas para a peneira de 2,0 mm, composta por um jogo de outras 4 peneiras: 1,0 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,106 mm. Colocaram-se as peneiras, empilhadas, no aparelho vertical. As amostras foram agitadas durante 15 minutos. Concluída a etapa de agitação, o conteúdo de cada peneira foi transferido para um recipiente, conduzindo a amostra à estufa a 105°C durante 24 horas.

O método aplicado está baseado na quantificação e distribuição do tamanho dos agregados que são estáveis em água, considerando os que não sofrem desintegração pela tamisação.

A estabilidade de agregados é expressa pelo diâmetro médio geométrico (DMG), obtido pela equação:

$$DMG = \exp \left\{ \frac{\sum p_i \ln d_i}{\sum p_i} \right\} \text{ sendo:}$$

p_i = peso dos agregados retidos em cada peneira utilizada em gramas;

$\ln d_i$ = logaritmo natural do diâmetro médio das classes de peneiras utilizadas (mm)

As características químicas analisadas foram estudadas com base nas análises de: pH em água, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, carbono, nitrogênio, ferro, zinco, mangânes, cobre e matéria orgânica, seguindo a metodologia descrita por Embrapa (1999). A determinação do fósforo disponível foi realizada através de método colorimétrico, empregando espectrofotômetro UV visível 1240, marca Shimadzu, sendo a extração realizada com solução duplo-ácido (HCl 0,05 M + H₂SO₄ 0,0125 M).

As análises do carbono e nitrogênio totais e das frações dos solos foram realizadas em analisador Fisons Instruments NA 1500 NC, utilizando-se aproximadamente 25-30 mg de material, previamente macerado em almofariz até atingirem a granulometria menor que 212 µm. As análises foram realizadas em Difratorômetro de raios-x modelo XPERT PRO MPD (PW 3040/60), da PANalytical, com goniômetro PW 3050/60 (Theta/Theta) e com tubo de raios-x cerâmico de anodo de Co (K α 1 1,78901 Å), modelo PW 3373/00, foco fino longo, 2200W, 60kv. O detector utilizado é do tipo RTMS, X' Celerator.

A aquisição dos dados foi feita com o software X'Pert Data Collector, versão 2.1 a, e o tratamento dos dados com o software X' Pert HighScore versão 2.1. b, também da

PANalytical. Todos os equipamentos e softwares pertencem ao Laboratório de Raios-X do Centro de Geociência da Universidade Federal do Pará.

Foram utilizadas as seguintes condições de análise: Voltage (kV): 40; Current (mA): 35; Scan range ($^{\circ}2\theta$): 5-70; Step size ($^{\circ}2\theta$): 0,02; Scan mode: Contínuos; Counting time (s): 5; Divergence slit: Slit Fixed $1/2^{\circ}$; Mask Fixed 10 mm; Anti-scatter Name: Slit Fixed 1° ; Sample movement type: Spinning; rotation time (s): 1,0. As amostras foram pulverizadas em gral de ágata em granulometria compatível e preenchidas em porta amostra específico para a análise.

As concentrações de carbono do solo (kgm^{-2} de C) foram convertidas em estoques de carbono total (Mgha^{-1} de C). Estoques de carbono (ECs) dos solos (Mgha^{-1}) e estoque de carbono acumulado por camadas, em cada fração orgânica, (ECf) (Mgha^{-1}), foram obtidos multiplicando a concentração de C (g.kg^{-1}), densidade do solo na camada estudada (kg.m^{-3}) e espessura (h) em centímetros (cm), conforme equação (1). Estoques de carbono também foram obtidos nos horizontes pedológicos ao longo de 3 anos de coleta, através da equação 1:

$$EC (\text{Mg ha}^{-1}) = C (\text{g kg}^{-1}) \times \rho (\text{kg m}^{-3}) \times h (\text{cm}) \quad (\text{Equação 1})$$

Os estoques de carbono (kg.m^{-2}) por perfil de solo ECp foram calculados para os perfis de platô e encosta nas profundidades: 0-40 cm, 0-100 cm e 0-200 cm, conforme equação 2. No caso do perfil de baixio, considerou-se as profundidades: 0-25 cm e 0-120 cm. O cálculo constituiu da soma dos estoques das camadas contidos nas camadas amostradas.

$$ECp = \sum_{0cm}^{30cm} ECh; \sum_{0cm}^{100cm} ECh; \sum_{0}^{200cm} ECh \quad (\text{Equação 2})$$

Além disso, procedeu-se os cálculos da contribuição do carbono por camadas (ECc) nos platô e encosta:

$$ECc = \sum_{0cm}^{30cm} EC_1 + \sum_{30cm}^{100cm} EC_2 + \sum_{100}^{200cm} EC_3 \quad (\text{Equação 3})$$

e no baixo:

$$ECc = \sum_{0\text{ cm}}^{25\text{ cm}} EC_1 + \sum_{25\text{ cm}}^{120\text{ cm}} EC_2 \quad (\text{Equação 4})$$

Como forma de observar a contribuição de cada horizonte pedológico, procedeu-se os cálculos para o estoque de carbono por horizontes do solo (ECHs), por intermédio da equação 4

$$ECH_s = \sum_{xcm}^{ycm} ECh_1 + \sum_{xcm}^{ycm} ECh_2 + \sum_{xcm}^{ycm} ECh_3 \quad (\text{Equação 5})$$

A densidade do solo foi determinada a partir da coleta de amostras indeformadas (Figura 4A), nos mesmos horizontes do solo e nos intervalos da coleta das amostras para o fracionamento da MO, coletando-se as amostras em cilindros volumétricos (anéis de Kopecky) (Figura 4B), medindo-se o diâmetro e altura dos anéis (Figura 4C), tendo um volume total de aproximadamente 100 cm³. Para obtenção da massa de solo seco (MSS), as amostras volumétricas foram secas em estufa a 105 °C, por 48 horas, procedendo-se as posteriores pesagens conforme EMBRAPA (1997) e utilização da seguinte expressão:

$$\rho(\text{kgm}^{-3}) = \frac{Ms}{V}$$

onde:

$\rho(\text{kgm}^{-3})$ = densidade do solo

Ms = Massa de solo seco em estufa a 105 °C

**A****B****C**

Figura 4. Amostra de solo em cilindro volumétrico para determinação da densidade do solo (A); preparação das amostras para determinação da densidade (B), aferição do diâmetro e altura com o paquímetro (C).

A determinação da distribuição de poros por tamanho foi obtida a partir das amostras utilizadas para a obtenção da densidade do solo descrito representado pelas Figuras 4. Admitindo-se que o limite de separação entre macro e microporos é referido para as tensões 6 e 10 kPa, considerou-se como porosidade capilar aquela que o solo apresenta depois de submetida a uma tensão de 10 kPa. O cálculo da porosidade total foi feito pela seguinte equação:

$$Pt = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_p} \right) \times 100 \quad \text{onde}$$

Pt = porosidade total

ρ = densidade do solo

ρ_p = densidade das partículas

A macroporosidade foi determinada através da equação:

$$Ma (\%) = \theta_s - \theta_m \times 100 \quad \text{onde}$$

Ma(%) = macroporosidade

θ_s = umidade volumétrica considerando o solo saturado (m^3m^{-3})

θ_m = umidade volumétrica retida a 10 kPa (m^3m^{-3})

A microporosidade foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a macroporosidade

$$Mi (\%) = Pt - Ma \times 100$$

Mi (%) = microporosidade

Pt = porosidade total (m^3m^{-3})

Ma (%) = Macroporosidade (m^3m^{-3})

Para identificar a microbacia do Igarapé Açu, utilizou-se a função hidrologia do software arcgis 9.0. Com a utilização da imagem STRM (Shuttle Topographic Radar M) 30m (Figura 5) foram calculados as acumulações e direções dos fluxos, permitindo a delimitação dessa área. Em seguida, casualizando as imagens STRM e IKONOs, bem como utilizando os pontos coletados através do GPS foram delimitadas três classes topográficas: áreas de platô, vertente e baixo. Considerou-se a área de platô com altitude compreendida entre 90 – 120 m, encosta entre 75 – 90 m e baixo entre 50 – 75 m. Assim, calculou-se a área correspondente as três classes delimitadas.

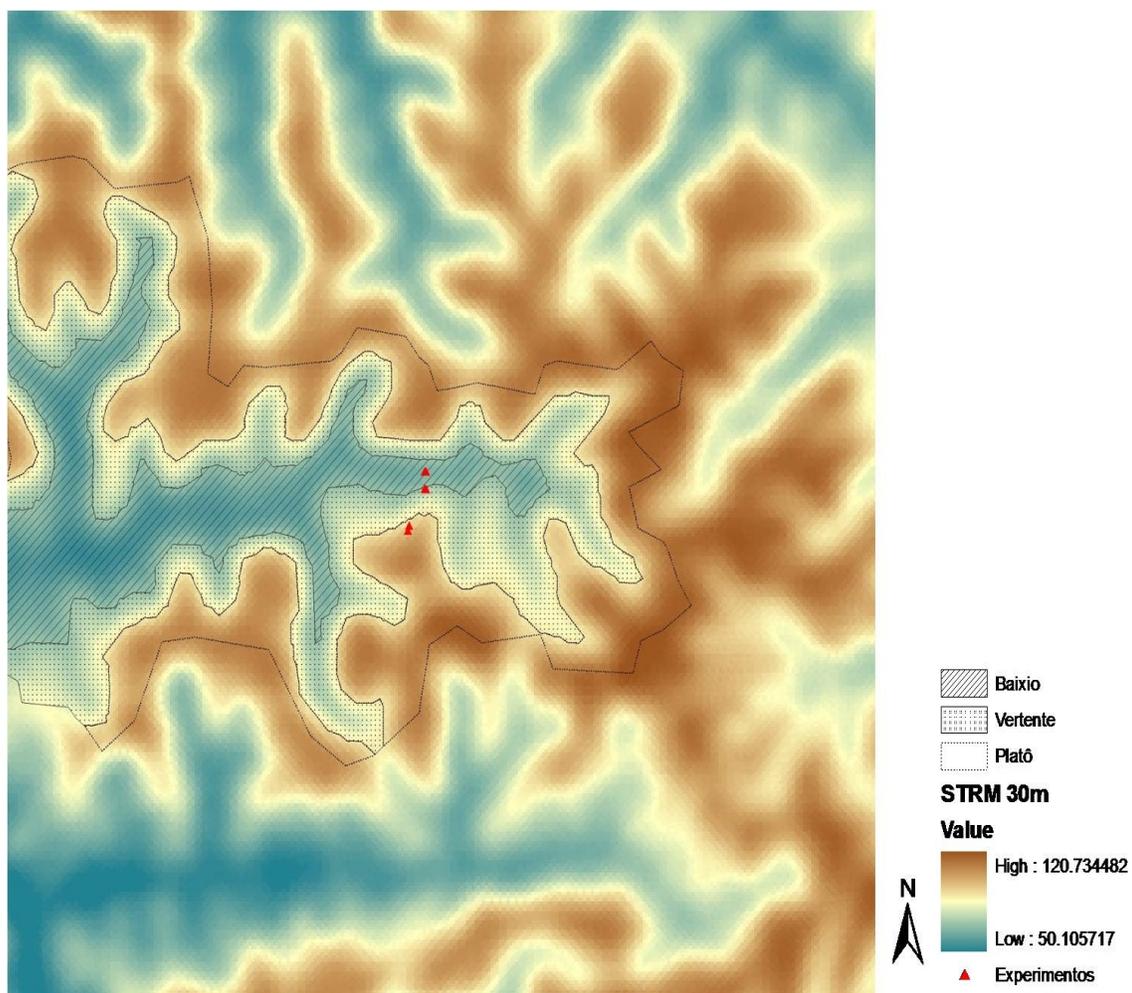


Figura 5. Imagem da delimitação da bacia hidrográfica com as delimitações das áreas de platô, encosta e baixo.