



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

JAFET VIEIRA DA SILVA

**EFEITO DAS CONDICIONANTES AMBIENTAIS NA DECOMPOSIÇÃO E
ESTABILIZAÇÃO DA LITEIRA FINA EM FLORESTAS ECOTONAIS DE
RORAIMA**

Boa Vista, RR
2018

JAFET VIEIRA DA SILVA

**EFEITO DAS CONDICIONANTES AMBIENTAIS NA DECOMPOSIÇÃO E
ESTABILIZAÇÃO DA LITEIRA FINA EM FLORESTAS ECOTONAIS DE
RORAIMA**

Dissertação apresentado ao programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais. Área de concentração: Manejo e conservação de Recursos Naturais.

Orientador: Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa

Boa Vista, RR
2018

JAFET VIEIRA DA SILVA

**EFEITO DAS CONDICIONANTES AMBIENTAIS NA DECOMPOSIÇÃO E
ESTABILIZAÇÃO DA LITEIRA FINA EM FLORESTAS ECOTONAIS DE
RORAIMA**

Dissertação apresentado ao programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais. Avaliada pela seguinte banca examinadora:

Examinador 1

Examinador 2

Examinador 3

Suplente

Boa Vista, RR
2018

Dedico à minha mãe, Maria Lúcia Vieira da Silva e às minhas avós, Angelita Vieira dos Santos e Catarina Moreira da Silva, pelo carinho, base moral e amor incondicional e a minha companheira Clediane Souza pelo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao projeto institucional “Crescimento e mortalidade de árvores em florestas ecotonais de Roraima: efeito das condicionantes ambientais e da variabilidade climática” (PRJ 015/122 – Objeto 15/00377), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo CNPq 304204/2015-3) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Serviços Ambientais da Amazônia (INCT-ServAmb), pelo suporte financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de minha bolsa de estudo.

Ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) pelo apoio logístico no desenvolvimento do trabalho de campo.

Ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais (PRONAT) da Universidade Federal de Roraima (UFRR) pela oportunidade de concluir um curso de pós-graduação de qualidade, tendo certeza que contribuirá de maneira positiva em minha vida profissional.

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), através da equipe de analistas da Estação Ecológica de Maracá (Bruno, Benjamin e Marcelo), pelo apoio e atenção.

Ao professor orientador Reinaldo Imbrozio Barbosa, por sua paciência, persistência, por ter me mostrado a essência da pesquisa científica, como fazer a pergunta correta na hora certa e da forma exata. Suas críticas são sempre feitas de forma clara e construtiva, buscando sempre ouvir o nosso ponto de vista, sem impor sua ideia de forma verticalizada. Nos guiou no campo mesmo com o joelho operado, mais um pai do que um orientador, muito obrigado professor.

À minha mãe, Maria Lúcia Vieira da Silva, por ter construído meu caráter, estar sempre ao meu lado me apoiando e incentivando em todos os momentos de minha vida, pelo seu empenho e incentivo em meus estudos e por seu amor incondicional, tudo o que sou devo a você. A mestre Clediane Souza por sua fundamental companhia, apoio e incentivo no desenvolvimento e conclusão deste trabalho, e a sua filha por ser uma menina sincera e amorosa.

Aos colegas de campo Ricardo Patrício, Itamar e Arthur Citó, pelo apoio em campo. A colega de curso Andressa Sampaio, pelo auxílio na instalação e compartilhamento das dificuldades e felicidades ao longo do mestrado.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram através da crítica construtiva, ou simplesmente crítica, mas que me fizeram refletir durante todo esse processo de formação.

RESUMO

Decomposição e estabilização da matéria orgânica compreendem uns dos principais descritores ambientais em dinâmica de ecossistemas, sendo extremamente importantes no contexto da ciclagem de nutrientes e do carbono. Esses processos biológicos se mostram mais expressivos, principalmente em florestas tropicais. Nesses ecossistemas, um dos principais componentes florestais sujeito à decomposição é a liteira fina, devido à sua elevada relação superfície-volume, que facilita uma rápida degradação. A taxa de decomposição da liteira fina varia em função de diferentes condicionantes ambientais. Dessa forma, este estudo se propôs a utilizar o método TBI (Tea Bag Index) como base para determinar o efeito das condicionantes ambientais nas taxas de decomposição e estabilização da liteira fina em diferentes formações florestais que ocorrem em uma área de ecótono na região centro-norte de Roraima, extremo norte da Amazônia brasileira. Avaliou-se o método em três formações florestais (florestas ombrófilas, estacionais semidecíduais e estacionais decíduais) que compõem o ecótono estudado. Nessas formações foram analisados os efeitos de três condicionantes ambientais: % abertura do dossel (descriptor de decidualidade), fator edáfico (descriptor de fertilidade do solo) e altitude (descriptor topográfico). O experimento foi instalado em 30 parcelas permanentes (10 para cada fitofisionomia) distribuídas sistematicamente em uma grade de pesquisa do PPBio (Programa de Pesquisa em Biodiversidade). Em cada parcela foram enterrados 12 “tea bags”, seis “Green” e seis “Rooibos”. A coleta foi realizada aos 14, 35 e 50 dias de instalação, sendo retirado um par de cada “tea bag” por período de incubação. O padrão de decaimento do material vegetal foi exponencial com rápida perda de biomassa. As taxas de decomposição e os fatores de estabilização apresentaram o mesmo padrão, decaindo exponencialmente ao longo do tempo. A taxa de decomposição teve uma amplitude de valores entre 0,0117 e 0,0468 (50° dia), e o fator de estabilização entre 0,0133 e 0,1924 (50° dia). Estatisticamente não foi detectada variação nos índices TBI entre as fitofisionomias e os diferentes tipos de “tea bag” utilizados. Foi verificada uma relação significativa das taxas de decomposição com a altitude e dados edáficos, e o fator de estabilização com os dados edáficos. Os resultados mostraram que as formações florestais não diferem entre si com relação aos índices avaliados e possuem elevadas taxas de decomposição. Esses resultados indicam que há uma rápida ciclagem de nutrientes, enfatizando também a participação ativa dessas florestas no fluxo de carbono, e a sua importância no atual contexto do aquecimento global.

Palavras-chaves: Maracá. Ecótono. Tea Bag Index. Decomposição.

ABSTRACT

Decomposition and stabilization of the organic matter comprise the main environmental descriptors in ecosystem dynamics, also being extremely important regarding nutrients and carbon cycling. These biological processes are more expressive primarily in tropical forests. In these ecosystems, one of the major forest components subject to decomposition is the litter layer due to its high surface-volume relation, which facilitates its fast degradation. The litter layer decomposition rate varies in function of different environment condition. Therefore, this study proposes using the TBI (Tea Bag Index) method as base to determine the effect of environment determinants on the decomposition and stabilization rates of the litter layer in different forest formations that occur in a ecotone area in north-center region of Roraima, northern of the Brazilian Amazon. The method was evaluated in three forest formations (ombrophilous, seasonal semideciduous and seasonal deciduous) that compose the studied ecotone. In these formations were analyzed the effects of three environment determinants: canopy opening (deciduousness descriptor), edaphic factor (soil fertility descriptor) and altitude (topographic descriptor). The experiment was installed in 30 permanent plots (10 to which phytophysiology) systematically distributed along a PPBio (Program for Biodiversity Research) grid. In which plot were buried 12 tea bags, six "Green" and six "Rooibos". The collection was carried out at 14, 35 and 50 days of installation, removing a pair of tea bags for each incubation period. The decay pattern of the vegetal material was exponential and showed a rapid biomass. Decomposition rates and stabilization factors showed the same exponential pattern, decaying along time. Decomposition rate had value amplitude between 0.0117 and 0.0468 (50th day), the stabilization factor had between 0.0133 and 0.1924 (50th day). Statistically, no variation was detected to TBI index among the phytophysiology and the different types of tea bags used. It was verified a significative relationship between decomposition rates and altitude and edaphic data, and stabilization factor with edaphic data. The results demonstrate that the forest formations do not differ regarding the evaluated indexes and show a high decomposition rate. These results indicate that there is a rapid nutrient cycling, also highlighting the active participation of these forests on carbon flux and its importance in the current global warming context.

Keywords: Maracá. Ecotone. Tea Bag Index. Decomposition.

LISTA DE FIGURAS

Figura - 1	A: ESEC Maracá, mostrando a localização da grade do PPBio na Ilha de Maracá; B: Grade do PPBio com a distribuição das trinta parcelas avaliadas contemplando os três tipos vegetacionais da grade; C: Tamanho de cada parcela da grade.....	20
Figura - 2	Classificação fitofisionômica aproximada dos principais tipos florestais presentes no leste da ESEC Maracá de acordo com o sistema de classificação da vegetação brasileira (IBGE, 2012): floresta ombrófila, estacional semidecidual e estacional decidual, conforme sugerido por Villacorta (2017)	22
Figura - 3	Procedimentos metodológicos para a implantação do método TBI.....	25
Figura - 4	Dispersão do fator de estabilização (S) e taxa de decomposição (k) nos dois “tea bag” (1.0 e 2.0) tomando como base o 50º dia das três fitofisionomias avaliadas.....	30
Figura - 5	Modelo de decaimento exponencial da massa do “green” e “rooibos” teas ao longo do tempo, evidenciando a maior e mais rápida perda de massa do “green” em relação ao “rooibos” em todas as fitofisionomias avaliadas: (a) ombrófila, (b) semidecidual, (c) decidual, (d) decaimento do “green” e “rooibos” nas três fitofisionomias. As barras de erro representam o desvio padrão.....	31
Figura - 6	Modelo de decaimento exponencial das taxas de decomposição e estabilização ao longo do tempo, os gráficos mostram valores maiores dos índices nos primeiros dias de experimento para as três fitofisionomias, floresta ombrófila (a), semidecidual (b), decidual (c) e dados compilados, decomposição e estabilização. As barras de erros representam o desvio padrão.....	33
Figura - 7	Dispersão dos índices TBI entre as fitofisionomias avaliadas, mostrando o poder discriminador do TBI em diferenciar os valores dentro e entre cada fitofisionomia. Barras de erro na figura indicam o desvio padrão.....	34
Figura - 8	Padrão relacional entre taxas de decomposição e as condicionantes ambientais (a), decomposição e solo na ombrófila (b), decomposição e altitude na semidecidual e (c) floresta decidual. Os pontos representam o total de parcelas distribuídas entre as três fitofisionomias avaliadas em que foi possível obter dados sobre as taxas de decomposição.....	36
Figura - 9	Padrão relacional entre o fator de estabilização e solo (a), floresta ombrófila, (b) floresta semidecidual, e (c) floresta decidual edáficos. Os pontos representam o total de parcelas distribuídas entre as três fitofisionomias avaliadas em que foi possível obter dados sobre os fatores de estabilização.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CARBONO NO CONTEXTO GLOBAL DAS FLORESTAS TROPICAIS	11
1.2	NECROMASSA: TAXAS DE DECOMPOSIÇÃO E ESTABILIZAÇÃO	13
1.3	MÉTODOS UTILIZADOS	15
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	METODOLOGIA	19
3.1	ÁREA DE ESTUDO	19
3.1.1	Unidade amostral	21
3.2	DELINEAMENTO AMOSTRAL	21
3.2.1	Método TBI: seleção dos “tea bags”	23
3.2.2	Aplicação do TBI - protocolo padronizado	23
3.2.3	Variáveis ambientais por fitofisionomia	26
3.4	ANÁLISE DOS DADOS	26
3.4.1	Controle de qualidade na obtenção dos dados	26
3.4.2	Determinação das taxas de estabilização e decomposição do litter fino	26
3.4.3	Análises dos dados	27
4	RESULTADOS	29
4.1	CONTROLE DE QUALIDADE NA OBTENÇÃO DOS DADOS	29
4.2	DISTINÇÕES ENTRE OS “TEA BAG” (1.0 VS. 2.0)	29
4.3	PADRÃO DE DECAIMENTO DA MASSA E DOS ÍNDICES TBI	30
4.4	TAXA DE DECOMPOSIÇÃO VS. FATOR DE ESTABILIZAÇÃO	34
4.5	TAXAS DE DECOMPOSIÇÃO E FATORES DE ESTABILIZAÇÃO VS. CONDICIONANTES AMBIENTAIS	35
5	DISCUSSÃO	38
5.1	DISTINÇÕES ENTRE OS “TEA BAG” (1.0 VS. 2.0)	38
5.2	PADRÃO DE DECAIMENTO DA MASSA E DOS ÍNDICES TBI	38
5.3	TAXA DE DECOMPOSIÇÃO VS. FATOR DE ESTABILIZAÇÃO	39
5.4	TAXAS DE DECOMPOSIÇÃO E FATORES DE ESTABILIZAÇÃO VS. CONDICIONANTES AMBIENTAIS	40
6	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	45
	ANEXO A	49

1 INTRODUÇÃO

A decomposição é um processo majoritariamente biológico e extremamente importante para os ecossistemas, especialmente no que diz respeito a ciclagem de nutrientes e ao fluxo de carbono, sendo a liteira fina depositada sobre o solo uma importante fonte de energia para esse processo. A decomposição pode ser estudada através de diversos prismas, dentre eles, sua participação no ciclo biogeoquímico do carbono, sua importância perante as diferentes formações vegetais, fatores que influenciam no processo e o entendimento de seu papel mitigador no contexto do aquecimento global.

Diversos métodos podem ser utilizados para determinar as taxas de decomposição, porém com uma elevada dificuldade em obter dados padronizados de forma global. Essa dificuldade se manteve por muito tempo, até o desenvolvimento, em 2013, de um método que passou a fornecer dados padronizados sobre a decomposição a partir da liteira fina (como um importante descritor ambiental), possibilitando uma visão integrada da decomposição nos ecossistemas (PRESCOTT 2010, KEUSKAMP et al. 2013, SAYER, EMMA 2006). Essa sugestão de padronização facilita a comparação dos fluxos e estoques de carbono de matéria orgânica morta entre os diferentes ecossistemas, permitindo um melhor entendimento do papel de cada formação vegetal no ciclo global do carbono.

1.1 CARBONO NO CONTEXTO GLOBAL DAS FLORESTAS TROPICAIS

O carbono geralmente recebe maior atenção em estudos sobre decomposição, devido a sua elevada representatividade na formação dos organismos (se constituindo em ~50% de toda biomassa terrestre), de seus efeitos sobre os ecossistemas e da elevada mobilidade entre a litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera. Esse movimento efetuado pelo carbono entre esses compartimentos (orgânico e inorgânico) é conhecido como ciclo biogeoquímico do carbono, o qual, envolve tanto os organismos como o próprio meio físico. Essa translocação do carbono ocorre em maior escala de valores através do ciclo geoquímico, que inclui, entre outros processos geológicos, degradação do silicato, precipitação de carbonato, intemperismo, metamorfismo ou subducção de rochas carbonáticas. Tais processos atuam liberando ou removendo o carbono desses compartimentos. Todos esses processos envolvem grandes quantidades de carbono e geralmente transcorrem no tempo geológico. O componente biológico faz parte do ciclo, ocorrendo em uma escala menor de tempo e com quantidades mais modestas

de carbono. Os organismos vivos participam do ciclo principalmente através da respiração, fotossíntese e decomposição, atuando também na dinâmica entre liberação ou remoção do carbono da atmosfera (YI et al., 2015).

Além desses processos naturais de emissão e absorção do carbono (que mantêm uma quantidade de carbono estável na atmosfera, com um padrão longo de grandes alterações), existe o ciclo antrópico do carbono que mais o emite do que o absorve. Dessa forma, alterando em curto espaço de tempo a concentração de carbono na atmosfera, intensificando o efeito estufa e aumentando a importância dos ecossistemas terrestres e aquáticos na mitigação desses impactos, principalmente na continuidade e, se possível, no aumento dos processos assimilativos (LAVELLE et al., 1993; KHATIB, 2012; YI et al., 2015). Dentro desse contexto, verifica-se que o histórico da concentração do carbono na atmosfera apresenta um acúmulo crescente. Por exemplo, antes da revolução industrial a concentração era de 280 ppm, passando para 390 em 2010, e com previsão para 590 ppm antes do final desse século (IPCC REPORT 2014). Outro ponto que ratifica o aquecimento global como consequência das ações antrópicas, é a velocidade de aumento das concentrações de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, antes da revolução industrial seus níveis, em nenhum momento, por pelo menos 800.000 anos, apresentaram variações tão curtas e sequer valores tão elevados (FU et al., 2016).

É importante a participação dos ecossistemas na captação do carbono emitido pela ação antrópica, estudos indicam que menos da metade fica acumulada na atmosfera, devido ao grande fluxo de carbono absorvido pelos sistemas terrestres e oceânicos. Nas últimas décadas, evidências demonstram que os ecossistemas terrestres absorveram de 25 a 30% do carbono emitido pela ação antrópica, sendo a maior parte acumulada na biomassa das florestas e no solo (YI et al., 2015). Globalmente as florestas cobriam aproximadamente 4.1 bilhões de hectares da superfície terrestre, 42% localizados em baixas latitudes, sendo mais da metade desse valor pertencente a América tropical. Essas florestas globais possuem mais de 80% de todo o carbono terrestre acima do solo e aproximadamente 40% de todo o carbono abaixo dele, sendo esse carbono estocado na forma de biomassa (SILVA et al. 2016; HARMON, SEXTON 1996).

O Brasil corresponde ao segundo país em extensão vegetal, perdendo apenas para a Rússia. Em se tratando de florestas tropicais (as quais acumulam entre 230 – 260 Tg de carbono, o equivalente a 40 – 60% de todo o carbono contido nas vegetações terrestres do planeta), a Amazônia constitui a maior floresta nessa categoria e a que acumula a maior quantidade de biomassa/carbono dos ecossistemas terrestres. A Amazônia Legal Brasileira possui aproximadamente 5×10^6 km², desse total, aproximadamente 750.000 km² de florestas e 240.000 km² de vegetação não florestal foram desmatados até o ano de 2013 (NOGUEIRA et

al., 2015). A magnitude do carbono estocado é proporcional a emissão dos gases do efeito estufa por hectare de floresta desmatada, conseqüentemente, o impacto global no clima, fruto das injúrias pelas quais a floresta Amazônica vem sofrendo, pode ser desastroso para o planeta (DIXON et al., 1994; FEARNSIDE, 2016; PAN, et al., 2011).

Alterações frequentes na paisagem da floresta Amazônica incluem o desmatamento e as queimadas, mas, também com grandes contribuições a essas alterações estão a fragmentação de habitat, agricultura, pecuária, uso do solo, expansão urbana, construção de estradas, hidrelétricas, colocando o Brasil em posições de destaque no que diz respeito a degradação da floresta e conseqüente emissões de carbono. Em 2005, por exemplo, as emissões de carbono do Brasil representaram aproximadamente 21% das emissões globais e aproximadamente 77% das emissões internas, fruto da rápida antropização da floresta Amazônica. Além de todos os impactos diretos da destruição florestal (FEARNSIDE, 2015; BARNI, PEREIRA, MANZI, BARBOSA, 2015), esses impactos podem acelerar o processo de decomposição, agravando ainda mais o problema, principalmente em regiões florestais, onde o acúmulo de liteira é mais elevado.

1.2 NECROMASSA: TAXAS DE DECOMPOSIÇÃO E ESTABILIZAÇÃO

A fitomassa (massa vegetal derivada de diferentes ecossistemas florísticos) pode ser definida como toda matéria produzida pela fotossíntese, sendo dividida em biomassa viva e morta; esta última também chamada de necromassa. A necromassa pode ser dividida em três categorias tomando como base o diâmetro dos fragmentos lenhosos que a compõe: liteira fina, intermediária (média) e grossa, todas compostas por materiais vegetais lenhosos, tombados ou em pé, com diâmetro de $\emptyset \leq 2$ cm, $2\text{cm} < \emptyset \leq 10$ cm e $\emptyset \geq 10$ cm, respectivamente (HARMON, SEXTON 1996). A necromassa desempenha papel fundamental nos ecossistemas, reduz a erosão, serve como estoque de nutrientes carbono e água, pode atuar como tampão para a temperatura, previne a compactação e lixiviação do solo, pode influenciar na diversidade vegetal, a natureza da diversidade da liteira pode permitir a coexistência de espécies, auxilia na germinação e emergência das sementes, exerce efeito direto e indireto nas propriedades físicas e químicas do solo, disponibilidade de nutrientes, compreende uma das maiores fontes de energia e nutrientes e constitui o principal hábitat para os microrganismos e invertebrados (SILVA et al. 2016; SAYER 2006).

A liteira fina possui uma rotatividade mais elevada em função da menor relação volume/superfície, dessa forma, está sujeita a sofrer de forma mais rápida e intensa, influências das condicionantes ambientais às quais estão submetidas e de processos biológicos, como a decomposição. A liteira fina representa a maior entrada de matéria orgânica e nutrientes em ecossistema florestais, contabilizando a queda das folhas, galhos, estruturas florais, frutos, raízes finas mortas entre outros materiais orgânicos que se encaixam na definição de liteira fina, todos apresentando variações em suas taxas de decomposição, dessa forma, a liteira fina compreende um bom descritor ambiental, inclusive das taxas de decomposição (LIPS, DUIVENVOORDEN, 1996).

A decomposição (aqui denominada de “k”) constitui-se na ação degradadora sobre os mais variados materiais. Ocorre, em sua grande maioria, através da atividade biológica, sendo parte integrante do ciclo da vida, e tal como a fotossíntese, é fundamental para garantir a sobrevivência dos organismos. Os microrganismos, principais responsáveis pela decomposição, atuam principalmente sobre a necromassa, propiciando rápida ciclagem dos nutrientes e disponibilizando-os em tempo hábil para a sobrevivência das plantas, especialmente em solos com baixa fertilidade (FU, 2016; LAVELLE et al., 1993).

A decomposição ocorre através de dois subprocessos principais, mineralização e humificação da matéria orgânica, sendo determinada pela interação de três principais componentes: organismos, parâmetros abióticos (principalmente temperatura, umidade e características do solo) e qualidade do material vegetal. Esses três componentes variam ao longo da escala espacial e temporal e possuem influências distintas sobre a taxa de decomposição (LAVELLE et al., 1993). Os principais organismos decompositores são os fungos, bactérias, macro e micro invertebrados do solo, os quais degradam a matéria orgânica, incorporando parte da biomassa em suas estruturas (imobilização), disponibilizando nutrientes para as plantas e liberando parte da biomassa para a atmosfera como CO₂ (mineralização), sendo os microrganismos responsáveis por 80 – 95% do CO₂ liberado do solo por esse processo (FU, 2016; LAVELLE et al., 1993; WALTHALL et al., 2012). Na Amazônia, diversos estudos relacionam a variação da taxa de decomposição a diferentes fatores (topografia, clima, solo, diversidade dos microrganismos, latitude, drenagem, constituição do material orgânico, impactos antrópicos e uso do solo) na tentativa de compreender a influência desses fatores sobre a taxa de decomposição e a dinâmica do ciclo do carbono (IEPEMA, DOMHOF, VAN EEKEREN, 2015; VILLELA, PROCTOR 1999; YANG et al., 2016; ZHANG et al., 2008).

Outro importante parâmetro para o ecossistema e principalmente para o estoque de carbono é a taxa de estabilização (aqui denominada de “S”). Essa taxa mede o momento pré-

humificação da matéria orgânica. Nesse momento, a relação C:N (Carbono:Nitrogênio) é baixa o suficiente para indicar o fim da decomposição, momento em que os nutrientes ficarão disponíveis no solo para as plantas. O fator de estabilização é um importante parâmetro para melhor compreender os processos de sequestro de carbono, uma vez que, após a estabilização, a matéria orgânica tende a manter esse carbono estocando no solo. São três os principais mecanismos pela qual a matéria orgânica é estabilizada: (1) estabilização física - quando a matéria orgânica está protegida da decomposição pelos microrganismos através da micro-agregação; (2) quando a matéria orgânica se encontra fortemente agregada a partículas de silte e argila e (3) quando a matéria orgânica é bioquimicamente estabilizada através da formação de compostos recalcitrantes.

Integrar esses dois parâmetros, decomposição (k) e estabilização (S), melhoram a compreensão do fluxo de carbono nos ecossistemas, além disso, a estabilização pode ser uma poderosa ferramenta para mitigar o aquecimento global. Por exemplo, pesquisas indicam que, ao fertilizar o solo florestal com nitrogênio, o processo de estabilização da liteira pode ser acelerado. Embora essa medida não deve ser generalizada, pois depende de condições e particularidades de cada ambiente, não há dúvidas que entender a dinâmica dos parâmetros k e S aprofundam nosso conhecimento sobre as consequências para o ambiente (COLEMAN; CROSLY; HENDRIX, 2004).

1.3 MÉTODOS UTILIZADOS

As pesquisas sobre decomposição ganharam impulso com o desenvolvimento e reconhecimento da técnica do *litter bag* na década de 1960. Inicialmente, as linhas de pesquisa mantiveram o foco no decaimento da massa e na busca pela determinação das constantes k e S , suas variações e quais fatores as condicionam. Durante a década de 1980, os estudos eram guiados principalmente pela importância desse processo para os ecossistemas bem como na construção de modelos que representassem a dinâmica do processo de decomposição. A partir da década de 1990, a crescente preocupação com o aquecimento global forneceu um grande incentivo em pesquisas nessa área, agora com uma perspectiva também voltada para o fluxo de carbono, e como mitigar esse aquecimento, principalmente nos compartimentos solo e biomassa dos ecossistemas florestais, onde os valores são mais expressivos (PRESCOTT, 2010).

Diversos métodos podem ser empregados para mensurar a taxa de decomposição, fator de estabilização e o decaimento da massa, os quais podem assumir determinadas relações

ecológicas para desenvolver equações que melhor representem essas medições. Assumir que a decomposição é um processo uniforme ao longo do tempo e que se encerra no momento da estabilização, é uma suposição que não corresponde à realidade, contudo melhora a adequação a uma equação matemática. Um dos estudos clássicos sobre a decomposição, Olson (1963), discorre sobre vários métodos que podem determinar a decomposição. Uma forma conveniente de expressar essa taxa é utilizando o parâmetro k , que corresponde a um valor representativo da quantidade de necromassa perdida em um determinado período de tempo.

Bernhard-Reversat (1982) realizou a comparação entre três métodos que medem a decomposição da liteira em ecossistemas de florestas tropicais. O objetivo constituiu em verificar a precisão desses métodos na determinação da taxa de decomposição. Os métodos analisados foram: (i) mensuração direta da massa degradada, (ii) estimativa do coeficiente de decaimento e (iii) medições mensais da perda de massa ao longo do ano. Um dos métodos mais utilizadas na determinação da taxa de decomposição é o Litterbag. Desenvolvido por Wieder e Lang (1982), estabelece a utilização de sacos com liteira em seu interior, o decaimento da massa da liteira fornecerá a base de cálculo para determinar a taxa de decomposição. Entretanto essas técnicas geralmente utilizam o material vegetal da determinada localidade. Dessa forma, qualquer tentativa de padronização torna-se complicada pela dificuldade em reproduzir o experimento da mesma forma, mesmo material vegetal, mesmo material utilizado para a confecção do litterbag, mesmo tamanho dos poros da malha ou mesmo a forma de proceder com o experimento.

Para solucionar esse problema, Keuskamp et al. (2013) desenvolveram o método TBI – Tea Bag Index, com a vantagem de utilizar saquinhos de chá (tea bag) comercialmente disponíveis e de fácil aquisição com o mesmo material vegetal em seu interior, calcados em um conhecimento prévio, que fundamenta sua metodologia. Esses tea bag são enterrados, e após determinado tempo, a massa não decomposta é mensurada, estimando-se tanto a taxa de decomposição quanto a estabilização da liteira fina. Essa metodologia pode ser facilmente reproduzida devido a disponibilidade de acesso ao TBI e ao baixo custo de implementação do experimento. Dessa forma, é possível utilizá-la igualmente em qualquer parte do planeta, gerando um banco de dados com informações padronizadas sobre os processos de decomposição nos mais variados ecossistemas. O método TBI possui uma elevada capacidade de resolução na medição das taxas de decomposição e estabilização da liteira e é utilizado como referência para estudos que buscam determinar a influência das condicionantes ambientais sobre as taxas de decomposição e estabilização.

Diversos estudos já fizeram uso dessa metodologia com o objetivo de comparar seus

dados de decomposição e estabilização (índices TBI) com os demais trabalhos publicados, como é o caso do trabalho desenvolvido por Becker e Kuzyakov (2017), no qual os autores comparam seus índices TBI obtidos com os índices de Keuskamp et al. (2013), utilizando um gráfico de dispersão de pontos, para melhor visualização das diferenças entre os ambientes analisados.

Levando em consideração a importância da decomposição da liteira fina, da estabilização, da obtenção de dados padronizados e efeito de fatores ambientais, esse estudo delimitou a seguinte pergunta: Utilizando o método TBI como parâmetro de referência, quais condicionantes ambientais (e.g. solo, altitude, abertura do dossel) exercem maior influência sobre as taxas de decomposição e estabilização nas diferentes fitofisionomias florestais que ocorrem na zona de contato savana-floresta (ecótono) de Roraima? A hipótese do estudo é que as taxas de decomposição e estabilização sofrem maior influência dos fatores edáficos, onde maior fertilidade e melhor estrutura física do solo fornecem melhores condições ambientais para o desenvolvimento dos microrganismos, facilitando as condições para a sua atuação no papel de organismos decompositores.

A aplicação do TBI em Roraima irá contribuir com o esforço global para obter dados padronizados sobre a decomposição e estabilização no maior número possível de ecossistemas. Os resultados desta pesquisa serão integrados ao banco de dados globais (<http://www.teatime4science.org>), possibilitando melhorias nas estimativas sobre emissão e estoque de carbono por decomposição da liteira fina em ecossistemas terrestres.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar o efeito das condicionantes ambientais nas taxas de decomposição e estabilização da liteira fina em diferentes fitofisionomias florestais dispersas na zona de contato savana-floresta (ecótono) de Roraima (tomando como referência o método TBI).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Determinar distinções entre os diferentes tipos de “tea bag” (1.0 vs. 2.0);
- ii. Modelar o padrão de decaimento das massas (“green” e “rooibos”) e dos índices TBI (decomposição e estabilização) da liteira fina de cada fitofisionomia avaliada;
- iii. Relacionar as taxas de decomposição com as de estabilização de cada fitofisionomia;
- iv. Relacionar as taxas de decomposição e estabilização da liteira fina com os fatores ambientais (altitude, fatores edáficos e abertura do dossel), que caracterizam as diferentes fitofisionomias florestais do ecótono estudado.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

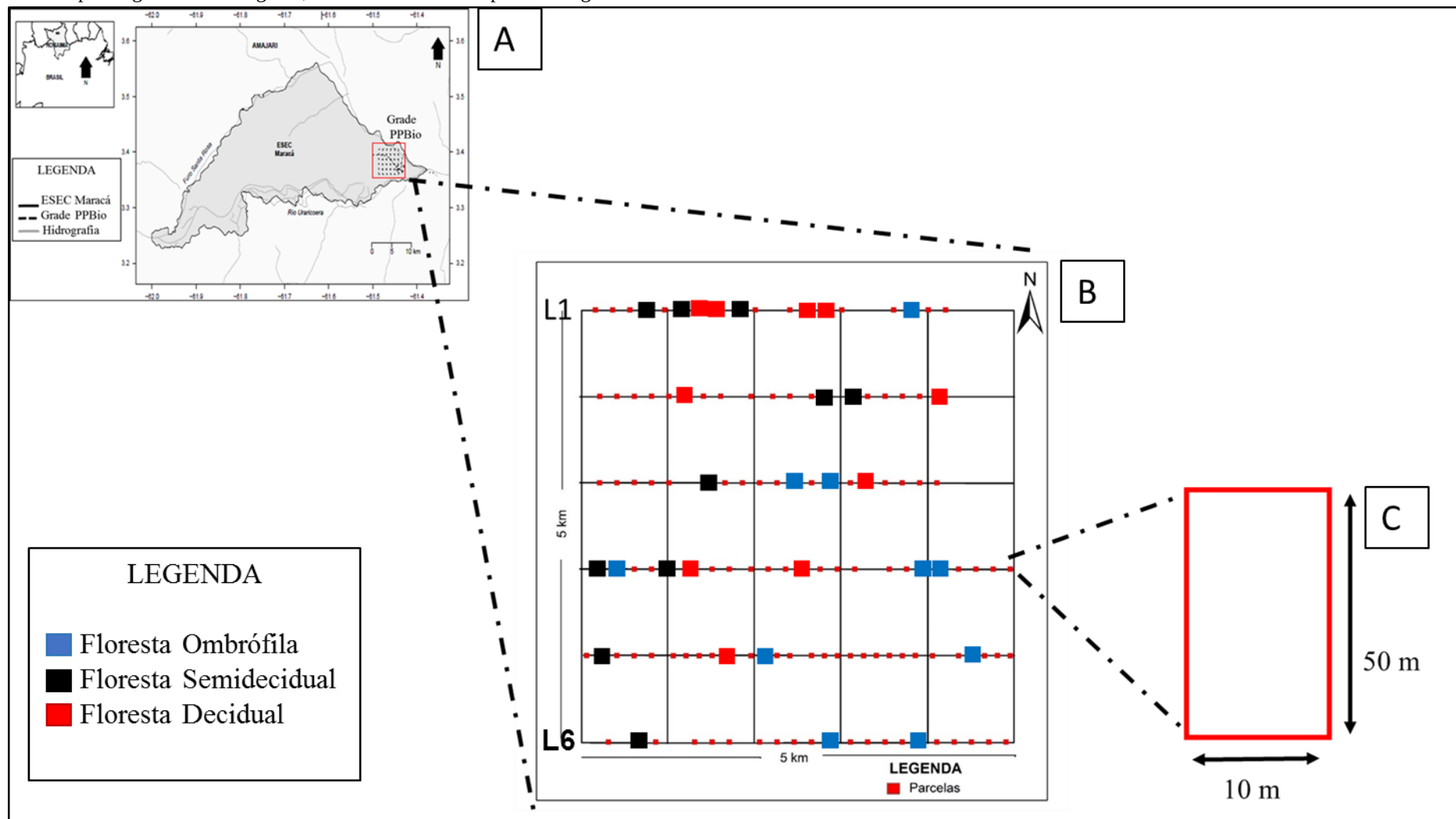
O estudo foi desenvolvido na grade de pesquisa do PPBio localizada na porção leste da Estação Ecológica (ESEC) de Maracá, uma unidade de conservação localizada no centro-norte do estado de Roraima (Figura 1), composta por uma grande ilha (Maracá) e dezenas de ilhotas dispersas no rio Uraricoera (3°20' N, 61°20' W). A ESEC possui 103.518,66 hectares e foi criada pelo Dec. n° 86.061, de 02 de junho de 1981 (ICMBio). Os solos de Maracá possuem grande diversidade e variam desde os mais distróficos aos mais eutróficos. Possuem mineralogia quartzosa, caulinítica, uma mistura das duas e escassamente uma mineralogia micácea, com predominância de Argissolos vermelho-amarelo, sendo a maioria distróficos com baixa saturação por bases (ROBISON; NORTCLIFF, 1991).

A geologia da ilha de Maracá data do Pré-cambriano, fazendo parte do escudo das Guianas, as rochas matrizes presentes são o granito, anfíbolitos e granodiorito. Maracá possui uma morfologia dinâmica, mostrando uma série de eventos erosivos e deposicionais, gerando um mosaico, refletido em parte pelo solo (ROBISON; NORTCLIFF, 1991). A ilha faz fronteira com as savanas, formando uma grande região de ecótono caracterizada pela zona de contato savana-floresta (COUTO-SANTOS, LUIZÃO, CARNEIRO-FILHO, 2014). Toda essa região possui características ambientais de micro-escala que definem cada tipo florístico disperso nessa grande área de mosaico florístico.

O clima de Maracá é classificado como tropical úmido. Segundo a classificação de Köppen, o clima é caracterizado como uma transição entre os subtipos Am (monções) e Aw (savana), com a precipitação média anual variando entre 1750 – 2000 mm (NASCIMENTO et al., 2014). O relevo da ilha é ondulado, com elevações podendo atingir de 200-400 m nas regiões norte, central e oeste da Ilha. A porção leste, onde a grade de pesquisa do PPBio se encontra, o relevo é moderadamente plano, variando entre 80 e 160 m (BARBOSA, 2011; CARVALHO et al., 2018).

A vegetação do leste de Maracá é tipicamente ecotonal (Figura 2), onde predomina um grande mosaico entre florestas ombrófilas abertas e florestas estacionais (semidecíduais e decíduais), onde a espécie *Peltogyne gracilipes* Ducke (Fabaceae) é uma bioindicadora de sistemas decíduais que podem ser definidos como monodominantes (NASCIMENTO et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2017).

Figura 1 – A: ESEC Maracá, mostrando a localização da grade do PPBio na Ilha de Maracá; B: Grade do PPBio com a distribuição das trinta parcelas avaliadas contemplando os três tipos vegetacionais da grade; C: Tamanho de cada parcela da grade.



Fontes: Mapa principal - Script R produzido por R. O. PERDIZ. Figura das parcelas derivada de VILLACORTA (2017).

3.1.1 Unidade amostral

A grade do PPBio possui uma área de 25 km² (5 km x 5 km) organizado em seis linhas, dispostas no sentido norte-sul e seis leste-oeste (Figura 1). Nas linhas leste-oeste foram instaladas 129 parcelas permanentes (500 m² cada uma) dispersas a distâncias que variam de 150-200 m, formando um conjunto de unidades amostrais representativas e independentes das diferentes fitofisionomias florestais presentes na região do ecótono (savana-floresta) norte de Roraima (Figura 1 – B). Cada parcela está disposta no ambiente de forma a representar as variações topográficas, fitofisionômicas e edáficas, e possuem esse tamanho para melhor representar as variações ambientais (Figura 1- C).

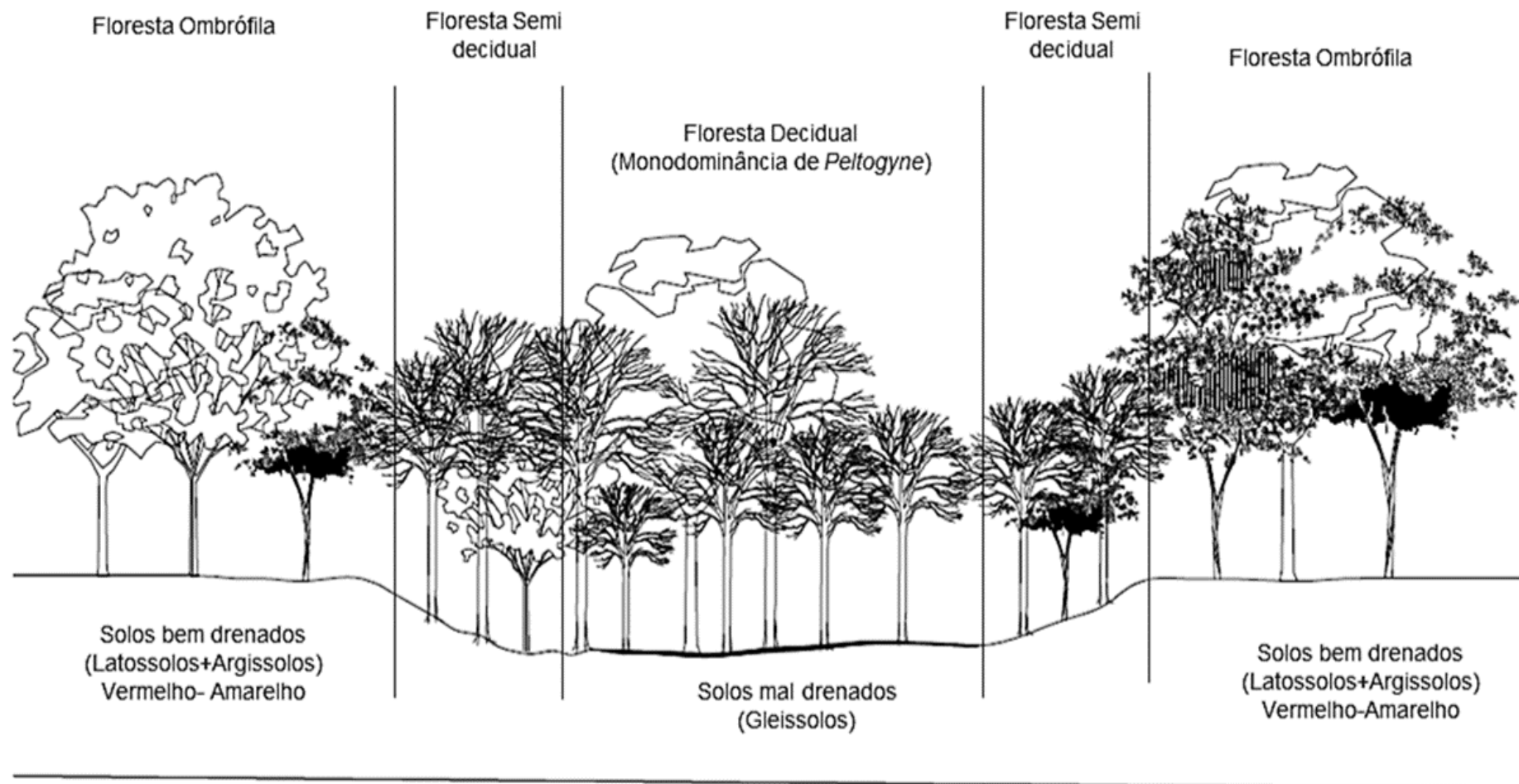
Essas parcelas foram estabelecidas entre 2015/2016 por Willamar Rodrigues Silva (Doutorado – PRONAT) e Carlos Darwin Ângulo Villacorta (Mestrado - PRONAT), e fazem parte do projeto “Crescimento e mortalidade de árvores em florestas ecotonais de Roraima: efeito das condicionantes ambientais e da variabilidade climática” cadastrado na agenda de pesquisa do INPA (INCT ServAmb) e aprovado pelo Edital 001/2016 do CNPq.

3.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL

Das 129 parcelas estabelecidas nas linhas leste-oeste, foram selecionadas aleatoriamente 10 parcelas em cada uma das fitofisionomias (Figura 1-B) florestais predominantes em Maracá seguindo o sistema de classificação da vegetação brasileira (IBGE, 2012), são elas: florestas ombrófilas, representando sistemas florestais bem drenados com a predominância de argissolos vermelho-amarelo; podendo também ser caracterizado pela ausência da espécie *Peltogyne gracilipes*. Florestas estacionais semi-decíduais, florestas bem drenadas com predomínio de argissolos vermelho sendo florestas pobres em *Peltogyne*, e as florestas estacionais decíduais, florestas mal drenadas com predomínio de gleissolos associados a argissolo amarelo as quais correspondem às e florestas ricas em *Peltogyne*, florestas decíduais monodominantes de Maracá (Figura 2). Em metade das parcelas foi instalado o TBI 1.0 e na metade restante, o TBI 2.0.

O experimento foi conduzido seguindo rigorosamente o recomendado por Keuskamp et al. (2013), com o intuito de obter o máximo de padronização requerido para comparar os dados com outras localidades.

Figura 2 - Classificação fitofisionômica aproximada dos principais tipos florestais presentes no leste da ESEC Maracá de acordo com o sistema de classificação da vegetação brasileira (IBGE, 2012): floresta ombrófila, estacional semidecidual e estacional decidual, conforme sugerido por Villacorta (2017).



3.2.1 Método TBI: seleção dos “tea bags”

O método de Keuskamp et al. (2013) utiliza dois distintos chás comerciais padronizados da marca Lipton (Figura 3 – A): “green tea” e “rooibos tea”. Atualmente existem dois tipos de material que formam as sacolinhas (bag) que envolvem o chá (tea) e que se encontram disponíveis no mercado (náilon versão 1.0 e polipropileno versão 2.0). Ambos possuem sacolinhas na forma tetraédrica, dimensões de 5 cm e malha de 0,25 mm. Os dois possuem o mesmo material vegetal em seu interior, mas com códigos numéricos (EAN) de produtos diferentes: (i) “green tea” 1.0 (EAN: 8722700055525) e 2.0 (8714100770542), é formado de folhas provenientes da espécie *Camellia sinensis*, composto por 89 % de chá verde e (ii) “rooibos tea” 1.0 (EAN: 8722700188438) e 2.0 (8722700188438), que é composto por tecidos do caule da espécie *Aspalathus linearis*, consistindo de 93 % de “rooibos tea”. A identificação numérica dos chás evita a utilização de outros tipos de chás, caso fossem utilizados não estariam de acordo com o método de Keuskamp et al. (2013).

O método “Tea Bag Index” (TBI) é utilizado na obtenção de dois parâmetros, a taxa de decomposição (k) e o fator de estabilização da liteira (S). Os autores do método recomendam a utilização de ambos os tipos de “tea bag”, contudo deixam claro a necessidade em especificar claramente qual “tea bag” (EAN) foi utilizado, devido às incertezas das variações que podem ocorrer em função do novo material.

3.2.2 Aplicação do TBI - protocolo padronizado

O protocolo de utilização para montagem do experimento foi desenvolvido por Keuskamp et al. (2013), facilitando a padronização e aplicação do método, que consiste em 9 etapas:

1. Escolha da marca dos saquinhos (Lipton) e do tipo de chá, “green” e “rooibos” (Figura 3 - A). Sendo recomendado a realização de replicatas para uma melhor estimativa dos parâmetros TBI.
2. Determinar o peso inicial do material vegetal (Figura 3 - A). Para isso, pesa-se os saquinhos de chá com o material vegetal, para posteriormente subtrair pelo peso do saquinho vazio.
3. Identificar os saquinhos com marcador preto no lado branco da etiqueta.

4. Enterrar os saquinhos a oito cm de profundidade em buracos separados mantendo as etiquetas visíveis acima do solo (Figura 3 - B), após esse procedimento marcar o local com um sinalizador para facilitar a localização do mesmo.
5. Anotar a data, posição geográfica, fitofisionomia, parcela e as condições experimentais do local.
6. Retirar os saquinhos após 60 dias de incubação, máximo de dias incubado para regiões tropicais (Figura 3 - C).
7. Realizar a limpeza externa dos saquinhos, retirando partículas do solo ou vegetais aderidas ao saquinho, após a limpeza, secar por 48 h a 70°C, não exceder essa temperatura (Figura 3 – D, E).
8. Remover o que sobrou da etiqueta deixando o barbante. Pesquisar os saquinhos e subtrair do peso do saquinho vazio sem a etiqueta para determinar o peso após a incubação. Para uma estimativa mais precisa, abrir o saco, pesar o conteúdo, submetê-lo à combustão a 550°C, pesar o que restou e subtrair do peso aferido inicialmente (Figura 3 - F).
9. Calcular o fator de estabilização (S) e a taxa de decomposição (k) utilizando a equação abaixo:

$$W(t) = ae^{-kt} + (1 - a) \quad \text{equação 1}$$

Onde:

$W(t)$ corresponde ao peso do substrato após a incubação no tempo t;

a corresponde aos compostos lábeis;

$1 - a$ corresponde a fração recalcitrante da liteira;

k_1 corresponde a taxa de decomposição dos compostos lábeis;

Figura 3 - Procedimentos metodológicos para a implantação do método TBI.



Legenda: A - pesagem e identificação dos “tea bag”, B – “tea bag” enterrados, C “tea bag” desenterrados, D - triagem dos saquinhos, E - secagem dos “tea bag” e F - Pesagem dos “tea bag” após coleta e secagem

Todos os passos do protocolo foram seguidos neste trabalho, com uma modificação no sexto passo, em vez de 60 dias de incubação, os saquinhos foram incubados por 14, 35 e 50 dias. A cada término de um período de incubação foram retirados dois saquinhos para a realização das medições do TBI, em função disso, três “green tea” e três “rooibos tea” foram utilizados em cada uma das 30 parcelas, com cada tempo de incubação utilizando-se de uma réplica, o que totalizou 12 “tea bag” por parcela (360 “tea bag” em todo o experimento).

Os “tea bags” foram incubados ao final do período chuvoso e início do período seco de 2017 (setembro/outubro). Esse período foi considerado o de maior atividade biológica ao longo do ano, pois apresenta solo ainda úmido e a presença de luz solar mais constante (cf. BARBOSA et al., 2012), produzindo um ambiente propício ao desenvolvimento de microrganismos

decompositores da liteira fina. O padrão de decaimento foi determinado a partir da perda da massa nesses três momentos de incubação.

3.2.3 Variáveis ambientais por fitofisionomia

As variáveis edáficas utilizadas no estudo (Anexo A) foram derivadas de coletas de solo anteriormente realizadas por Williamar Rodrigues Silva (Doutorando – PRONAT) e Carlos Darwin Angulo Villacorta (Mestrando - PRONAT) em todas as parcelas. As amostras foram secas ao ar, peneiradas e enviadas para análise (química e física) em laboratório tomando como base o Manual da Embrapa (EMBRAPA, 2009).

A altitude foi fornecida pelo conjunto de metadados disponibilizado diretamente no site do PPBio (<https://ppbio.inpa.gov.br/>). A abertura do dossel foi determinada por tecnologia Android adotando o App GLAMMA (Gal Light Analysis Mobile App), que indicou a porcentagem (%) da abertura do dossel como a média de dois pontos tomados de forma equidistante dentro de cada parcela (TICHY, 2014-2015). Essa variável foi determinada por Lidiany Camila da Silva Carvalho (University of Exeter), Reinaldo Imbrozio Barbosa (INPA) e Carlos Darwin Angulo Villacorta (PRONAT).

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

3.4.1 Controle de qualidade na obtenção dos dados

Foram adotadas três medidas controle, para evitar o comprometimento nas análises dos índices TBI, sendo descartados os *tea bags* que não atendiam aos seguintes critérios: (i) integridade do *tea bag*, se furado ou rasgado a ponto de perder o material vegetal; (ii) presença de partículas de solo ou raízes e (iii) quando a fração decomponível (a_g) for maior que a fração hidrolisável (H_g) causando um resultado negativo.

3.4.2 Determinação das taxas de estabilização e decomposição do litter fino

Com o valor do quanto foi perdido de material vegetal e do tempo utilizado, foi possível utilizar as fórmulas apresentadas por Keuskamp et al. (2013). A decomposição foi calculada

utilizando a equação 1:

$$W(t) = ae^{-kt} + (1 - a) \quad \text{equação 2}$$

Onde:

$W(t)$ corresponde ao peso do substrato após a incubação no tempo t ;

a corresponde aos compostos lábeis;

$1 - a$ corresponde a fração recalcitrante da liteira;

k corresponde a taxa de decomposição dos compostos lábeis;

e corresponde ao logaritmo natural.

O fator de estabilização foi calculado pela equação 2:

$$S = 1 - \frac{a_g}{H_g} \quad \text{equação 3}$$

Onde:

a_g corresponde a fração decomponível do “green tea”;

H_g corresponde a fração hidrolisável do “green tea”.

A fração decomponível do “rooibos tea” (a_r) é calculada a partir da fração hidrolisada do “rooibos tea” (H_r) e o fator de estabilização, de acordo com a quarta equação:

$$a_r = H_r(1 - S) \quad \text{equação 4}$$

Onde:

a_r corresponde a fração decomponível do “rooibos”;

H_r corresponde a fração hidrolisável do “rooibos”.

Com $W_r(t)$ e a_r conhecidos, k é calculado usando a equação exponencial de decaimento, equação 1.

3.4.3 Análises dos dados

Análises estatísticas uni e multivariadas foram conduzidas para verificar as variações entre os índices e entre os distintos “tea bag”, qual a melhor relação para determinar o

decaimento dos índices e da massa e quanto cada variável independente influencia separadamente nos índices TBI analisados.

As variações e comparações entre os dois tipos de “tea bag” utilizados foram feitas utilizando teste t. Para todas as análises foram realizados primeiramente testes de normalidade para a certificação da correta utilização das análises estatísticas. Para determinar as variações existentes entre os índices derivados do TBI foram realizadas Análises de Variância (ANOVA) de fator único sem repetição.

A modelagem do padrão de decaimento da massa (“green” e “rooibos”) e dos índices derivados do método TBI foram relacionadas com o tempo (variável independente), utilizando regressão exponencial simples. Foram realizadas também ANOVA de fator único para determinar a existência de variações entre os índices e as massas (“green” e “rooibos”) ao longo dos três períodos temporais, com a diferença verificada, o teste t foi aplicado para determinar quais são mais semelhantes ou não. A relação entre as taxas de decomposição e estabilização foram realizadas a partir de gráficos de dispersão de pontos.

Para determinar qual condicionante exerce maior influência, foram realizadas regressões lineares simples entre os índices e as condicionantes abertura de dossel e altitude. Para os dados edáficos, foi primeiramente realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA), aplicada com o intuito de reduzir o número de eixos (variáveis independentes relacionadas ao conjunto de dados edáficos), para posterior aplicação de regressão linear simples entre o eixo mais significativo da PCA (eixo I ou II) com as variáveis dependentes analisadas (taxas de decomposição e estabilização).

Todas as análises estatísticas foram conduzidas no software R versão 3.5.0 e os gráficos construídos no Excel.

4 RESULTADOS

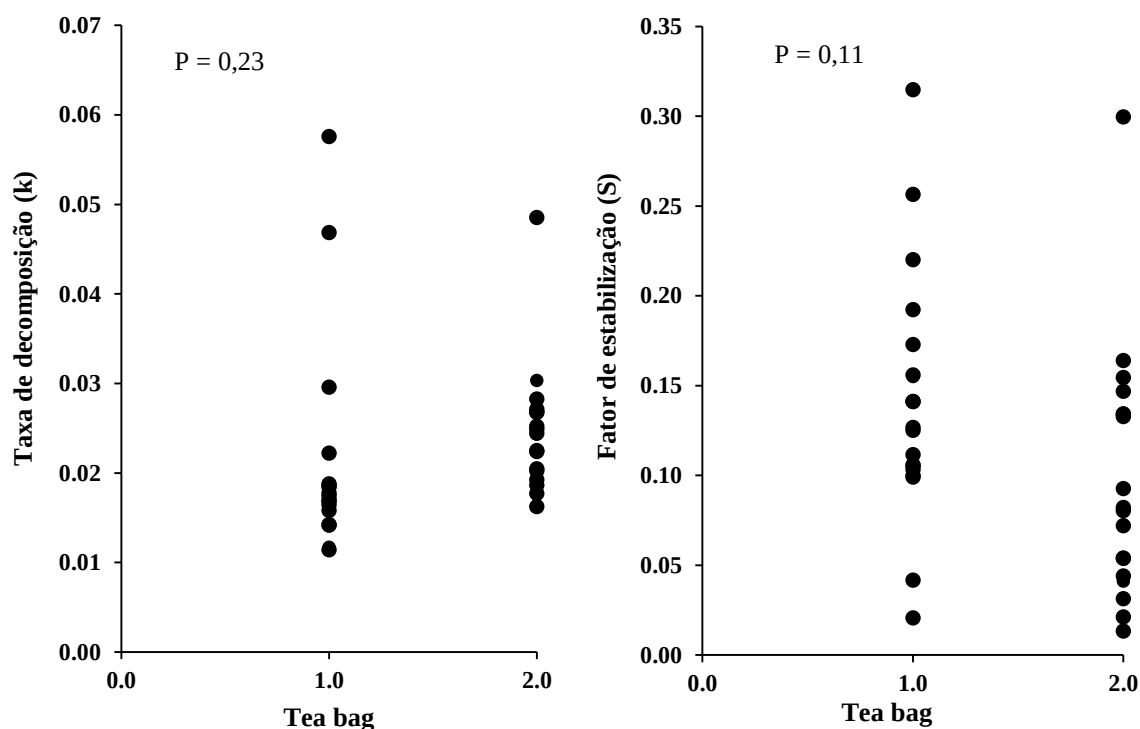
4.1 CONTROLE DE QUALIDADE NA OBTENÇÃO DOS DADOS

Do total de 360 “tea bags” utilizados no experimento, foram eliminados 31 das florestas ombrófilas, 18 das decíduas e 18 das semidecíduais por: (i) por apresentarem sérias avarias em sua integridade, com perdas de material vegetal, o que poderia comprometer a análise dos índices, (ii) entrada de partículas de solo no “tea bag”, aumentando a massa dos saquinhos e impossibilitando o correto cálculo dos índices e, (iii) em casos onde os cálculos dos índices foram incompatíveis - por exemplo, no caso do fator de estabilização, quando a a_g (fração decomponível) é maior que H_g (fração hidrolisável) na fórmula: $S = 1 - a_g/H_g$, produz-se um resultado negativo, o que é incompatível e, no caso da taxa de decomposição, alguns “tea bag” não produziram resultados por apresentarem o logaritmo negativo $W(t) = ae^{-kt} + (1 - a)$, quebrando uma das condições para o cálculo de uma equação logarítmica. Essas incompatibilidades descritas no item (iii) devem ter sido provocadas por elementos estranhos (quebra da integridade ou aumento da massa) ao “tea bag” e que não foram detectados anteriormente dentro dos itens (i) e (ii).

4.2 DISTINÇÕES ENTRE OS “TEA BAG” (1.0 VS. 2.0)

Não foi detectada significância entre os dois tipos de “tea bags” (1.0 e 2.0) tanto para a decomposição - k (Teste t , $p = 0,23$) quanto para a estabilização - S (Teste t , $p = 0,11$), indicando que, dentro da atual amostragem e observadas as condições ambientais da área de estudo as taxas dos dois tipos de “tea bags” podem ser analisadas conjuntamente (Figura 4).

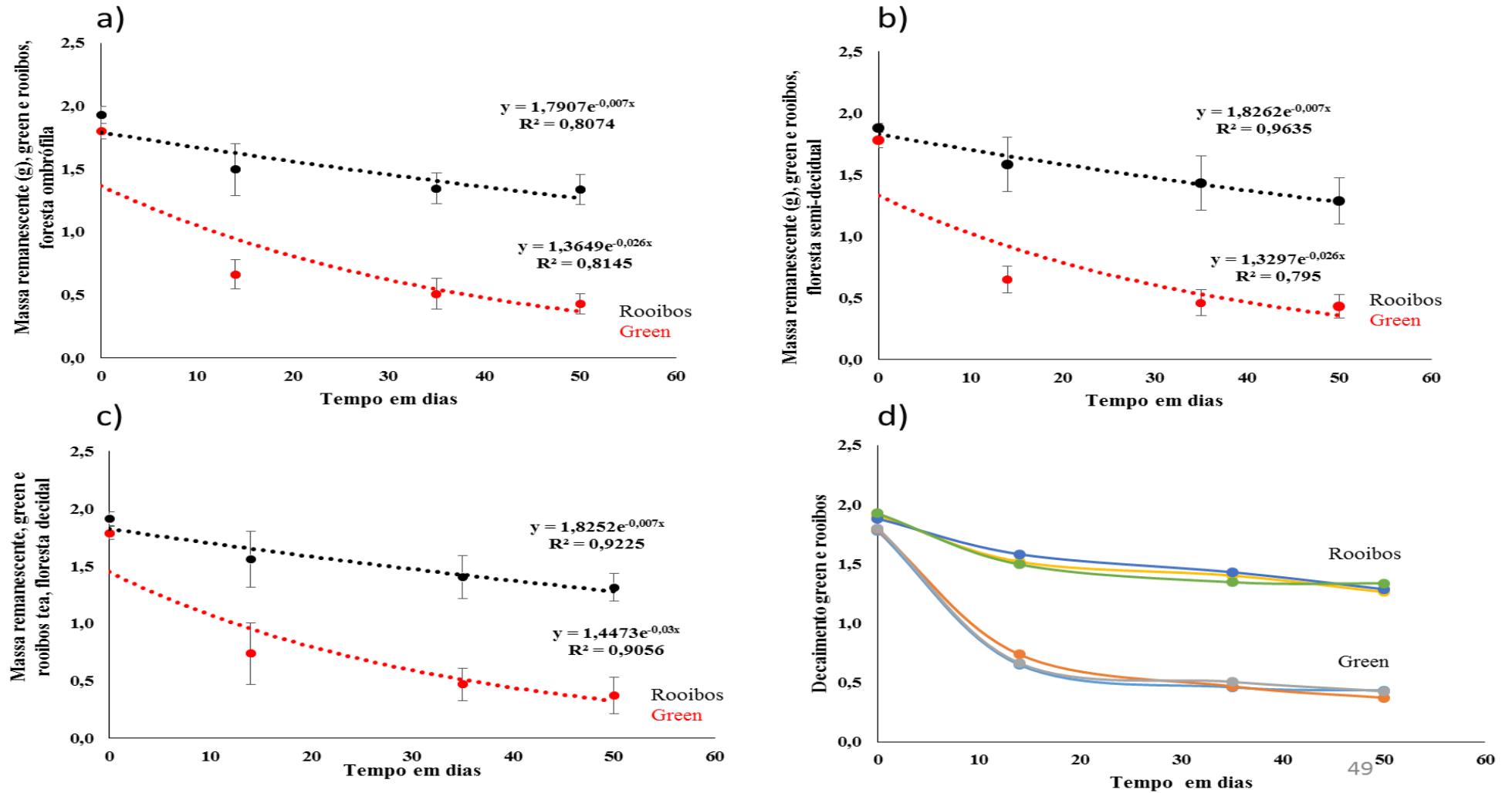
Figura 4 – Dispersão do fator de estabilização (S) e taxa de decomposição (k) nos dois “tea bag” (1.0 e 2.0) tomando como base o 50º dia das três fitofisionomias avaliadas.



4.3 PADRÃO DE DECAIMENTO DA MASSA E DOS ÍNDICES TBI

A modelagem seguiu o padrão exponencial de decaimento da massa esperado para o “green” e “rooibos tea”, independentemente do tipo florestal analisado. De forma geral, o “green tea” decompõe mais rapidamente em comparação ao “rooibos”, sendo esse decaimento mais acentuado nos primeiros 14 dias, evidenciando uma rápida perda de massa nessa primeira fase para os três tipos florestais (Figura 5).

Figura 5 – Modelo de decaimento exponencial da massa do “green” e “rooibos” teas ao longo do tempo, evidenciando a maior e mais rápida perda de massa do “green” em relação ao “rooibos” em todas as fitofisionomias avaliadas: (a) ombrófila, (b) semidecidual, (c) decidual, (d) decaimento do “green” e “rooibos” nas três fitofisionomias. As barras de erro representam o desvio padrão.

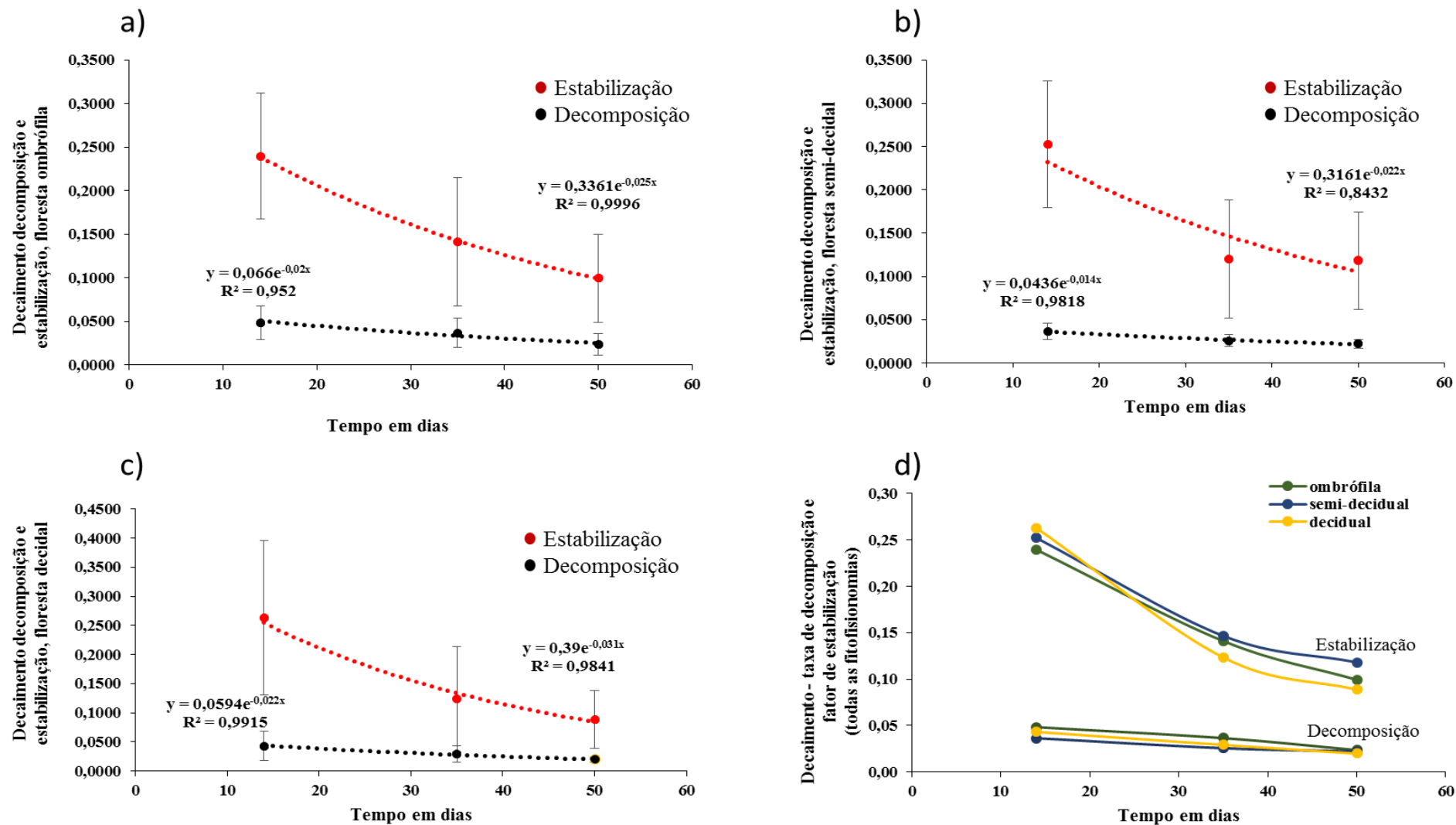


Foi verificado que os valores das massas do “green” ao longo do tempo (14, 35 e 50) diferem significativamente (ANOVA, $p = 1,6 \times 10^{-16}$). O teste de Tukey indicou que há diferenças significativas entre o 14° e 50° ($p = 2,6 \times 10^{-14}$) e entre 14° e 35° ($p = 2,7 \times 10^{-9}$), ao passo que entre 35° e 50° ($p = 0,07$) a diferença não é significativa. Em se tratando da massa perdida para o “green tea”, 62% da massa havia sido decomposta no 14° dia, seguida por 74% no 35° e por 77% no 50°. Para o “rooibos tea”, também foi verificado um valor significativo com a ANOVA, $P = 8,7 \times 10^{-5}$. O teste de Tukey para o “rooibos” indicou que há diferenças significativas entre o 14° e 50° ($p = 1,2 \times 10^{-8}$) e entre 14° e 35° ($p = 0,0001$), ao passo que entre 35° e 50° ($p = 0,07$) a diferença não é significativa. Quanto a massa perdida, no 14° dia haviam sido decompostas 21% da massa do “rooibos”, seguido por 28% no 35° e 33% no 50° dia.

As taxas de decomposição apresentaram um padrão de decaimento inverso ao esperado. Os maiores valores foram observados quando transcorrido 14 dias e os menores no quinquagésimo. O fator de estabilização, interpretado como a inibição da decomposição dos compostos lábeis por fatores ambientais, seguiu o mesmo padrão de decaimento, apresentando os maiores valores no primeiro momento da análise e decaindo com o passar do tempo. Esse padrão foi observado em todas as fitofisionomias avaliadas (Figura 6). A taxa de decomposição teve uma amplitude de valores entre 0,0117 a 0,0468 (50° dia), e o fator de estabilização entre 0,0133 a 0,1924 (50° dia), considerando as fitofisionomias em conjunto.

A maior taxa de decomposição (50° dia) foi observada na floresta ombrófila, seguida da semidecidual e decidual. O fator de estabilização apresentou o menor valor na floresta decidual, o maior na floresta semidecidual e o intermediário na floresta ombrófila. Esse padrão temporal encontrado nos índices TBI, mostrou apenas o decaimento ao longo do tempo, não deixando claro nenhuma relação entre eles. Com relação a variação dos índices dentro de cada fitofisionomia ao longo do tempo, a ANOVA realizada em todos os tipos florestais, demonstrou que os valores diferem ao longo do tempo (14, 35 e 50).

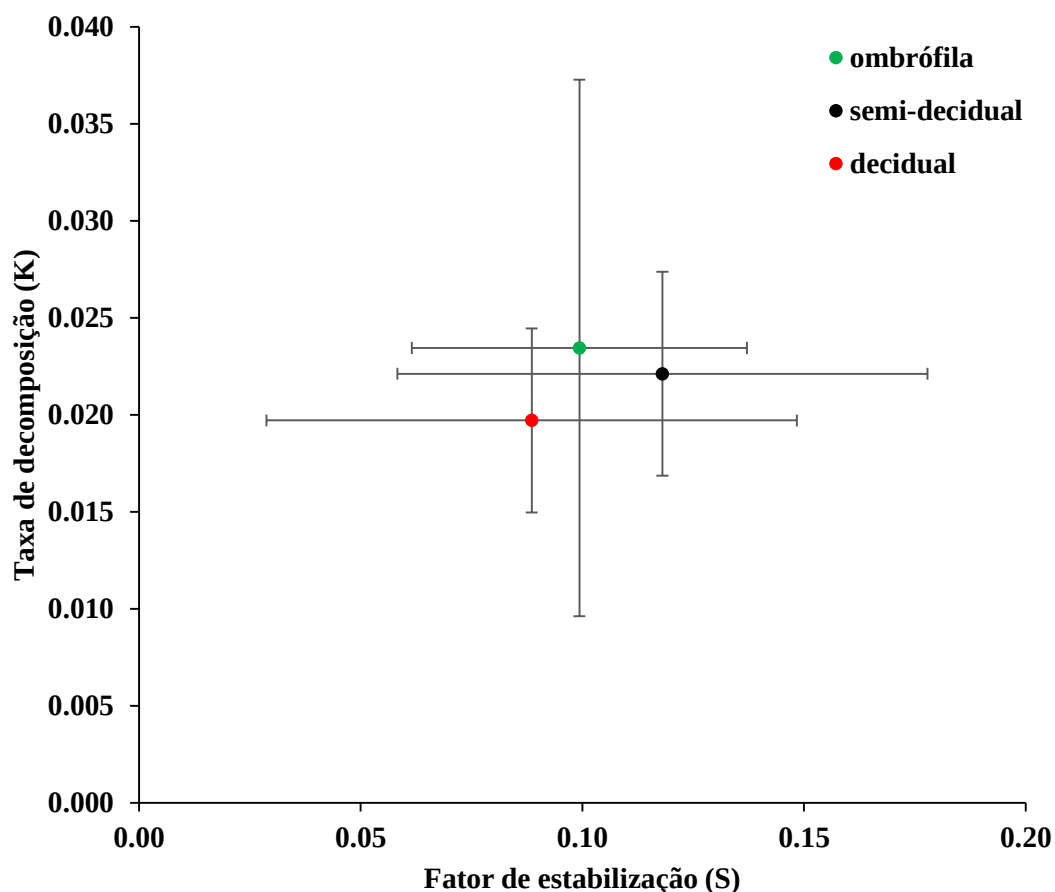
Figura 6 – Modelo de decaimento exponencial das taxas de decomposição e estabilização ao longo do tempo, os gráficos mostram valores maiores dos índices nos primeiros dias de experimento para as três fitofisionomias, floresta ombrófila (a), semidecidual (b), decidual (c) e dados compilados, decomposição e estabilização. As barras de erros representam o desvio padrão.



4.4 TAXA DE DECOMPOSIÇÃO VS. FATOR DE ESTABILIZAÇÃO

A dispersão dos pontos no gráfico não demonstrou qualquer relação entre as taxas de decomposição e os fatores de estabilização (Figura 7). As médias da decomposição na floresta ombrófila, semidecidual e decidual foram, respectivamente de $0,0235 \pm 0,1422$ (média $\pm$ DP), $0,0221 \pm 0,0052$ e $0,0197 \pm 0,0047$. Para a estabilização foram, respectivamente, de $0,0993 \pm 0,0377$, $0,1180 \pm 0,0583$ e $0,0886 \pm 0,0597$.

Figura 7 – Dispersão dos índices TBI entre as fitofisionomias avaliadas, mostrando o poder discriminador do TBI em diferenciar os valores dentro e entre cada fitofisionomia. Barras de erro na figura indicam o desvio padrão.



Embora tenha sido observado um padrão semelhante de decaimento quando comparados os índices (k e S), ao plotar as taxas de decomposição aos respectivos valores de estabilização (mesma parcela), não é formado um padrão informativo que possa ser extraída alguma relação. Isso reflete a complexidade do ambiente e dos modelos matemáticos utilizados.

A análise de variância realizada entre as três fitofisionomias com a taxa de decomposição e fator de estabilização, apenas no quinquagésimo dia, demonstrou que não existe variação entre as taxas de decomposição e fatores de estabilização k ($P = 0,69$) e S ($P = 0,52$), ou seja, os índices TBI não diferem significativamente entre as fitofisionomias analisadas, indicando que as variações ambientais existentes em Maracá não estão exercendo efeito suficientemente forte, que permita captar uma diferença significativa entre os índices nessas fitofisionomias, ao menos com a forma e método empregado.

4.5 TAXAS DE DECOMPOSIÇÃO E FATORES DE ESTABILIZAÇÃO VS. CONDICIONANTES AMBIENTAIS

Para a floresta ombrófila, a variável ambiental que exerceu maior influência nas taxas de decomposição foi o solo ($R^2 = 0,24$). A abertura de dossel e altitude não apresentaram valor significativo. Na floresta semidecidual, apenas a altitude apresentou significância com a taxa de decomposição ($R^2 = 0,81$). A decomposição na floresta decidual foi correlacionada apenas com as características gerais do solo ($R^2 = 0,40$) (Figura 8).

O fator de estabilização apresentou significância apenas com o solo, para todos os tipos florestais (Figura 9). Os resultados das regressões para a decomposição nas florestas ombrófilas e semidecíduais, mostraram uma correlação positiva, ou seja, quanto maior os valores das condicionantes maiores as taxas de decomposição. Isso também pode ser observado para o fator de estabilização tanto para ombrófila quanto para decidual. Para a floresta decidual a relação foi oposta, quanto maior o valor das condicionantes menor as taxas de estabilização para ambos os índices.

Figura 8 – Padrão relacional entre taxas de decomposição e as condicionantes ambientais (a), decomposição e solo na ombrófila (b), decomposição e altitude na semidecidual e (c) floresta decidual. Os pontos representam o total de parcelas distribuídas entre as três fitofisionomias avaliadas em que foi possível obter dados sobre as taxas de decomposição.

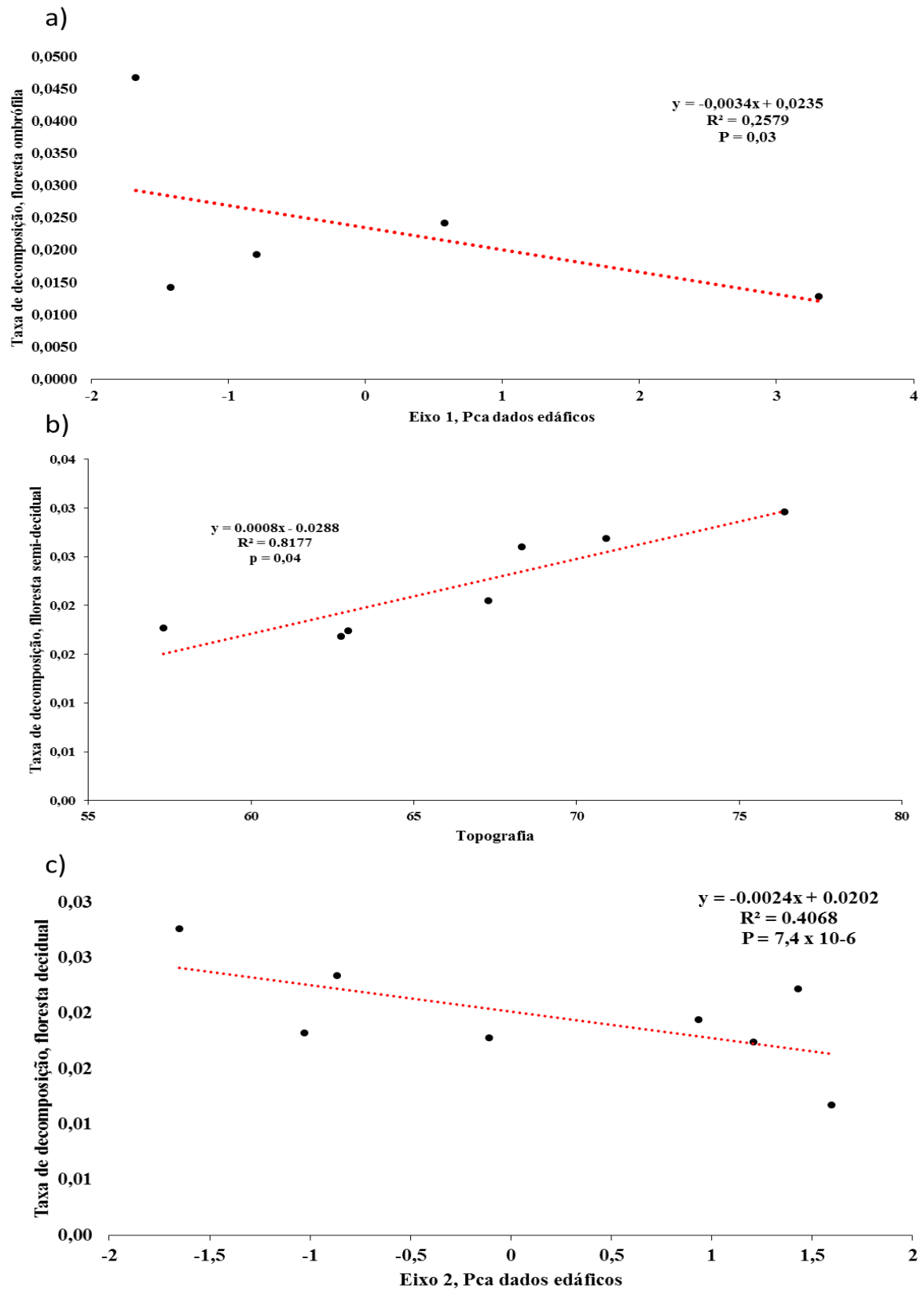
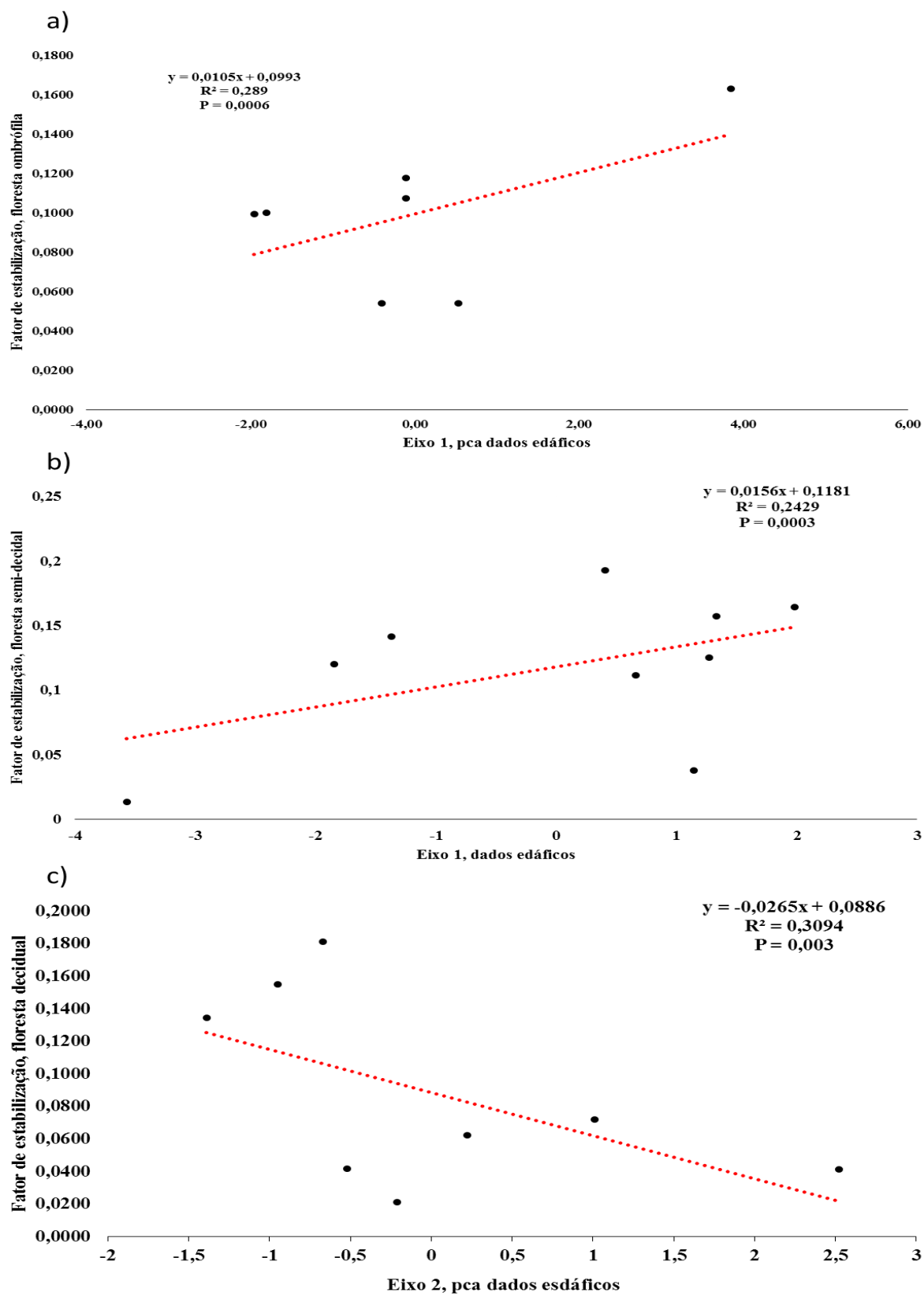


Figura 9 – Padrão relacional entre o fator de estabilização e solo (a), floresta ombrófila, (b) floresta semidecidual, e (c) floresta decidual edáficos. Os pontos representam o total de parcelas distribuídas entre as três fitofisionomias avaliadas em que foi possível obter dados sobre os fatores de estabilização.



5 DISCUSSÃO

5.1 DISTINÇÕES ENTRE OS “TEA BAG” (1.0 VS. 2.0)

Nenhum trabalho foi publicado comparando os dois “tea bag” disponíveis para a determinação dos índices derivados do TBI. Até o momento, existe apenas uma recomendação por parte dos autores (KEUSKAMP, et al. 2013), que sugerem para especificar qual tipo de “tea bag” foi utilizado, devido a inexistência de estudos a respeito. Nesta pesquisa, a análise estatística não verificou a existência de variação entre os distintos “tea bag”, tanto para a decomposição como para a estabilização e, portanto, esse resultado em Maracá indica que os dois tipos de “tea bag” não remetem a distinções significativas e podem ser adotados de forma conjunta em estudos dessa natureza.

5.2 PADRÃO DE DECAIMENTO DA MASSA E DOS ÍNDICES TBI

Os padrões de perda da massa demonstraram um rápido decaimento, com mais da metade da massa do “green tea” (62%) já tendo sido decomposta (material menos recalcitrante, maior concentração de celulose) até o 14º dia. Essa rápida degradação do material vegetal era esperada para uma região de clima tropical, que possui temperatura e umidade elevadas. Por exemplo, Alsafran, Sarneel e Alatalo (2017) também realizaram o decaimento da massa (TBI 1.0, 82 dias de experimento, 46 “tea bags” utilizados) em um ambiente extremamente seco (precipitação média mensal de 78,1 mm) e temperaturas variando de 15 a 45°C. Nesse caso, os autores indicaram que a umidade ambiental foi a principal condicionante na regulação da variação das taxas de decomposição e fatores de estabilização. Em Maracá, devido a variação espacial da amostragem, a umidade do solo pode ter exercido um efeito nos índices, visto que as parcelas relativas às florestas decíduais estavam assentadas em ambientes de baixa altitude, onde a concentração de umidade do solo é mais prolongada.

Keuskamp et al. (2013) realizaram a mesma relação, e nesse caso, o experimento foi realizado em laboratório com temperatura e umidade controlados, utilizando solos arenosos de florestas temperadas. As evidências dos autores deixam claro a importância da temperatura e umidade para o processo de decomposição. Em outro caso, Enoki e Drake (2017) indicaram que as condicionantes exerceram distintas influências dentro dos próprios ambientes analisados. Os autores buscaram investigar os efeitos da invasão de *Psidium cattleianum* no solo e nas taxas

de decomposição e fatores de estabilização (utilizando o TBI 1.0) em florestas do Hawai'i, estudando 10 sítios (dois "green/"rooibos" tea por sítio), os quais possuem uma precipitação anual e topográfica variando entre 1188 e 3953 mm, e 240 e 551 m, respectivamente. Os referidos autores também realizaram análise de solo, densidade da madeira e cobertura de copa, com os "tea bags" sendo mantidos no solo por 90 dias. Enoki e Drake (2017) realizaram análises de regressão linear para avaliar a relação existente entre os índices do TBI e variáveis do solo (quantidade de água e massa acumulada na liteira, quantidade de água e pH da superfície do solo). Os autores encontraram as maiores taxas de decomposição (k) e fatores de estabilização (S) nas regiões invadidas por *P. cattleianum*. Para a k , as áreas nativas apresentaram relação com a precipitação, o que não ocorreu nas áreas invadidas por *P. cattleianum*. A estabilização decaiu com a precipitação em ambas as áreas. A variação da k não pôde ser explicada pelos fatores ambientais, mas sim pelas espécies de plantas. A variação da S foi explicada pelo conteúdo de água da liteira e do solo. Nesse caso em particular, a influência da umidade e das espécies presentes foi decisiva no entendimento das variações e relações significativas encontradas pelos autores, enfatizando a importância da umidade e da composição das espécies de planta nesses processos.

Keuskamp et al. (2013) determinaram que a relação "massa e tempo" é melhor explicada quando se utiliza um modelo exponencial, e que esse modelo parece ser o que melhor se adequa a relação da decomposição com o tempo. Isso porque, a decomposição, mesmo sendo afetada por diversos fatores ambientais, não é constante ao longo do tempo, sendo impulsionada principalmente nos primeiros estágios de tempo, e quase se estabilizando nos períodos finais. Os resultados obtidos em Maracá corroboram com os achados obtidos pelos autores supracitados, indicando que o padrão de decaimento das taxas de decomposição e dos fatores de estabilização (independentemente do tipo florestal avaliado) são tipicamente exponenciais. Sugere-se que outras investigações derivadas de ecossistemas tropicais diversos aos do estudo em tela observem o padrão de decaimento, pois esses modelos são indicativos da velocidade com que o material orgânico é decomposto, o que, infelizmente, não vem sendo adotado nos trabalhos publicados com o TBI, pois os mesmos apresentam apenas os dados do último dia do experimento.

5.3 TAXA DE DECOMPOSIÇÃO VS. FATOR DE ESTABILIZAÇÃO

Nenhuma relação de distinção foi encontrada entre k (decomposição) e S (estabilização)

dos diferentes tipos florestais, com os distintos erros padrão de S e k das fitofisionomias estudadas ocupando praticamente os mesmos espaços estatísticos (Figura 7). As médias indicam ser espacialmente próximas, bem como a variação apresentada pelas barras de erros, indicando que a decomposição nos três conjuntos florestais pode ser admitida como similar. Essa percepção corrobora com a ANOVA realizada entre os índices no 50º dia. O padrão dos valores dos índices decaiu ao longo do tempo, sendo observado uma relação proporcional e exponencial: quanto maior a estabilização maior as taxas de decomposição. Entretanto, quando as taxas de decomposição são relacionadas com seus respectivos fatores de estabilização, esse padrão desaparece. Keuskamp et al. (2013) também plotaram os índices da mesma forma, não mostrando nenhuma correspondência, o gráfico estabelecido por esses autores informa apenas a dispersão dos pontos, facilitando a visualização da diferença entre as taxas nos distintos ambientes globais. Da mesma forma, nenhum trabalho que tenha utilizado o TBI além do Keuskamp et al. (2013) analisou essa relação.

5.4 TAXAS DE DECOMPOSIÇÃO E FATORES DE ESTABILIZAÇÃO VS. CONDICIONANTES AMBIENTAIS

Os resultados de Maracá indicaram relação significativa entre as taxas de decomposição com altitude e solo (fatores edáficos), e do fator de estabilização apenas com o solo. Essas relações entre os índices e suas condicionantes são complexas e dependem muito das particularidades de cada ambiente. Como consequência, determinar a condicionante ambiental, ou grupo de condicionantes que exercem maior efeito sobre as taxas de decomposição e fatores de estabilização requer uma análise detalhada e específica de cada localidade e um método robusto. Dessa forma, dependendo do tipo florestal analisado em Maracá, as taxas de decomposição e fatores de estabilização podem responder de forma igualitária ou diferenciada em função das particularidades ambientais que cada formação possui. Por exemplo, a temperatura poderia ter assumido uma posição de destaque como determinante ambiental, como sugerido por Prescott (2010), contudo, devido à mesma posição macrogeográfica dos ecossistemas testados, essa variável não foi testada em Maracá. Diversos estudos exemplificam essa complexidade existente nos ambientes naturais. Por exemplo, no estudo de Wang, Otgonsuren e Godbold (2017) não foram encontradas diferenças entre as taxas de decomposição nas fitofisionomias avaliadas, não relacionando seus resultados a nenhuma condicionante estudada (TBI 1.0). Já no estudo de Fujii et al. (2017), foram encontradas relações significativas entre as taxas de decomposição vs. características do solo e entre a decomposição vs.

diversidade de microrganismos (TBI 1.0). Whigham et al. (2017), em seu experimento de decomposição mostraram diferenças significativa nas taxas de decomposição entre os dois ambientes analisados (TBI 1.0), da mesma forma que Iepema, Domhof, Van Eekeren (2015) entre taxas de decomposição e localidades através do uso do TBI 1.0.

No caso de Maracá, o TBI conseguiu capturar as relações ambientais (dentre as testadas). Contudo, diversas outras condicionantes podem estar atuando em Maracá, como o fenômeno El Niño e La Niña, podendo as condicionantes ambientais exercerem distintas influências dentro dos próprios ambientes analisados, como exemplificado no caso de Enoki e Drake (2017). Maracá também possui uma elevada complexidade ecológica, e levar em consideração essa complexidade é fundamental para compreender como as taxas de decomposição e fatores de estabilização se comportam nesse ambiente ecotonal. Uma condicionante importante a ser testada no futuro é a determinação da produção e composição da liteira como ponte de auxílio na compreensão do ambiente, como enfatizado por Makita, Kawamura e Osawa (2015). Em Maracá, mesmo utilizando o TBI, a composição da liteira pode ter influenciado nos índices analisados porque o padrão químico de folhas verdes/secas de diferentes tipos vegetacionais determina diferentes características nutricionais do solo e possíveis distintos efeitos (diretos e indiretos) sobre as taxas de decomposição, conforme também indicado por Miatto e Batalha (2016).

Por outro lado, os mesmos autores supracitados não encontraram uma relação direta entre o solo e a taxa de decomposição quando adotado o método TBI 1.0 na determinação das taxas de decomposição no Parque Estadual Vaçununga (área de Cerrado em São Paulo, altitude variando entre 590 – 740 m, precipitação anual em torno de 1500 mm e temperatura média anual de 21.4°C). Nesse caso, os autores indicaram que o solo contribuiu apenas indiretamente através da concentração dos nutrientes nas folhas verdes e senescentes ($R^2 = 0,14$). As taxas de decomposição variaram de 0,003 a 0,045, valores também enquadrados dentro dos encontrados em Maracá. Porém, os autores encontraram uma maior variação nas taxas de decomposição no cerrado, e forneceram possíveis explicações ambientais, como a baixa quantidade de nutrientes e a maior tenacidade das folhas que tenderiam a favorecer a diversidade de microrganismos atuantes e, conseqüentemente, aumentar a capacidade de degradação da liteira por parte desses microrganismos em ambientes mais restritivos. Outro ponto levantado pelos autores foi a elevada variação na abertura de copa e no sub-bosque, o que provavelmente leva a uma maior diversificação no ambiente. Contudo, em Maracá a maior variação na abertura de copa foi encontrada nas florestas semidecíduais e decíduais, mas não foi determinante para gerar um efeito conclusivo sobre as taxas de decomposição. Esses resultados corroboram com os estudos

realizados por Luizão et al. (1998) em Maracá, indicando que tamanho da abertura do dossel não possui qualquer efeito sobre as taxas de decomposição de liteira fina.

Villela e Proctor (1999) testaram em Maracá a hipótese que a dominância de *Peltogyne gracilipes* está associada com a produção diferenciada da liteira fina e concentração e translocação de nutrientes. No estudo, foram utilizadas as três fitofisionomias florestais existentes em Maracá. A produção anual da liteira foi similar entre as três fitofisionomias, decidual (7,9 t/ha – definida como área de grande concentração de *Peltogyne*), semidecidual (9,1 t/ha – área com pouco *Peltogyne*) e ombrófila (8,6 t/ha – área sem *Peltogyne*). Foi observada uma diferença sazonal na produção de liteira nas fitofisionomias, em função da decidualidade de *Peltogyne*, e com elevada concentração de cálcio e magnésio quando comparado com as demais fitofisionomias florestais. Zang et al. (2008) encontraram relação significativa entre o magnésio e cálcio sobre a decomposição (Litterbag; $R^2 = 0,32$ e $R^2 = 0,26$, respectivamente). Provavelmente, esses elementos podem estar contribuindo no aumento das taxas de decomposição nesses ambientes dominados por *Peltogyne* (tipicamente deciduais e semideciduais), o que poderia explicar semelhanças entre as taxas de decomposição das três fitofisionomias estudadas.

Villacorta (2017) demonstrou que os mesmos tipos florestais investigados por Villela e Proctor (1999) e Nascimento e Proctor (1997) podem estar associados a outros fatores, como por exemplo, a drenagem. Desta forma, a altitude teria um papel de destaque na diferenciação das fitofisionomias florestais, pois refletiria habitats com distintas restrições hidro-edáficas, onde ambientes mais restritos (e.g. > acidez, > toxidez, > período de anoxia) representariam florestas tipicamente estacionais (> abertura do dossel), enquanto habitats com menores restrições estariam inseridas em regiões topográficas mais elevadas e condicionariam florestas ombrófilas. Essa recente interpretação aplica-se para Maracá, levando em consideração a variação altimétrica de 140 metros. Esse entendimento corrobora com os resultados encontrados nesta pesquisa com relação a condicionante altitude para a floresta semidecidual, que exerceu influência sobre as taxas de decomposição. Entretanto, a variação altimétrica não está representando uma influência suficientemente significativa que possa diferenciar os índices TBI. Essa resposta indica que em ambientes tipificados como sazonalmente alagados (e.g. florestas deciduais) os índices não tendem a ser menores em relação a ambientes livres de alagamento (floresta semidecidual) não sendo possível distinguir as três fitofisionomias com respeito aos índices analisados em Maracá. A diferença altimétrica conduz a uma gama de particularidades, como drenagem (saturação ou não por água). Se a variação altimétrica for de altas altitudes, pode haver diferença significativa na temperatura (e.g. frio extremo, que não

ocorre em Maracá) ou outros fatores que hajam positiva ou negativamente com o aumento (ou declínio) da altitude. Nesse sentido, o método empregado (TBI) indica ter sido robusto em Maracá (significativo para altitude), da mesma forma como no caso de Sarneel e Venn (2017), que analisaram a influência da elevação sazonal do nível da água em campos de turfa sobre as taxas de decomposição (TBI 1.0). Os autores verificaram que mudanças no nível da água afetam a taxa de decomposição, e que esse efeito reforça a assertiva de Zanchi et al. (2011) indicando que a drenagem de solos na região central da Amazônia afeta a decomposição (menor taxa em solos submetidos a saturação por água), tendo uma ação direta na variação no carbono do solo, nitrogênio, CTC (Capacidade de Troca Catiônica) e mesmo na composição química da água do solo.

Segundo Parton et al. (2007) o clima e a qualidade da liteira podem explicar entre 60 e 70% as taxas globais de decomposição. Como o TBI é um método padronizado, a variação das taxas de decomposição fruto da composição do material vegetal é eliminada. Embora o clima da área de estudo (Maracá) seja o mesmo (tropical úmido) para os três tipos analisados, ele ocorre em uma zona sub-climática de transição Aw - Af, o que pode gerar diferenças ecológicas nas fitofisionomias existentes, como detectado em estudos anteriores. Além desse fato, as próprias características dos tipos florestais podem variar em função de sua estrutura e composição de espécies de plantas (LUIZÃO; RODRIGUES 2015), podendo atuar nos índices TBI.

Evidências da maior degradação dos tea bags nas florestas ombrófilas, não envolvendo apenas os microrganismos (micro e mesofauna) foi a quantidade de “tea bags” inutilizados. Do total de 120 “tea bags” utilizados por fitofisionomia, sobraram apenas 89 (74,2%) nas florestas ombrófilas e 102 (85%) nos demais tipos florestais, indicando uma maior atividade biológica nas ombrófilas, seja por raízes ou pela maior ação da macrofauna do solo (cupins, formigas, minhocas, colêmbolas entre outros) sobre os “tea bags”, os quais não teriam acesso ao material vegetal sem romper o tecido de náilon (versão 1.0) ou de polipropileno (versão 2.0) que envolvia os “tea bags”.

6. CONCLUSÃO

O decaimento da massa (“green” e “rooibos”) dos “tea bags” foi tipicamente exponencial, indicando um padrão geral para os três tipos florestais analisados em Maracá. Da mesma forma, em ambientes tipificados como sazonalmente alagados (e.g. florestas decíduais) as taxas gerais (decomposição e estabilização) não tenderam a ser menores em relação a ambientes livres de alagamentos (e.g. ombrófilas). Por outro lado, algumas condicionantes ambientais indicaram algum efeito nas taxas. Essas observações sugerem que não há um padrão significativo no nível do ecossistema, mas que as taxas de decomposição e estabilização dos diferentes tipos florestais analisados em Maracá podem sofrer influência relativa de fatores edáficos (descriptor de fertilidade) e altitude (descriptor topográfico), quando analisadas separadamente, com a abertura do dossel (descriptor de decidualidade) sendo insuficiente para explicar a variabilidade nas taxas. Por fim, as taxas de decomposição e estabilização estimadas para Maracá representam os primeiros valores para o extremo norte da Amazônia, e enfatizam a importância dessa região ecotonal de Roraima no contexto da ciclagem de nutrientes e ciclo do carbono local/regional/global.

REFERÊNCIAS

- ALSAFRAN, M. H.S.A.; SARNEEL, J.; ALATALO, J. Variation in Plant Litter Decomposition Rates across Extreme Dry Environments in Qatar. **The Arab World Geographer**. [S.l.], v. 20, n. 2-3 p. 252-260, apr. 2017
- BARBOSA, R. I. et al. Root biomass, root: shoot ratio and belowground carbon stocks in the open savannahs of Roraima, Brazilian Amazonia. **Australian Journal of Botany**, Collingwood, v. 60, n. 5, p. 405 - 416, jul. 2012.
- BARBOSA, R. I. Classificação e distribuição espacial das principais unidades fitofisionômicas da grade da ESEC Maracá. PPBio. **A DataONE Search Tool for Scientific Data**. 2011. Disponível em: < <https://ppbiodata.inpa.gov.br/metacatui/#view/menger.220.2>>. Acesso em: 05 jun. 2017.
- BARBOSA, R. I. et al. Decomposition rates of coarse woody debris in undisturbed Amazonian seasonally flooded and unflooded forests in the Rio Negro-Rio Branco Basin in Roraima, Brazil. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 397, [s.n.] p. 1–9, apr. 2017.
- BARNI, P. E. Deforestation and forest fires in Roraima and their relationship with phytoclimatic regions in the Northern Brazilian Amazon. **Environmental Management**, [S.l.], v. 55, [s.n.], p. 1124–1138. Jan. 2015.
- BERNHARD-REVERSAT, F. Measuring litter decomposition in a tropical forest ecosystem: comparison of some methods. **International Journal Ecology and Environmental**. Nagar, v. 8, [s.n.], p. 63-71, aug. 1982.
- CARVALHO, L. S. et al. Amazon soil charcoal: Pyrogenic carbon stock depends of ignition source distance and forest type in Roraima, Brazil. **Global Change Biology**. [S.l.], v. 24, [s.n.], p. 4122 – 4130, jul. 2018.
- COLLETA, L. D. **Decomposição foliar na floresta Ombrófila densa em diferentes altitudes e condições climáticas**. 2015. 98 p. Tese (Doutorado em Ciências) Programa de Pós-graduação em Ciências - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- COLEMAN, D. C.; CROSSLEY JR., D. A.; HENDRIX, P. F. **Fundamentals of Soil Ecology**. 2. ed. San Diego: Elsevier Academic Press, 2004, 386 p.
- COUTO-SANTOS, F. R.; LUIZÃO, F. J.; CARNEIRO-FILHO, A. The influence of the conservation status and changes in the rainfall regime on forest-savanna mosaic dynamics in Northern Brazilian Amazonia. **Acta Amazonica**, Manaus, v.44, n. 2, p. 197-206, jul. 2014.
- DIXON, R. K et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science**. Washington, v. 263, n. 5143, p. 185, jan. 1994.
- ENOKI, T.; DRAKE, D. R. Alteration of soil properties by the invasive tree *Psidium cattleianum* along a precipitation gradient on O’ahu Island, Hawai’i. **Plant Ecology** [S.l.], v. 218, [s.n.], p. 947–955, jul. 2017

FEARNSIDE, P. M. Brazil's Amazonian forest carbon: the key to Southern Amazonia's significance for global climate. **Regional and Environmental Change**. [S.l.], [s.v.], [s.n.], p. 1-15, jul. 2016.

FEARNSIDE, P. M. Emissions from tropical hydropower and the IPCC. **Environmental Science e Policy**. Exeter, v. 50, [s.n.], p. 225-239, jun. 2015.

FU, M. et al. Modeling on Regional Atmosphere-Soil-Land Plant Carbon Cycle Dynamic System. **Sustainability**. Switzerland, v.8, n.4, p. 1-18, aug. 2016.

FUJII, S. et al. Disentangling relationships between plant diversity and decomposition processes under forest restoration. **Journal of Applied Ecology**. [S.l.], v. 54, [s.n.], p. 80–90, jun. 2017,

HARMON, M. E.; SEXTON, J. **Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems**. 20 ed. Sattle: University of Washington, 1996, 73 p.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012, 275 p.

ICMBIO. Decreto nº 86,061, de 2 de junho de 1981. Dispõe sobre a criação da ESEC Maracá. **ICMBio**. Boa Vista, RR. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D86061.htm. Acesso em: 27 dec. 2016.

IEPEMA, G. L.; DOMHOF, B.; VAN EEKEREN, N. Capacity of the soil to decompose organic matter in old and young grasslands. **Grassland Science in Europe**. Wageningen, v. 20, [s.n.], p. 434 - 436, jun. 2015.

IPCC, 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **In Climate Change 2014**. TEAM, W.; PACHAURI, R.K.; MEYER, L.A. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

KEUSKAMP, J. A. et al. Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. **Methods in Ecology and Evolution**. Nova Jersey, v.4, n. 11, p. 1070-1075, nov. 2013.

KHATIB, H. IEA World Energy Outlook 2011 - A comment. **Energy Policy**. Guildford, v.48, [s.n.], p. 737-743, sep. 2012.

LAVELLE, P. et al. A Hierarchical Model for Decomposition in Terrestrial Ecosystems: Application to Soils of the Humid Tropics. **Biotropica**. Washington, v. 25, n. 2, p. 130-150, jun. 1993.

LIPS, J. M.; DUIVENVOORDEN, J. F. Fine litter input to terrestrial humus forms in Colombian Amazonia. **Oecologia**. Berlin, v. 108, n. 2, p. 138-150, apr. 1996.

LUIZÃO, L. J. et al. Rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil: soil and litter process response to artificial gaps. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 291-303, mar. 1998.

MAKITA, N; KAWAMURA, A; OSAWA, A. Size-dependent morphological and chemical property of fine root litter decomposition. **Plant Soil**. Amsterdam. v. 393, [s.n.], p. 283-295, jan. 2015.

MIATTO, R. C; BATALHA, M. A. Leaf chemistry of woody species in the Brazilian cerrado and seasonal forest: response to soil and taxonomy and effects on decomposition rates. **Plant Ecology**. Amsterdam, v. 217, n. 12, p. 1467- 1479, dec. 2016.

NASCIMENTO, M.T. et al. Is the *Peltogyne gracilipes* monodominant forest characterised by distinct soils? **Acta Oecologica**. [S.l.], v. 85, [s.n.], p. 104–107, jul. 2017.

NASCIMENTO, M.T. et al. Variation in floristic composition, demography and above-ground biomass over a 20-year period in an Amazonian monodominant forest and two other lowland forests. **Plant Ecology & Diversity**, Abingdon, v. 7, n. 2, p. 293-303, mar. 2014.

NASCIMENTO, M.; PROCTOR, J. Population dynamics of five tree species in a monodominant *Peltogyne* forest and two other forest types on Maracá Island, Roraima, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 115-128. nov.1997.

NOGUEIRA E. M. et al. Carbon stock loss from deforestation through 2013 in Brazilian Amazonia. **Global Change Biology**. Oxford, v. 21, n. 3, p. 1271–1292, mar. 2015.

OLSON, J. S. Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposers in Ecological Systems. **Ecological Society of America**. Washington, v. 44, n. 2, p. 322-331, apr. 1963.

PAN, Y. et al. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. **SCIENCE**. Washington, v. 333, n. 6045, p. 988-993, aug. 2011.

PARTON, W. Global-Scale Similarities in Nitrogen Release Patterns During Long-Term Decomposition. **SCIENCE**. Washington, v. 315, [s.n.], p. 361 – 364, jan. 2007.

PRESCOTT, C. E. Litter decomposition: What controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? **Biogeochemistry** . [S.l.], v. 101, [s.n.], p. 133–149, apr. 2010.

ROBISON, D. M.; NORTCLIFF, S. Os solos da reserve de Maracá, Roraima: segunda aproximação. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 21, n. 4, p. 409-424, dec. 1991.

SARNEEL, J. M. J.; VEEN, G. F. C. Legacy effects of altered flooding regimes on decomposition in a boreal floodplain. **Plant Soil**. Amsterdam. v. 421, [s.n.], p. 57 - 66, jul. 2017.

SAYER, E. J. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems **Biological Review**. [S.l.], v. 81, [s.n.], p. 1 - 31. apr. 2006.

SILVA, L. F. S. G. et al. Production and stock of coarse woody debris across a hydro-edaphic gradient of oligotrophic forests in the northern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 364, [s.n.], p. 1-9, mar. 2016.

SCOTT, D. A; PROCTOR, J; THOMPSON, J. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. II. Litter and nutrient cycling. **Journal of Ecology**. London, v. 80, n. 4, p. 701-717, dec. 1992.

TICHY, L. **GLAMA - Gap Light Analysis Mobile Application**. Masaryk University, Brno, Czech Republic, 2014-2015. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mobilesglama&hl=pt_BR>

TOLEDO, J. J.; MAGNUSSON, W. E.; CASTILHO, C. V. Influence of soil, topography and substrates on differences in wood decomposition between one-hectare plots in lowland tropical moist forest in Central Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**. Cambridge, v.25, n.6, p. 649-656, nov. 2009.

VILLACORTA, C. D. A. **Condicionantes edáficas para a monodominância do gênero *Peltogyne* (Fabaceae) na ilha de Maracá, Roraima, norte da Amazônia brasileira**. 2017. 46 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais – PRONAT, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2017.

VILLELA, D. M.; PROCTOR, J. Litterfall Mass, Chemistry, and Nutrient Retranslocation in a Monodominant Forest on Maraca Island, Roraima, Brazil'. **Biotropica**. Washington, v. 31, n. 2, p. 198-211, jun. 1999.

WANG, L.; OTGONSUREN, B; GODBOLD, D. L. Mycorrhizas and soil ecosystem function of co-existing woody vegetation islands at the alpine tree line. **Plant Soil**. Amsterdam, v. 411, [s.n.], p. 467 - 481. apr. 2017.

WALTHALL, C. L. J et al. **Climate change and agriculture in the United States: effects and adaptation**. Washington: USDA, 2012, 186 p.

WHIGHAM, D.F. Watershed influences on the structure and function of riparian wetlands associated with headwater streams – Kenai Peninsula, Alaska. **Science of the Total Environment**. [S.l.], v. 599, n. 600, p. 124–134, jul. 2017.

WIEDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecological Society of America**. Washington, v.63, n.6, p. 1636-1642, dec. 1982.

YANG, C. et al. Higher fungal diversity is correlated with lower CO₂ emissions from dead wood in a natural forest. **Scientific Reports**. London, v. 6, n. 31066, p. 1-10, aug. 2016.

YI, Q. et al. Carbon cycle in advanced coal chemical engineering. **Chemical Society Reviews**. London, v. 44, n. 15, p. 5409-5445, dec. 2015.

ZANCHI, F. B. et al. Influence of drainage status on soil and water chemistry, litter decomposition and soil respiration in central Amazonian forests on sandy soils. **Revista Ambiente e Água**. Taubaté, v. 6, n. 1, p. 6-29, mar. 2011.

ZHANG, D. et al. Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: global patterns and controlling factors. **Journal of Plant Ecology**. Oxford, v. 1, n. 2, p. 85-93, jun. 2008.

ANEXO A

Tabela 1 – Variáveis edáficas das trinta parcelas avaliadas da ilha de Maracá.

Parcela	Cod-par	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Mg:Ca	H+Al	Al	SB	CTC	Sat.	Sat.	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Argila	Silte	Areia-tot	Areia-G	Areia-F	Alt-media	Abertura (%)
L1-1200-1250	A3	5.1	16.00	3.00	0.20	0.30	0.29	0.97	3.40	0.30	0.79	4.19	18.85	27	0.80	74.00	0.75	22.70	0.45	16.20	8.80	75.00	46.00	29.00	67.08	12.78
L1-2200-2250	A6	4.8	23.00	3.00	0.12	0.25	0.44	1.76	4.70	0.60	0.81	5.51	14.70	42	3.80	354.00	4.05	5.50	0.38	21.20	21.80	57.00	20.00	37.00	55.56	25.03
L1-2400-2450	A7	5.2	14.00	4.00	0.10	0.15	0.24	1.60	3.10	0.20	0.49	3.59	13.65	29	1.00	180.00	1.55	6.80	0.46	12.20	15.80	72.00	36.00	36.00	56.91	32.75
L1-3200-3250	A10	5.2	9.00	4.00	0.12	0.25	0.33	1.32	2.80	0.30	0.70	3.50	20.00	29	1.00	88.00	1.80	6.20	0.36	7.90	4.10	88.00	51.00	37.00	57.31	11.05
L1-3450-3500	A11	4.7	39.00	3.00	0.13	0.20	0.42	2.10	10.90	1.50	0.75	11.65	6.44	67	5.70	472.00	6.30	19.90	0.36	53.80	38.20	8.00	4.00	4.00	54.92	18.49
L1-3650-3700	A12	4.9	7.00	2.00	0.12	0.20	0.24	1.20	3.10	0.40	0.56	3.66	15.30	43	0.90	58.00	1.20	12.70	0.50	10.50	5.50	84.00	51.00	33.00	56.72	23.17
L1-3850-3900	A13	5.0	21.00	3.00	0.16	0.15	0.67	4.47	4.20	0.50	0.98	5.18	18.92	32	3.70	76.00	4.60	28.90	0.51	20.30	9.70	70.00	52.00	18.00	70.90	16.10
L1-4250-4300	A15	5.0	9.00	3.00	0.15	0.45	0.74	1.64	3.40	0.30	1.34	4.74	28.27	18	1.30	46.00	2.60	29.00	0.30	18.80	9.20	72.00	57.00	15.00	62.76	27.40
L2-0900-0950	A19	4.9	18.00	6.00	0.15	0.30	0.22	0.73	5.20	0.40	0.67	5.87	11.41	38	3.20	168.00	3.25	3.10	0.26	16.60	13.40	70.00	36.00	34.00	59.39	41.44
L2-1900-1950	A24	5.5	11.00	6.00	0.27	0.25	0.47	1.88	2.80	0.10	0.99	3.79	26.12	9	1.30	88.00	3.10	23.40	0.73	11.30	6.70	82.00	43.00	39.00	72.36	17.79
L2-2150-2200	A25	5.0	9.00	4.00	0.12	0.20	0.24	1.20	2.80	0.20	0.56	3.36	16.67	28	1.00	78.00	7.95	12.40	0.77	10.40	4.60	85.00	43.00	42.00	68.31	13.71
L2-3800-3850	A32	5.1	11.00	3.00	0.13	0.15	0.23	1.53	3.80	0.30	0.51	4.31	11.83	36	3.20	312.00	3.15	18.30	0.49	12.30	12.70	75.00	41.00	34.00	63.49	18.86
L3-1700-1750	A42	5.3	18.00	3.00	0.12	0.15	0.30	2.00	3.80	0.20	0.57	4.37	13.04	24	1.00	332.00	1.15	7.40	0.70	11.60	6.40	82.00	43.00	39.00	71.40	26.65
L3-2150-2200	A44	4.7	5.00	3.00	0.08	0.15	0.08	0.53	2.50	0.20	0.31	2.81	11.03	34	0.30	23.60	0.50	4.00	0.62	6.40	0.60	93.00	73.00	20.00	82.57	13.71
L3-3550-3600	A51	5.0	16.00	3.00	0.10	0.20	0.42	2.10	3.40	0.20	0.72	4.12	17.48	22	2.50	174.00	3.00	5.00	0.60	12.30	6.70	81.00	39.00	42.00	68.70	26.81
L4-0850-0900	A61	4.6	7.00	4.00	0.06	0.10	0.13	1.30	3.40	0.30	0.29	3.69	7.86	54	0.70	27.00	1.75	2.80	0.31	10.10	4.90	85.00	45.00	40.00	71.45	20.39
L4-1050-1100	A62	4.9	5.00	3.00	0.05	0.20	0.12	0.60	1.80	0.10	0.37	2.17	17.05	22	0.60	27.40	0.55	12.10	0.36	7.70	1.30	91.00	58.00	33.00	77.47	14.74
L4-2450-2500	A68	5.2	7.00	4.00	0.08	0.15	0.14	0.93	3.10	0.20	0.37	3.47	10.66	34	0.60	56.00	1.40	2.60	0.19	7.90	3.10	89.00	43.00	46.00	65.40	24.41
L4-3800-3850	A74	5.4	16.00	5.00	0.16	0.70	0.46	0.66	3.40	0.20	1.32	4.72	27.97	13	0.50	31.80	2.00	8.90	0.49	10.50	5.50	84.00	49.00	35.00	63.02	20.84
L4-4000-4050	A75	5.6	7.00	3.00	0.10	0.30	0.23	0.77	2.20	0.10	0.63	2.83	22.26	14	0.80	44.00	1.80	10.50	0.63	9.40	2.60	88.00	37.00	51.00	67.28	25.88
L4-4600-4650	A78	4.7	7.00	2.00	0.08	0.20	0.19	0.95	2.80	0.20	0.47	3.27	14.37	29	0.90	28.40	0.90	16.00	0.19	9.30	3.70	87.00	55.00	32.00	81.96	14.56
L4-4850-4900	A79	4.7	21.00	3.00	0.08	0.40	0.30	0.75	5.80	0.40	0.78	6.58	11.85	34	0.80	50.00	1.75	10.50	0.28	9.20	1.80	89.00	53.00	36.00	76.38	25.81
L5-0500-0550	A83	5.4	11.00	3.00	0.15	1.20	0.50	0.42	2.20	0.05	1.85	4.05	45.68	3	1.40	15.40	2.20	31.50	0.33	18.40	1.60	80.00	50.00	30.00	73.11	15.79
L5-0950-1000	A85	4.2	9.00	2.00	0.08	0.25	0.14	0.56	3.40	0.30	0.47	3.87	12.14	38	0.30	48.00	0.90	3.60	0.49	9.70	4.30	86.00	51.00	35.00	72.08	10.37
L5-2900-2950	A97	5.2	9.0	3.0	0.08	0.60	0.24	0.40	2.20	0.10	0.92	3.12	29.49	10	0.20	15.00	1.40	15.90	0.30	4.90	7.10	88.00	54.00	34.00	74.81	9.42
L5-3350-3400	A99	4.8	23.0	4.0	0.12	0.45	0.48	1.07	5.80	0.40	1.05	6.85	15.33	26	0.60	138.00	1.45	8.10	0.41	12.00	5.00	83.00	35.00	48.00	57.46	46.61
L5-4800-4850	A107	4.8	21.0	5.0	0.12	0.25	0.43	1.72	5.20	0.40	0.80	6.00	13.33	33	1.00	224.00	3.15	6.20	0.26	14.30	2.70	83.00	41.00	42.00	62.99	25.79
L6-1100-1150	A114	5.1	9.0	3.0	0.16	0.70	0.47	0.67	2.50	0.10	1.33	3.83	34.73	7	1.00	16.80	1.60	30.00	0.39	12.60	3.40	84.00	46.00	38.00	70.81	7.76
L6-2350-2400	A120	4.8	9.0	5.0	0.12	0.40	0.23	0.58	3.10	0.20	0.75	3.85	19.48	22	0.90	32.00	0.90	12.30	0.41	11.40	2.60	86.00	55.00	31.00	75.23	11.07
L6-4700-4750	A129	4.9	49.0	3.0	0.28	0.95	1.05	1.11	6.40	0.20	2.28	8.68	26.27	8	1.40	76.00	2.40	33.00	0.44	17.70	10.30	72.00	49.00	23.00	60.24	14.40