

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZONIA - INPA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE - CLIAMB

ANÁLISE MULTI-ANUAL DA DINÂMICA DE PRODUÇÃO DE
SERAPILHEIRA FINA EM UMA FLORESTA DA AMAZÔNIA CENTRAL

ADRIANA CASTRO DA CONCEIÇÃO

Manaus, Amazonas

Maio, 2017

ADRIANA CASTRO DA CONCEIÇÃO

ANÁLISE MULTI-ANUAL DA DINÂMICA DE PRODUÇÃO DE
SERAPILHEIRA FINA EM UMA FLORESTA DA AMAZÔNIA CENTRAL

Orientador: Dr. Carlos Alberto Nobre Quesada

Co-Orientadores: Dr. Florian Hofhansl

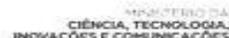
Dra. Maria Terezinha Monteiro

Fonte Financiadora: CNPq

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Clima e Ambiente, área de Clima e Funcionamento dos ecossistemas Amazônicos.

Manaus, Amazonas

Maio, 2017



ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E
AMBIENTE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA
AMAZÔNIA E UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS.

Aos 30 dias do mês de junho do ano de 2017, às 14:30 horas, no auditório do prédio LBA, Campus II/INPA, sito à Av. André Araújo, 2936 – Bairro de Petrópolis, reuniu-se a Comissão Julgadora de Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. Carlos Alberto Nobre Quesada (Presidente), Profa. Dra. Joana D'arc de Paula (INPA) e o Prof. Dr. Jochen Schöngart (INPA), tendo como suplente o Prof. Dr. Luiz Antônio Candido (INPA) sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública do trabalho de dissertação de Adriana Castro da Conceição intitulado "ANÁLISE MULTI-ANUAL DA DINÂMICA DE PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA FINA EM UMA FLORESTA DA AMAZÔNIA CENTRAL", orientada pelo Prof. Dr. Carlos Alberto Nobre Quesada (INPA).

O Presidente da Comissão Julgadora deu início à seção e informou os procedimentos do exame. A aluna fez uma exposição do seu estudo e foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Julgadora de Defesa Pública. A Comissão Julgadora, então, se reuniu e os membros emitiram os seguintes pareceres:

Nome	Parecer	Assinatura
Carlos Alberto Nobre Quesada	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	
Joana D'arc de Paula	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	
Jochen Schöngart	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	
Luiz Antônio Candido	<input type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	

Nada mais havendo a relatar, foi lavrada a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Julgadora.

Dedico a minha mãe Amélia e a meus irmãos por me apoiarem na realização desse sonho e incentivo as lutas do dia a dia. Ao meu grande mestre Flavio J. Luizão que sempre me ajudou e incentivou quando precisei. Reconheço que sem eles eu nada seria!

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, pois mesmo nos meus momentos de dúvida, sempre esteve presente nos dias de caminhada, de preocupação e, também, de realização.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e a Universidade do estado do Amazonas por serem membros do Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente.

À Coordenação do CNPq pela concessão de bolsa.

A minha família, e especial a minha mãe e irmãos, que sempre viabilizaram e investiram em meu sonho além de fazerem a minha caminhada mais leve. Pela força no momento da fraqueza e pela disponibilidade nos momentos de aflição.

Ao meu antigo e grande orientador de longa data do programa LBA Flavio J. Luizão, que sempre contribuiu para o meu amadurecimento pessoal e profissional e, sobretudo pelo incansável incentivo a pesquisa. Meu profundo e sincero agradecimento.

Ao meu orientador Dr. Carlos Alberto Nobre Quesada, que foi crucial na finalização de meu trabalho. E aos meus co-orientadores, Maria Terezinha Monteiro e Florian Hofhansl, e ao Coordenador de PPG de Clima e Ambiente Dr. Luiz Candido pelas infinitas contribuições para o meu trabalho e incentivo a pesquisa.

As meninas do Laboratório de Triagem – Bionte, Sueli, Rejane e Regina pelo suporte dado ao trabalho.

As colegas de campo e amigas do coração Átila Cristina, Fernanda Lima, Nilma França e Maria Pires pelo grande apoio a minha pesquisa e por sempre estarem presente. Meus sinceros agradecimentos.

As minhas amigas irmãs, Fabiana Rocha e Sheylla Fontes que me acompanharam e me acompanham até hoje em diversos momentos da minha vida pessoal e profissional.

Aos membros da ZF2 e logística pela colaboração para o desenvolvimento de meu trabalho. Meu muito obrigada.

C744 Conceição, Adriana Castro da

Análise multi-anual da dinâmica de produção de serapilheira fina em uma floresta da Amazônia Central / Adriana Castro da Conceição . --- Manaus: [s.n.], 2017.

00 f.: il.

Dissertação (Mestrado) --- INPA, Manaus, 2017.

Orientador: Carlos Alberto Nobre Quesada

Coorientadores: Florian Hofhansl e Maria Terezinha Monteiro.

Área de concentração: Clima e Ambiente

1. Serapilheira . 2. Biomassa aérea . 3. Anomalias Climáticas . I. Título.

CDD 634.9283

Sinopse:

Estudou-se a variabilidade interanual da produção de serapilheira em uma floresta de terra-firme, localizada no Município de Manaus-AM.

Palavras-chave: Serapilheira, Biomassa aérea, Anomalias climáticas.

RESUMO

Eventos extremos de variáveis climáticas, principalmente precipitação, estão associados às anomalias de temperatura registradas em porções específicas dos oceanos Pacífico e Atlântico. Assim, este trabalho avaliou os efeitos do clima (incluindo anomalias do Atlântico e Pacífico) sobre a dinâmica da serapilheira em escala multi-anual (10 anos) ao longo de um gradiente topográfico distinto: platô, vertente e baixio. Este estudo foi desenvolvido na Reserva Biológica do Cuieiras, onde está instalada a torre K34, situada na área de pesquisa do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), localizada a 60 km ao norte da cidade de Manaus. As coletas de serapilheira fina foram obtidas a cada quinze dias através de coletores de 50x50 cm em 9 sub-parcelas distribuídas nas três posições topográficas. A produção interanual de serapilheira fina (formada por folhas, galhos, materiais reprodutivos e resíduos), durante os anos de 2005 a 2014 variou de 9,4 a 7,1 t/ha para a floresta de platô, 9,4 a 7,2 t/ha na floresta de vertente e 7,9 a 6,2 t/ha na floresta de baixio (Figura 5). Na área do platô a produção máxima ocorreu no ano de 2005 e nas áreas da vertente e baixio no ano de 2009, anos de maior influência das anomalias climáticas. Houve diferença significativa entre os anos nas três posições topográficas, apresentando relações significativas das anomalias de temperatura do oceano Atlântico e Pacífico. Nos anos estudados a produção de serapilheira e seus componentes apresentaram também um comportamento sazonal interanual com a maior produção em meses de menor precipitação (junho a novembro) e menor produção em meses mais chuvosos (dezembro a maio). No ano de 2005 a serapilheira respondeu significativamente a anomalia do TSMAN enquanto que para o ano de 2009 houve influências tanto do ATSM do Pacífico (El Niño) quanto do Atlântico (Norte-positivo). Com isso observou-se conexões entre a produção de serapilheira fina e as anomalias climáticas que afetam a Amazônia; sugerindo que a produção de serapilheira e seus componentes em florestas de terra-firme estarão relacionados às mudanças climáticas, que direta ou indiretamente irão influenciar variações anômalas das temperaturas da superfície do mar.

Abstract

Extreme events of climate variables, above all those involving precipitation, are associated to temperature anomalies of surface sea temperatures of the Atlantic and Pacific (ASST). This work has then evaluated climatic effects, including those arising from sea surface anomalies of the Atlantic and Pacific, over the dynamics of litterfall on a multi-year record from forests along a landscape gradient consisting of plateau, slope and valley bottom. The study site was the Reserva Biológica do Cuieiras, one of the main field sites for the Large Scale Biosphere-Atmosphere experiment (LBA), 60km north of Manaus, Brazil. Fine litterfall production was measured every fifteen days on 50x50 cm litter baskets, located in nine subplots at each topographic position. Litterfall production (of leaves, twigs and fertile material) along the years of 2005 to 2014, ranged from 9,4 to 7,1 t/ha in the plateau forests, 9,4 to 7,2 t/ha at the slopes and 7,9 to 6,2 t/ha in the valleys. The highest production recorded for the plateau forests occurred in 2005, while slopes and valleys had the highest recorded productions in 2009, which were the years with strongest influence of climate anomalies. Production rates were found to be significantly different among years for the three topographic positions and showed clear relation to ASST. A clear seasonal pattern was also found for fine litterfall and its components, with higher production on the drier months of the year (June to November) and lowest on the wettest months (December to May). In 2005, litterfall production responded significantly to anomalies of the North Atlantic, while in 2009 both the North Atlantic and Pacific (El Niño) anomalies influenced production rates. Therefore we observed connections between climatic anomalies and litterfall production in Amazonia, suggesting that litterfall production may be directly or indirectly affected by climate change once a positive interaction is expected between climate change and anomalies of sea surface temperature.

Sumário

INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1. VARIABILIDADES DAS TSM DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO.....	19
3.1.1 INFLUÊNCIA DAS ANOMALIAS CLIMÁTICAS DO ATLÂNTICO E PACÍFICO SOBRE AS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS DA AMAZONIA	20
3.2 PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E CICLAGEM DE NUTRIENTES	22
3.3 FATORES AMBIENTAIS QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA 24	
4. MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1. ÁREA DE ESTUDO	26
4.2. CARACTERIZAÇÕES FISIAGRÁFICA	27
4.3. COLETA DE DADOS	28
4.3.1 PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA FINA.....	28
4.3.2. MEDIÇÕES METEOROLÓGICAS.....	29
4.3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	31
5. RESULTADOS	33
5.1 PRODUÇÃO DA SERAPILHEIRA FINA.....	33
5.1.1 VARIAÇÃO INTERANUAL.....	33
5.1.1.2 INFLUÊNCIAS INTERANUAIS DAS ANOMALIAS DO TSM DO PACÍFICO E ATLÂNTICO NAS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS E NA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E SEUS COMPONENTES.....	37
5.1.2 VARIAÇÃO SAZONAL	40
5.1.3 ANOS DE 2004/2005.....	44
5.1.4 ANOS DE 2009/2010.....	48
5.1.5 ANOS DE 2014/2015.....	53
6. DISCUSSÃO.....	55
6.1. VARIAÇÕES INTERANUAL DA SERAPILHEIRA	55
6.2. VARIAÇÃO SAZONAL DA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA.....	56
6.3 ANOS DE MAIORES INFLUÊNCIAS DAS ANOMALIAS DO TSMAP.....	57
6.3.1 ANOS DE 2004/2005.....	58

6.3.2 ANOS DE 2009/2010.....	59
6.3.3 ANOS DE 2014/2015.....	59
7. CONCLUSÃO	60
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
9. ANEXOS.....	81

Lista de Figuras

Figura 1. Regiões de monitoramento do ENOS com base na TSM.	21
Figura 2. Área de estudo da Microbacia Experimental do Igarapé Asú.....	26
Figura 3. Coletor de serapilheira 50 x 50 cm.	28
Figura 4. Valores Médios do índice do Oceano de Niño de 3 meses.	30
Figura 5. Variação interanual dos totais anuais das variáveis de produtividade de serapilheira e de seu componente folha com seus respectivos desvios-padrões.....	34
Figura 6. Relação entre ENOS e Anomalia do TSM do Atlântico Norte (ATSMAN) e Sul (ATSMAS) com a anomalia anual da produção serapilheira e seus componentes nas três posições topográficas (platô, vertente e baixio). Anomalia da produção: do material lenhoso do platô (APMLP), do material reprodutivo da vertente (APMRV), da produção da folha (APFB) e material reprodutivo do baixio (APMRB).....	35
Figura 7. Relação entre ENOS com as variáveis climáticas como o número anual de dias sem chuva (DC), da média anual da temperatura máxima (TMax) e mínima (TMin) registrada no período de 2004-2015. As relações significativas são indicadas pelos respectivos valores de R^2 e P.....	38
Figura 8. Variação sazonal das medias mensais (todo o período de estudo) do clima e das variáveis de produção de serapilheira com seus respectivos desvios-padrões: precipitação (Pr), temperatura máxima (TMax) e dias sem chuva (DC), bem como as médias mensais da produção de serapilheira (PS) nas três posições topográficas platô, vertente e baixio.	40
Figura 9. Relação entre ENOS, anomalia do TSM do Atlântico Norte (ATSMAN) e Sul (ATSMAS) com a média mensal das variáveis climáticas (2004-2015): Precipitação, Temperatura Máxima e o Número de dias sem chuva.	41
Figura 10. Análise de correlação de Kendall entre a produção de serapilheira nas três posições topográficas (Platô, vertente e baixio) com as anomalias do Atlântico Norte (ATSMAN), sul (ATSMAS) e ENOS de maio a novembro de 2004.....	45
Figura 11. Análise de correlação de Kendall entre a produção de serapilheira nas três posições topográficas (Platô, vertente e baixio) com as anomalias do Atlântico norte (ATSMAN), sul (ATSMAS) e ENOS no período de agosto de 2004 a agosto de 2005.	46
Figura 12. Variação sazonal da produção de serapilheira nas três posições topográficas em relação as anomalias do TSM do Atlântico (ATSMAN e ATSMAS) e Pacífico (ENOS) nos anos de 2004/2005. Médias mensais de longo prazo são apresentadas como referência.	47
Figura 13. Análise de correlação de Kendall entre a produção de serapilheira nas três posições topográficas (Platô, vertente e baixio) com as anomalias de temperatura da superfície do mar do Atlântico Norte (ATSMAN), Atlântico Sul (ATSMAS) e ENOS, bem como seu efeito sobre a velocidade do vento (VV) no período de janeiro a outubro de 2009..	49
Figura 14. Análise de correlação de Kendall entre a produção de serapilheira nas três posições topográficas (Platô, vertente e baixio) com as anomalias de temperatura da superfície do mar do Atlântico Norte (ATSMAN), sul (ATSMAS) e ENOS no período de novembro de 2009 a outubro de 2010.	50

Figura 15. Análise de correlação de Kendall entre a produção de serapilheira nas três posições topográficas (Platô, vertente e baixio) com as anomalias de temperatura da superfície do mar do Atlântico Norte (ATSMAN), sul (ATSMAS) e ENOS no período de março a outubro de 2010..	51
Figura 16. Variação sazonal da produção de serapilheira nas três posições topográficas em relação às anomalias do TSM do Atlântico (ATSMAN e ATSMAS) e Pacífico (ENOS) no ano de 2009/2010. Linhas sólidas apresentam a média de longo prazo de produção de serapilheira para referência.	52
Figura 17. Análise de correlação de Kendall entre a produção de serapilheira nas três posições topográficas (Platô, vertente e baixio) com as anomalias de temperatura da superfície do mar do Atlântico Norte (ATSMAN), sul (ATSMAS) e ENOS no período de novembro de 2014 a agosto de 2015.	53
Figura 18. Variação sazonal da produção de serapilheira nas três posições topográficas em relação as anomalias do TSM do Atlântico (ATSMAN e ATSMAS) e Pacífico (ENOS) no período de novembro de 2014 a agosto de 2015. Linhas sólidas apresentam a média de longo prazo de produção de serapilheira para referência.	54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AT – Atlântico Tropical

ATN – Atlântico Tropical Norte

ATS - Atlântico Tropical Sul

ATSM – Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar

ATSMAN - Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar do Atlântico Norte

ATSMAS – Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar do Atlântico Sul

CPC - Climate Prediction Center

CPH- Coordenação de Pesquisa Hidrológicas do INPA

ENOS - El Niño - Oscilação Sul

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration Center

Prec - Precipitação

PSP - Produção de serapilheira da área do platô.

PSV - Produção de serapilheira da área da vertente.

PSB - Produção de serapilheira da área do baixio.

PFolhaP - Produção da folha da área do platô.

PFolhaV - Produção da folha da área da vertente.

PFolhaB - Produção da folha da área do baixio

PMLP – Produção do Material Lenhoso da area do platô.

PMLV - Produção do Material Lenhoso da area da vertente.

PMLB- Produção do Material Lenhoso da area do baixio.

PMRP - Produção Material Reprodutivo a area do platô.

PMRV- Produção Material Reprodutivo a area da vertente.

PMRB -Produção Material Reprodutivo a area do baixio.

SST - Variações da Temperatura da Superfície do Mar no Pacífico.

TSMMA- Temperatura da Superfície do mar do Atlântico e do Pacífico

TMax – Temperatura Máxima

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical.

INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica é a floresta tropical com maior diversidade biológica do mundo e detém boa parte da riqueza natural do Brasil (Philips *et al.*, 1994; Davidson e Artaxo, 2004; Higuchi *et al.*, 2004).

A floresta Amazônica evidencia-se por um sistema dinâmico que sofre constantes mudanças espaciais e temporais (Pinto *et al.*, 2002; Laurance *et al.*, 2004). A dinâmica de árvores nessa bacia apresenta uma elevada variação espacial relacionada com a fertilidade do solo e intensidade do período seco (Phillips *et al.*, 2004). A variação física e nutricional nas propriedades dos solos ao longo das bacias está relacionada intrinsecamente com as variações na idade dos solos e a geomorfologia (Quesada *et al.*, 2012). Uma mesma floresta pode apresentar diferentes tipos de solos, alinhados ao longo de uma topossequência, apresentando variações na textura, no teor de umidade e na concentração de nutrientes em uma mesma microescala, como é comum observar-se na Amazônia Central (Ferraz *et al.*, 1998). Estas variações das características físicas e químicas do solo e da topografia influenciam no crescimento da floresta, estoque de biomassa, estrutura da floresta, na distribuição e diversidade de plantas e na variação dos processos ecológicos (Laurance *et al.*, 1999; Luizão *et al.*, 2004; Castilho *et al.*, 2006; Costa *et al.*, 2008; Quesada *et al.*, 2012).

Nos sistemas florestais, boa parte da produtividade primária líquida é representada pela produção de folhas e outras estruturas do dossel, as quais eventualmente são descartadas. Esse descarte é impulsionado pelo clima (precipitação, temperatura e disponibilidade de luz) e fertilidade do solo (geologia e topografia) (Hofhansl *et al.*, 2014). Este componente chamado de serapilheira é composto por folhas, material lenhoso, órgãos reprodutivos e pequenos detritos, formando a camada mais superficial do solo em ambientes florestais (Costa *et al.*, 2010). Esta camada atua como um agente de interceptação das gotas da chuva amenizando a erosão, protegendo o solo contra as altas temperaturas e abrigando uma abundante diversidade de organismos que atuam diretamente nos processos de decomposição (Andrade *et al.*, 2003; Conceição *et al.*, 2005; Silva, 2014). A produção de serapilheira é influenciada pela disponibilidade hídrica. Ecossistemas sujeitos às condições de saturação hídrica e alagamentos, mesmo que temporário, tendem a apresentar menor deposição de serapilheira, especialmente da

fração foliar (Vitousek, 1984; Hobbie e Vitousek, 2000). Cada um dos componentes da serapilheira apresenta diferentes composições químicas constitucionais e velocidades de decomposição, o que influencia diretamente nos processos de ciclagem de nutrientes, ou seja, controlam as quantidades de nutrientes que retornam ao solo, que é um processo importante e essencial para a manutenção das florestas (Cianciaruso *et al.*, 2006; Luizão, 2007, Luizão, 1989).

Com relação à decomposição, as taxas de decomposição da serapilheira são influenciadas pelo clima, qualidade de serapilheira acumulada no solo e abundância de organismos decompositores (Smith e Brand, 2003). Em uma escala mais ampla, os principais fatores que afetam o processo de decomposição são a temperatura e umidade do solo (Lavelle *et al.*, 1993). A temperatura afeta diretamente a decomposição da matéria orgânica, exercendo forte influência sobre a atividade microbiana no solo e indiretamente altera condições microclimáticas de umidade (Chapin *et al.*, 2002). Apesar da decomposição da serapilheira ser favorecida pelo acúmulo da umidade do solo na maioria dos ecossistemas sazonais da região tropical, existe um limite (saturação) a partir do qual o aumento da umidade passar a exercer um efeito semelhante ao ocasionado pelo déficit hídrico, reduzindo a velocidade com que a matéria orgânica depositada sobre o solo é decomposta. Assim o tempo que a serapilheira leva para ser decomposta é de fundamental importância para a permanência da mesma ao longo do ano, pois os nutrientes que são transferidos para o solo através da decomposição formam um processo importante para o desenvolvimento da floresta amazônica, uma vez que a acidez e os reduzidos níveis de fertilidade química de seus solos são uma característica marcante (Jordan, 1985; Santana *et al.*, 2003; Quesada *et al.*, 2011).

Um dos fatores que atuam na composição florística e estrutura das florestas são a heterogeneidade ambiental (Rodrigues *et al.*, 2007). As diferenças estruturais da floresta podem ser produto de variações ambientais, fazendo com que cada local tenha características próprias, influenciando na resposta das espécies (Fagundes *et al.*, 2007). De acordo com Philips *et al.*, (2004) a dinâmica e a biomassa de floresta tropicais aparentemente não perturbadas estão mudando em resposta às mudanças atmosférica. Embora as florestas sejam aparentemente estáveis sem nenhuma mudança perceptível, alterações estão acontecendo continuamente ao longo do tempo e espaço (Pinto, 2002; Higuchi *et al.*, 2007).

A produção de serapilheira e, possivelmente sua composição e conteúdo de nutrientes, pode ser afetada pelas variações sazonais e interanuais, como por exemplo, pelos fenômenos climáticos El Niño, La Niña (Pinto *et al.*, 2003; Clarck, 2007; Luizão, 2007; Castilho *et al.*, 2010; Hofhansl *et al.*, 2014) e anomalia da temperatura da superfície do mar do Atlântico norte (ATSMAN) e do sul (ATSMAS) que devido à incidência cada vez mais frequentes, tem causado mudanças na dinâmica florestal dos ecossistemas ao longo dos anos. Na Amazônia o El Niño e ATSMAS podem resultar em secas mais longas e fortes, o que pode induzir uma maior queda e acúmulo de serapilheira, alterando a dinâmica de sua deposição e reciclagem. Estudos sobre a produção de serapilheira em resposta a eventos climáticos extremos como o El Niño e Oscilações Sul (ENOS) são muito escassos, por isso as variações climáticas interanuais causadas por El Niño-Oscilação Sul têm sido usadas para avaliar potenciais respostas da produção primária líquida a mudança climática.

Dessa forma, o estudo da quantificação da serapilheira produzida por um ecossistema florestal, além de contribuir para a compreensão de sua dinâmica no ambiente natural, também pode ajudar a entender as mudanças na dinâmica florestal diante de variações sazonais e interanuais do clima. Apesar das florestas tropicais serem um tipo de ecossistema que acumula enormes estoques de biomassa, relativamente pouco se sabe sobre os padrões de variações espacial e temporal de sua produtividade, sobretudo quanto à produção de serapilheira. Por isso a necessidade de se realizarem pesquisas de curto, médio e longo prazo, para identificar os padrões e respostas dos ecossistemas a fatores que influenciam o comportamento de sua dinâmica de produção de serapilheira. Desta forma, o presente estudo visa analisar as variações multi-anuais da produção de serapilheira ao longo da paisagem em uma floresta da Amazônia Central e sua interação com fatores climáticos. Este trabalho se baseou em estudos em parcelas permanentes de monitoramento contínuo, por uma década, visando contribuir ao entendimento dos padrões de variação na produção de serapilheira em florestas tropicais.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar os efeitos do clima (incluindo anomalias do Atlântico e Pacífico) sobre a dinâmica da serapilheira em escala multi-anual (10 anos) ao longo de um gradiente topográfico distinto: platô, vertente e baixio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar a produção anual de serapilheira da floresta densa de terra firme para os últimos dez anos em posições topográficas distintas (platô, vertente e baixio).

Avaliar a variabilidade (decréscimo ou aumento) na produção de serapilheira dos anos com anomalias climáticas;

Avaliar a relação entre a produção de serapilheira e as variáveis ambientais (temperatura do ar, precipitação, dias sem chuva e velocidade do vento) ao longo dos 10 anos de coleta.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. VARIABILIDADES DAS TSM DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO

Compreender os fenômenos que se desenvolvem na superfície do mar do Pacífico e Atlântico tem alta importância na Amazônia. Trata-se de processos altamente acoplados e de grande complexidade, tanto em seu funcionamento quanto em seus efeitos nas variáveis climáticas que influenciam no funcionamento dos ecossistemas da Amazônia. El Niño-Oscilação Sul e o Atlântico tem papel importante na variabilidade da precipitação, especialmente o Atlântico, por modular o posicionamento da ZCIT e o transporte de umidade para a bacia amazônica (Lidemberg e Silva, 2016). No entanto, embora a variabilidade interanual das temperaturas da superfície do mar (TSM) e ventos sobre o Atlântico Tropical seja significativamente menor do que as observadas no Pacífico Equatorial, essas variáveis afetam substancialmente a variabilidade climática sobre a América do Sul, em especial a região norte (Silveira e Calvacanti, 2013).

No Pacífico, o modo de variabilidade dominante é o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), um fenômeno global acoplado atmosfera-oceano, com um período dominante da ordem de 3-7 anos, com eventos extremos de El Niño e La Niña. O El Niño, que se apresenta como um aquecimento anômalo das TSM do Pacífico Equatorial Leste, está relacionado diretamente com a fase negativa da Oscilação Sul (OS), uma flutuação definida pela diferença normalizada da pressão ao nível médio do mar (PNM) entre Tahiti (Indonésia) e Darwin (Austrália). O evento La Niña é o oposto ao El Niño e neste as TSM no Pacífico leste fica mais frio e os ventos alísios são muito mais intensos que o normal, favorecendo a precipitação acima do normal na região norte do nordeste brasileiro e leste da Amazônia (Sousa, 2004).

De acordo com Moura e Ahukla (1981) usando um modelo numérico de circulação geral atmosférica observaram a existência de uma circulação anômala no sentido meridional termicamente direto, com os movimentos ascendentes sobre as TSM positivas (aquecimento) e descendentes sobre as negativas (resfriamento) nas regiões do oceano Atlântico Tropical Norte e Sul respectivamente. No Atlântico tropical, Marengo *et al.*, (1993) observaram, que durante anos de grande aquecimento das águas do Pacífico equatorial central (fenômeno do El Niño), a ZCIT

encontra-se anormalmente mais ao norte de sua posição normal, assim os ventos alísios de NE e SE são mais fracos, reduzindo a umidade que penetra para o interior da região Amazônica.

Vários trabalhos apresentaram resultados observacionais sobre as influências dos modos de variabilidade dos oceanos sobre as precipitações na Amazônia e indicaram que durante o evento La Niña (Pacífico frio) e a fase negativa de Dipolo (Atlântico Tropical Sul - quente e Norte - frio) a precipitação fica acima do normal, no verão e outono austral (Souza *et al.*, 2000; Marengo, 2008). Além disso mostram que convecção tropical local é o principal processo para a formação de precipitação em toda a bacia amazônica, que é modulada pelas circulações de grande escala, como a célula de Hadley, a ZCIT e a Walker.

3.1.1 INFLUÊNCIA DAS ANOMALIAS CLIMÁTICAS DO ATLÂNTICO E PACÍFICO SOBRE AS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS DA AMAZONIA

A Bacia Amazônica é um componente importante do sistema climático global, sendo que as descargas de seus rios contribuem com 17 % de entrada de água doce nos oceanos (Callède *et al.*, 2010). Além disso, representa metade das florestas tropicais úmidas do planeta e modula seu próprio regime hidrológico através da recirculação da precipitação e da manutenção de alta umidade ambiental (Salati *et al.*, 1979). Diversas pesquisas procuram relacionar anos secos no norte nordeste com ENOS, mas estudos observacionais e estatísticos realizados por Hastenrath e Heller (1977) e simulações numéricas por Moura e Shukla (1981), Servain (1991), Nobre e Shukla (1996), evidenciaram um padrão de anomalias da TSM sobre o oceano Atlântico tropical, comumente chamado de padrão de Dipolo do Atlântico. Este padrão está associado a mudanças nos valores de precipitação sobre a região Nordeste e Norte do Brasil. Existem vários índices usados para monitorar o Pacífico Tropical, todos os quais são baseados em anomalias de TSM em médias em uma dada região.

A região amazônica é uma das regiões que tem sofrido com irregularidades pluviométricas, apresentando eventos extremos, como secas severas ou chuvas excessivas, que estão relacionadas com as variações da temperatura da superfície do mar no Pacífico (SST) e, em particular, à El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (Yoon e Zeng, 2010) e anomalias de temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Tropical (Marengo (2004); Marengo *et al.*, (2008), Uvo *et al.*, (1998), Ronchail *et al.*, (2002), Yoon e Zeng, (2010). A possibilidade de uma influência do

Atlântico tropical sobre as chuvas da Amazônia foi destacada após o evento de seca severa de 2005 (Marengo *et al.*, 2008; Zeng *et al.*, 2008). As anomalias de TSM na região de ocorrência do El Niño e La Nina, são verificadas dividindo-as em regiões.

Cada uma recebe uma identificação que, segundo o Climate Prediction Center (CPC), é a seguinte: Niño 1+2 (0° - 10° S) e (90° W- 80° W), Niño 3 (5° N- 5° S) e (150° W- 90° W), Niño 4 (5° N- 5° S) e (160° W- 150° W) e uma nova região intermediária entre (3) e (4) chamada de Niño 3.4 (5° N- 5° S) e (170° W- 120° W) (Oliveira, 2001). Já as anomalias da temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical Norte (ATN) referem-se à área que compreende as latitudes $5,5^{\circ}$ N a $23,5^{\circ}$ N e longitudes 15° W a $57,5^{\circ}$ W (Figura 1). No Atlântico Tropical Sul (ATS), a área considerada corresponde as latitudes 0° a 20° S e longitudes 10° E a 30° W. Essa seca de 2005, que se concentrou no oeste e sudoeste da região norte, teve relação com o aquecimento anormal das águas do Atlântico Tropical Norte, que manteve a zona de convergência intertropical (ZCIT) mais ao norte de sua posição climatológica. A seca de 2010, por sua vez, apresentou maior abrangência e severidade que a de 2005, e teve como causa tanto o aquecimento do Pacífico (El Niño) quanto do Atlântico Norte (Cavalcanti *et al.*, 2013). Nesse período os afluentes do rio Amazonas como Solimões e Madeira, foram severamente afetados (Marengo *et al.*, 2008). No entanto não houve mudanças significativas nos níveis de chuva ou do rio no nordeste da Amazônia.

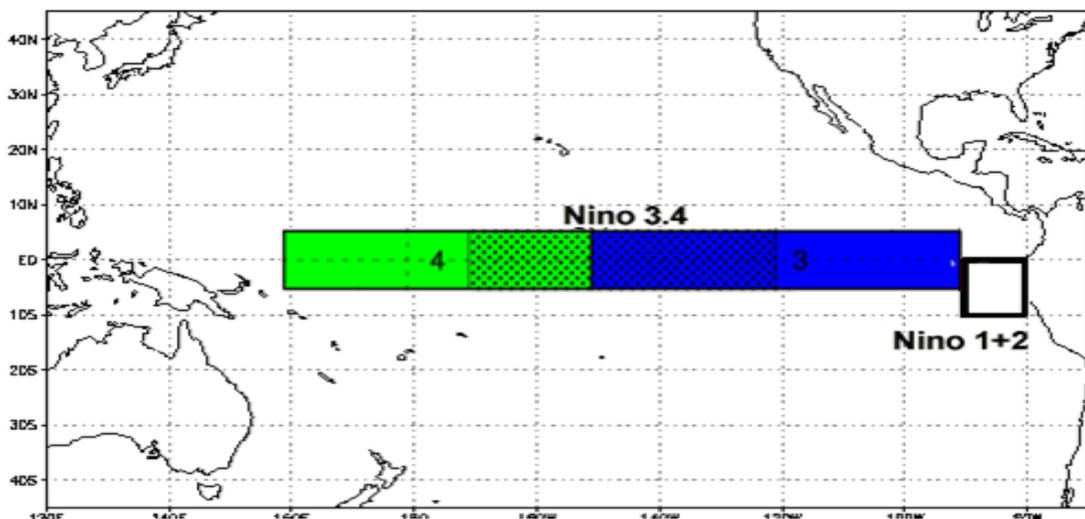


Figura 1. Regiões de monitoramento do ENOS com base na TSM.

Fonte: Adaptado de Trenberth *et al.*, (2017).

3.2 PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E CICLAGEM DE NUTRIENTES

A serapilheira é representada pela matéria morta aérea da vegetação, que contribui com nutrientes e elementos formadores do solo (Aber e Melillo, 1980). É um componente de vital importância para a maioria dos processos funcionais que ocorrem no solo, além de representar a maior contribuição para a formação das camadas húmicas do solo na floresta (Gosz *et al.*, 1976 Luizão, 2007; Monteiro, 2005; Selva, 2005). Em florestas Tropicais a produção de serapilheira é contínua durante todo ano e dependendo da vegetação e das variações sazonais apresenta produção diferenciada. (Leitão-Filho *et al.*, 1993). Esse material permanece no solo até ser fragmentado e decomposto por processos físicos e químicos e bióticos que ocorrem no ecossistema (Vieira, 1988; Aduan, 2003).

A serapilheira pode ser classificada como serapilheira fina (incluindo folhas, material fértil e madeira fina até 2 cm de diâmetro) e serapilheira grossa (madeira morta acima de 2 cm de diâmetro) (Proctor, 1983). A maioria dos ecossistemas florestais apresenta produção contínua de serapilheira durante todo o ano, sendo que a quantidade total produzida nas diferentes épocas depende do tipo de vegetação estudada (Leitão-Filho *et al.*, 1993). A quantidade de serapilheira depositada pode variar dentro de um mesmo tipo de vegetação (Werneck *et al.*, 2001), e o seu acúmulo no solo é regulado pela quantidade de material que cai da parte aérea das plantas e por sua decomposição. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica depositada sobre o solo e quanto menor a sua velocidade de decomposição, maior será a camada de serapilheira. Essas estruturas junto com as raízes finas formam um grande tapete que retém nutrientes nos ecossistemas florestais. Essas raízes, que podem estar associadas às micorrizas, absorvem nutrientes diretamente das folhas e da fauna saprófita em decomposição e penetram também na primeira camada do solo, minimizando a lixiviação causada pelas fortes chuvas tropicais. (Gonçalves e Mello, 2000).

A fragmentação da serapilheira pode ser controlada por processos biológicos e físicos, tais como a atividade e a composição do macro e microfauna do solo e variações climáticas (Smith e Bradford, 2003; Moraes *et al.*, 2000; Tapia-Coral *et al.*, 2005). A serapilheira constitui a via mais importante do ciclo biogeoquímico (fluxo de nutrientes no sistema solo-planta-solo), sendo o principal meio de transferência de nutrientes para o solo em uma floresta (Schumacher *et al.*,

2004; Luizão *et al.*, 2004; Saches *et al.*, 2008). Assim, a liberação dos elementos essenciais para a manutenção dos ecossistemas é realizada pela decomposição e ciclagem da serapilheira. A maior eficiência na utilização dos nutrientes, a baixa decomposição do material e o maior tempo de residência dos nutrientes na serapilheira acumulada no solo sugerem a manutenção dos reservatórios de nutrientes (Santos, 2014). Ou seja, pode atuar como um regulador da produção primária (Charley e Richard, 1983).

Na Amazônia central, o processo de decomposição da serapilheira mostra-se claramente sazonal, com taxas mais elevadas na estação chuvosa (Luizão e Schubart, 1986). Isto ocorre pelo fato da estação chuvosa proporcionar condições de umidade muito favoráveis à intensa atividade de organismos decompositores (Mason, 1980). Ao contrário, a produção de serapilheira nova é maior na época seca (Luizão, 1989). Portanto, a camada de serapilheira sobre o solo se acumula principalmente durante a estação seca e se decompõe rapidamente durante a estação chuvosa (Anderson e Swift, 1983; Luizão e Schubart, 1986). A velocidade da decomposição de um substrato orgânico é determinada pela qualidade desse substrato, além da atividade da biota, que é regulada por fatores ambientais (Anderson e Swift, 1983; Moreira *et al.*, 2002). O estoque da serapilheira sobre o solo é, então, regulado pela queda de material e sua taxa de decomposição na superfície do solo (lixiviação, humificação e mineralização). As taxas em que tais processos da decomposição ocorrem são de fundamental importância, pois determinam o volume de serapilheira presente na região ao longo do ano e a quantidade de nutrientes que é transferido para o solo (Barbosa e Faria, 1991).

A qualidade da serapilheira, ou seja, as características físicas e químicas do material que a compõe, também influenciam as taxas de decomposição. Folhas mais resistentes e com baixo teor de nutrientes, como as folhas de espécies da vegetação secundária, demoram mais a se decompor (Mesquita *et al.*, 1998). Da mesma forma, a serapilheira em diferentes estágios de decomposição apresenta diferentes conteúdos de nutrientes e, assim, diferentes taxas de decomposição. Assim como nas folhas em decomposição sobre o solo (Luizão e Schubart, 1986), a concentração dos macronutrientes P, K e Ca nas madeiras em decomposição variam em função do estágio de decomposição da serapilheira grossa (Summers, 1998).

3.3 FATORES AMBIENTAIS QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA

Estudos mostram que a sazonalidade da serapilheira está relacionada com o índice pluviométrico (Chave *et al.*, 2010). A precipitação é também a variável climática que mais influência no comportamento de outros fatores como temperatura do ar, umidade do solo e velocidade do vento (Sousa, 2003). Durante os períodos de secas sazonal ocorre um aumento no estoque de serapilheira e diminuição do índice de área foliar (Vourtilis *et al.*, 2004; Chave *et al.*, 2010).

No entanto as folhas que são liberadas pelas copas das árvores não são apenas em respostas a variações na precipitação, mas também a radiação solar que pode ser uma das responsáveis pela liberação de novas folhas durante a estação seca (Wright e Van Schaik, 1994). Declínios no crescimento e produtividade florestal estão surgindo em algumas regiões como a Amazônia devido à seca e ao calor extremo (Brienen *et al.*, 2015, Phillips *et al.*, 2009). As árvores têm muitos mecanismos adaptativos para sobreviver ao estresse de secas (Klein *et al.*, 2014) e ondas de calor associados, a perda foliar é um deles (Teskey *et al.*, 2014, Wu *et al.*, 2016).

Mesmo dentro de um mesmo ecossistema a dinâmica da serapilheira pode não ser a mesma ao longo do ano, pois pode variar de acordo com a sazonalidade da região ou a possíveis distúrbios naturais ou antrópicos. Uma série de fatores bióticos e abióticos influencia na produção de serapilheira, como: latitude, altitude, temperatura do ar, precipitação, estágio sucessional, herbivoria, disponibilidade hídrica e estoque de nutrientes do solo (Portes *et al.*, 1996), umidade do solo (Burghouts *et al.*, 1994) e vento (Dias e Oliveira Filho, 1997). De acordo com Aragão *et al.*, 2009 e Fyllas *et al.*, 2009, os fatores edáficos e da vegetação são considerados melhores indicadores das variações da produção de serapilheira em escala local, que por sua vez podem ser afetadas pelas variações sazonais, formando padrões distintos nas estações chuvosa e seca (Cornu *et al.*, 1997; Neu, 2005).

Vários estudos argumentam que a quantidade e velocidade de decomposição de serapilheira e seus componentes como folha, material reprodutivo e material lenhoso podem ser afetados quando estiverem sob estresse hídrico e saturação de água no solo, podendo consequentemente também afetar outros mecanismos envolvendo carbono e nutrientes (Silva *et*

al., 2009). Isto quer dizer que a produtividade primária é controlada em grande parte pela quantidade e duração de chuvas; desse modo à precipitação interanual e variações sazonais na pluviosidade restringem e controlam a produtividade e a dinâmica de nutrientes desses ecossistemas, pois a produção de folha é determinada, pelo menos em parte, pela disponibilidade de água e atividade fotossintética (Dirzo *et al.*, 2011).

A produção de serapilheira total, assim como, de seus componentes, é baseada na sua característica como “indicador de reação”, capaz de responder às alterações micrometeorológicas do ambiente (Araújo *et al.*, 2006), principalmente, à deficiência hídrica (Delitti, 1995; Matos, 2012) e sua saturação. A variabilidade climática interanual e sazonal da Amazônia é diretamente relacionadas com os padrões oceano-atmosfera de grande escala. Estes padrões estão associados ao ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Oceano Pacífico e às fases do gradiente meridional inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSM) sobre o Oceano Atlântico intertropical (Nobre e Shukla, 1996; Souza *et al.*, 2000; Hofhansl *et al.*, 2014), os quais modulam, portanto, o padrão de distribuição de precipitação na região. A região amazônica, além de receber elevada incidência de radiação solar na região tropical, sofre intensa influência da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), que favorece a ocorrência de grandes quantidades de precipitação pluvial praticamente em todas as épocas do ano. (Horel *et al.*, 1989).

Por outro lado, a ocorrência de El Niño-oscilações Sul (ENOS), que está associado ao aquecimento diferencial das águas do oceano Pacífico, provoca consequências drásticas na Amazônia brasileira, principalmente na redução das chuvas tropicais (Costa e Foley, 2000; Nobre *et al.*, 1991). A frequência e a intensidade das secas na Amazônia poderão vir a aumentar no futuro, provocando alterações consideráveis no comportamento da floresta (Hofhansl *et al.*, 2014) dentre elas o aumento de queimadas naturais. O stress por falta de água causa redução na produção de biomassa em espécies de rápido crescimento, enquanto que nas regiões de maior precipitação e menor déficit hídrico ocorre maior produtividade (Stape *et al.*, 2004).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na Reserva Biológica do Cuieiras, onde está instalada a torre K34, (latitude: $2^{\circ} 36' 32,67''$ S; longitude: $60^{\circ} 12' 33,48''$ W; altitude 130 m) (Araújo *et al.*, 2002) situada na área de pesquisa do Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), localizada a 60 km ao norte da cidade de Manaus. A Reserva Biológica do Cuieiras tem acesso apenas pela estrada vicinal ZF-2, com entrada pelo km 50 da BR- 174, percorrendo 34 km de ramal de estrada de barro até a estação LBA/INPA. A reserva fica localizada em uma área de floresta primária medindo cerca de 22735 ha (Figura 2).

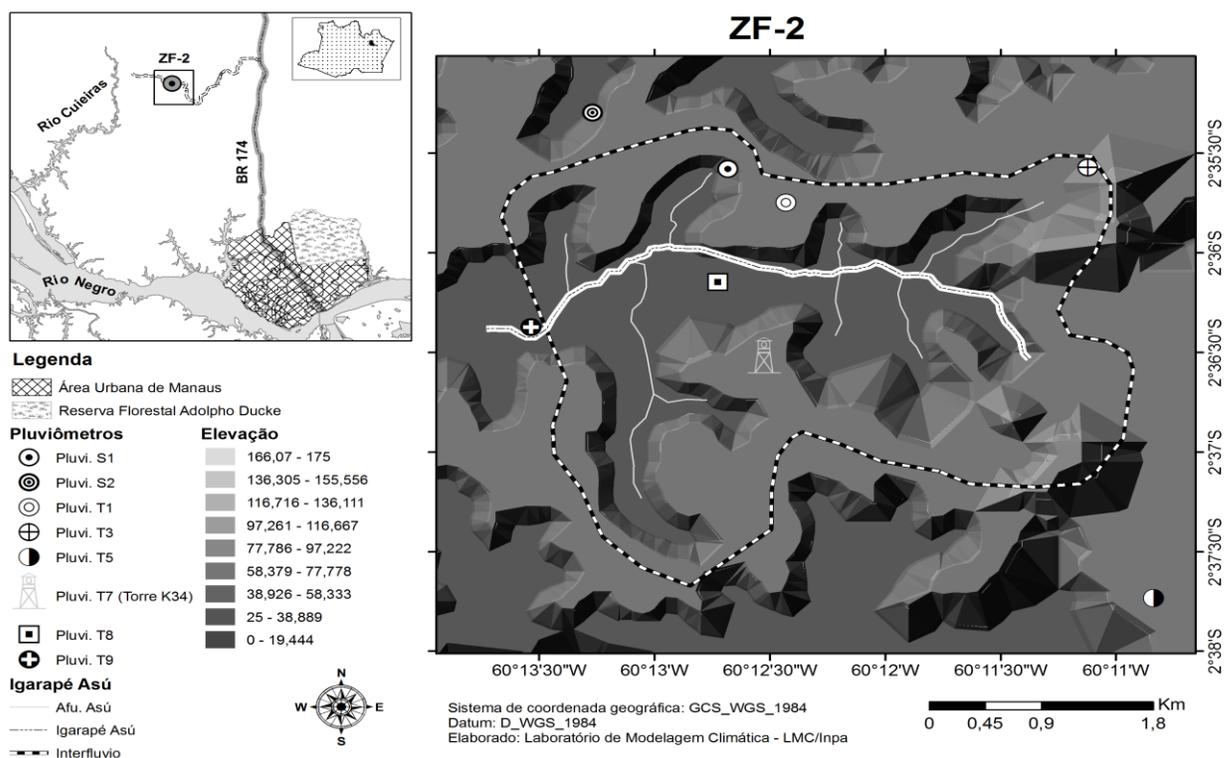


Figura 2. Área de estudo da Microbacia Experimental do Igarapé Asú.
Fonte: Denisi Holanda Salão-Engenheira Ambiental.

4.2. CARACTERIZAÇÕES FISIAGRÁFICA

O relevo é caracterizado por áreas de platô, vertente e baixio que apresentam flora diferenciada. É constituído por diversos platôs intercalados por vales onde aparecem vários igarapés, compondo uma rica rede de escoamento (LBA, 2016; Santos, 1999). Nas áreas de platôs, localizados nas áreas mais elevadas, a floresta tem maior biomassa, caracterizando-se por vegetação com dossel entre 35-40 metros, com muitas árvores emergentes com altura superior a 45 m. A floresta das vertentes, caracterizadas por elevada declividade, apresenta dossel de 25 a 30 m, com menos árvores emergentes. Já as de baixio, caracterizam-se pela presença de poucas árvores emergentes, com sub-bosque denso formado por plantas com muitas raízes superficiais e árvores que sofrem influências de cursos de água, com raízes escoras adventícias. Seu dossel varia entre 20 e 35 m (Ribeiro, 1999; Higuchi *et al.*, 2004).

Os solos em áreas de platô são de textura argilosa e classificados como Latossolos Amarelos; nas encostas (vertente) variam de argilosos nas áreas próximas aos platôs a areno-argilosos nas áreas mais próximas aos baixios, sendo classificados como Argissolos Amarelos. Nas áreas de baixios os solos são de textura arenosa, Arenossolos Hidromórficos (Ferraz *et al.*, 1998). O clima da região é do tipo “Am”, caracterizado como clima tropical quente e úmido com chuvas abundante e bem distribuída durante o ano inteiro (Kottek *et al.*, 2006). Apresenta uma estação úmida (dezembro a maio), alternando com uma estação seca (agosto a novembro) (Radam, 1978). Possui temperatura média anual oscilando entre 25,6°C e 27,6°C, com precipitação anual entre 1.800 e 2.839 mm e umidade relativa do ar variando de 84 a 90%, ao longo do ano (Leopoldo *et al.*, 1987; Araújo, 2002; Tomasella *et al.*, 2007).

4.3. COLETA DE DADOS

4.3.1 PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA FINA

Neste estudo para a determinação da produção anual de serapilheira fina e sua variação sazonal e interanual foram utilizados uma série de dados coletados entre os anos de 2005 e 2015, provenientes de coletas feitas em 3 posições topográficas distintas: Platô, vertente e baixio. Cada área está dividida em 3 sub-parcelas de 20 x 80 m. Em cada sub-parcela foram distribuídos ao acaso 10 coletores de pvc (50x50 cm), com fundo de tela de náilon (1 mm de malha) distante 50 cm do solo, contabilizando 90 coletores no total (Figura 3). A cada 15 dias as amostras foram coletadas em sacos plásticos devidamente identificados. O material coletado foi submetido a uma secagem ao ar e em seguida triado, ou seja, limpo para a separação dos componentes principais: folhas, madeira ($\phi \leq 2$ cm) e material reprodutivo. Após a triagem, todo material foi colocado para secar em estufa a 65–70 °C até atingir um peso constante.



Figura 3. Coletor de serapilheira 50 x 50 cm.

Ao atingirem o peso constante, as amostras foram pesadas e em seguida armazenadas. As amostras quinzenais foram agrupadas em amostras mensais para cada coletor e o valor anual de cada um foi utilizado para o cálculo da produção anual de serapilheira (em Mg ha⁻¹ ano⁻¹) da floresta em cada posição topográfica (platô, vertente e baixio).

4.3.2. MEDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Os dados das anomalias de temperatura do mar utilizados neste trabalho como da região são – Anomalia de temperatura do Mar do Atlântico Norte (ATSMAN), Anomalia de temperatura do Mar do Atlântico Sul (ATSMAS) e Anomalias de temperatura do Pacífico (ATMSP) que será utilizado nos gráficos como ENOS, foram obtidos gratuitamente da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei>). O monitoramento de ENOS é baseado no Índice Multivariado de ENOS das seis principais variáveis observadas sobre Oceano Pacífico tropical, essas seis variáveis são: pressão do nível do mar, zonal e meridional do vento de superfície, temperatura da superfície do mar, temperatura do ar de superfície e fração de nebulosidade total do céu. O ENOS é calculado separadamente para cada uma das doze estações bimestrais (Wolter e Timlin, (1993); Wolter e Timlin, (2011)). Os valores negativos do ENOS representam a fase ENOS fria, a La Niña, enquanto que os valores de ENOS positivos representam a fase ENOS quente (El Niño). Este é ainda dividido em eventos fracos (com índice multivariado ENOS de 0,5 a 0,9, moderados (1,0 a 1,4), fortes (1,5 a 1,9) e muito fortes ($\geq 2,0$), tanto para El Niño (positivo), quanto La Niña (negativo) (Figura 4). Para efeitos deste trabalho, para que um evento seja categorizado como fraco, moderado, forte ou muito forte, deve ter igualado ou ultrapassado o limiar durante, pelo menos, 3 períodos consecutivos de sobreposição de 3 meses.

Os dados meteorológicos referentes à precipitação, temperatura e velocidade do vento foram medidos continuamente, o pluviômetro e o sensor que mede temperatura e velocidade do vento foram instalados acima do dossel na torre meteorológica K34 a uma altura de 54 metros. Além dos dados da torre K34 do grupo da micrometeorologia, foram disponibilizados dados da Coordenação de Pesquisa Hidrológicas do INPA (CPH) de precipitação dos pluviômetros

instalados em toda bacia. Tanto os dados da micrometeorologia quanto da CPH foram coletados pelos seus respectivos grupos, os quais foram disponibilizados para fazer a correlação com os dados da produção de serapilheira. Todos os dados de precipitação, velocidade do vento, temperatura do ar e dias sem chuva, bem como temperaturas máximas e mínimas da área de estudo foram obtidos do período de maio de 2004 a agosto de 2015, cuja as coordenadas geográficas são latitude 2° 36' S e longitude 60 12°W que compreende a área da Reserva Biológica do Cuieiras ZF2.

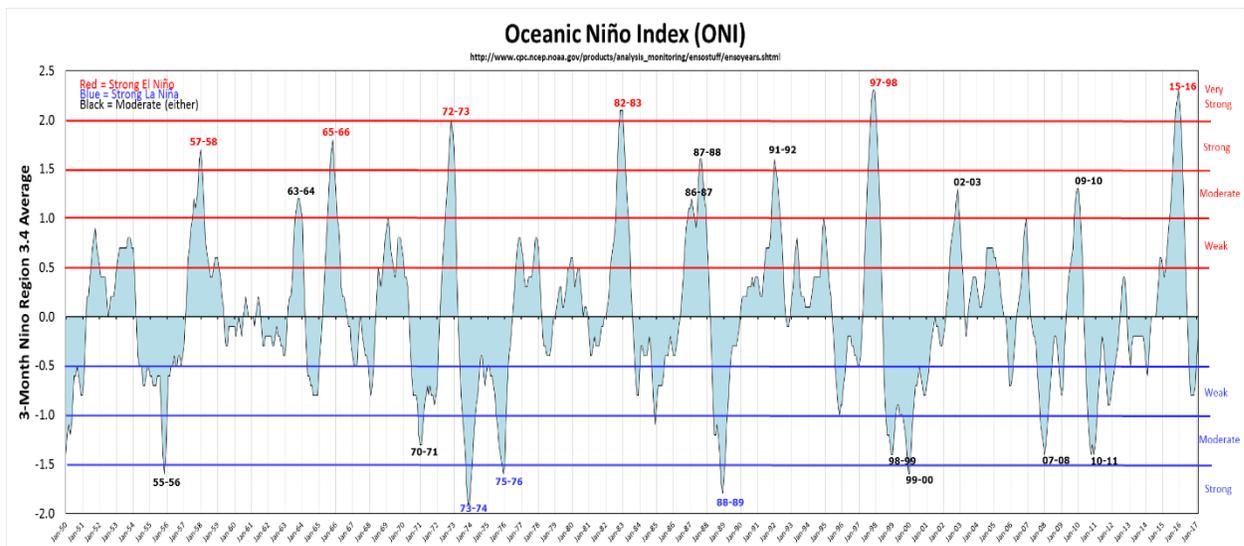


Figura 4. Valores Médios do índice do Oceano de Niño de 3 meses.

Fonte: Adaptado de Golden Gate Weather Services (2017).

As anomalias da temperatura da superfície do mar do Pacífico analisadas nesse trabalho se referem ao ENOS da região El Niño 3.4 e dados de anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) do Atlântico Tropical Norte e (ATSM) do Atlântico Tropical Sul. Em ambos os índices as anomalias são calculadas em relação à climatologia do período de estudo. E as análises estatísticas foram efetuadas para o período de maio 2004 a agosto de 2015 a partir da tabulação dos dados mensais em planilhas. Os dados foram tabulados em planilhas do software Excel, versão 2013, em intervalos mensais, e anuais. Uma vez tabulados, os dados foram estatisticamente analisados no programa Systat 10.2. Essa etapa teve início com a definição do

total de chuva e de dias sem chuva para cada ano da série. Esse valor foi obtido a partir do somatório dos valores mensais, tanto para precipitação quanto para os dias sem chuva. A aplicação de médias de precipitação para o período de 10 anos permitiu determinar o comportamento climatológico mensal e anual das chuvas da área em estudo. Já para a velocidade do vento e temperatura do ar, tanto máximas como mínimas foram tiradas medias mensais (estação seca e chuvosa) e anuais. Com o intuito de identificar a existência ou não de sinais de mudanças climáticas nas observações hidrometeorológicas locais, foram analisadas a variabilidade da precipitação, temperatura do ar, tanto máximas quanto mínimas, dias sem chuvas e velocidade do vento interanual na Amazônia para o período de 2004 a 2015, assim foi analisado seus efeitos associados aos fenômenos El Niño (2004/2005; 2009/2010; 2014/2015) de intensidade forte e verificar qual TSM das regiões dos Niños e TSM do Atlântico influenciam mais na precipitação da Amazônia (NOA, 2017).

4.3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para testar os efeitos do clima sobre a produtividade de serapilheira, foram associados os registros diários de variáveis climáticas, ou seja, magnitude da precipitação total (PrecT), número de dias sem chuva (DC), velocidade do vento (VV), temperatura máxima (TMax) e temperatura mínima (TMin) para os intervalos de coleta de serapilheira (4 semanas), utilizando o programa Systat 10.2. Portanto, foram calculados os montantes mensais de produção de serapilheira (PS), precipitação total (PrecT) e o número de dias sem chuvas (DC), bem como a média de temperaturas mensal (TMed), mínimo (TMin) e máximas (TMax).

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa do Systat e do Action Stat. Para explorar ainda mais a sensibilidade da produção de serapilheira ao clima e para separar os padrões de variações interanuais e sazonais, foram calculados os montantes anuais e as médias mensais de variáveis climáticas e de produtividade e calculadas as abordagens estatísticas complementares. Além disso, foram calculado os montantes anuais ou as médias de variáveis climáticas registradas durante o período de coleta e realizadas regressões lineares para testar relações significativas do índice ENOS, com precipitação média anual (PMA), número anual de

dias sem chuva (DC), a média anual da temperatura máxima (TMax), média anual da temperatura mínima (TMin), bem como a relação entre o PMA e TMax. Ademais, foram também calculadas as médias mensais das variáveis climáticas e de produtividade registrados durante o período de estudo e foi feita uma análise de correlação Kendall para visualizar a relação entre variáveis climáticas e parâmetros de produtividade em relação ao período de ENOS (2004/2005; 2009/2010 e 2014/2015).

Os modelos de regressão linear foram também calculados para investigar efeitos significativos das anomalias da temperatura do mar (ATSM) do Atlântico e Pacífico e a precipitação (Prec), número de dias sem chuva (DC), e as temperaturas máximas (TMax) sobre a produção de serapilheira e seus componentes. A análise de variância (ANOVA) foi usada para testar as diferenças significativas no conjunto de dados.

5. RESULTADOS

5.1 PRODUÇÃO DA SERAPILHEIRA FINA

5.1.1 VARIAÇÃO INTERANUAL

A produção interanual de serapilheira fina (formada por folhas, material lenhoso, materiais reprodutivos e resíduos), durante os anos de 2005 a 2014 variou de 9,4 (t/ha) a 7,1 (t/ha) para a floresta de platô, 9,4 (t/ha) a 7,2 (t/ha) na floresta de vertente e 7,9 (t/ha) a 6,2 (t/ha) na floresta de baixio (Figura 5). Na área do platô e baixio a produção máxima ocorreu no ano de 2005 e nas áreas da vertente em 2009 anos de maior influência das anomalias climáticas. Quanto a produção da serapilheira nas diferentes posições topográficas, durante os anos, verificou-se que a produção respondeu de forma similar às anomalias climáticas na área do platô. No entanto, ao analisar a produção de serapilheira entre as topografias durante os anos estudados, tem-se os maiores valores em 2007, 2009, 2010 e 2011 na área da vertente, anos que houve transição das anomalias do Oceano Pacífico (El Niño /La Niña e vice versa) (Figura 5). Foi verificado que a produção de serapilheira e de seus componentes como folha, madeira e material reprodutivo, apresentaram padrões distintos nas variações interanuais. As produções de serapilheira e sua componente de folhas nas três posições topográficas apresentaram diferenças significativas entre os anos, entretanto para os seus componentes como material lenhoso (ML) e material reprodutivo (MR) não apresentaram diferenças significativas, com exceção do MR na área da vertente (Anova, $F=$; $p<0,05$) e uma tendência significativa do PMRP ($p=0,07$) principalmente entre os 2007 e 2009 ($p=0,059$) (Figura 5 e Tabela de apoio A1).

Com relação às respostas da produção anual de serapilheira e seus componentes entre as anomalias do TSM do Atlântico e Pacífico e as variáveis climáticas, observa-se que apenas a anomalia da produção de material reprodutivo da vertente (APMRV) e de folhas do baixio (APFB) respondeu significativamente a ATSMAS ($r^2 = 0,47$; $p<0,05$) e ao ENOS ($r^2= 0,81$; $p<0,01$) respectivamente. Já a anomalia do componente material lenhoso do platô (APMLP) e material reprodutivo do baixio (APMRB) teve uma tendência significativa para o ATSMAN (Figura 6 e tabela de apoio A2 e A3). Para as outras variáveis temperatura máxima (TMax), dias

sem chuva (DC), precipitação, velocidade do vento e temperatura mínima (TMin) não houve relação significativa com os mesmos.

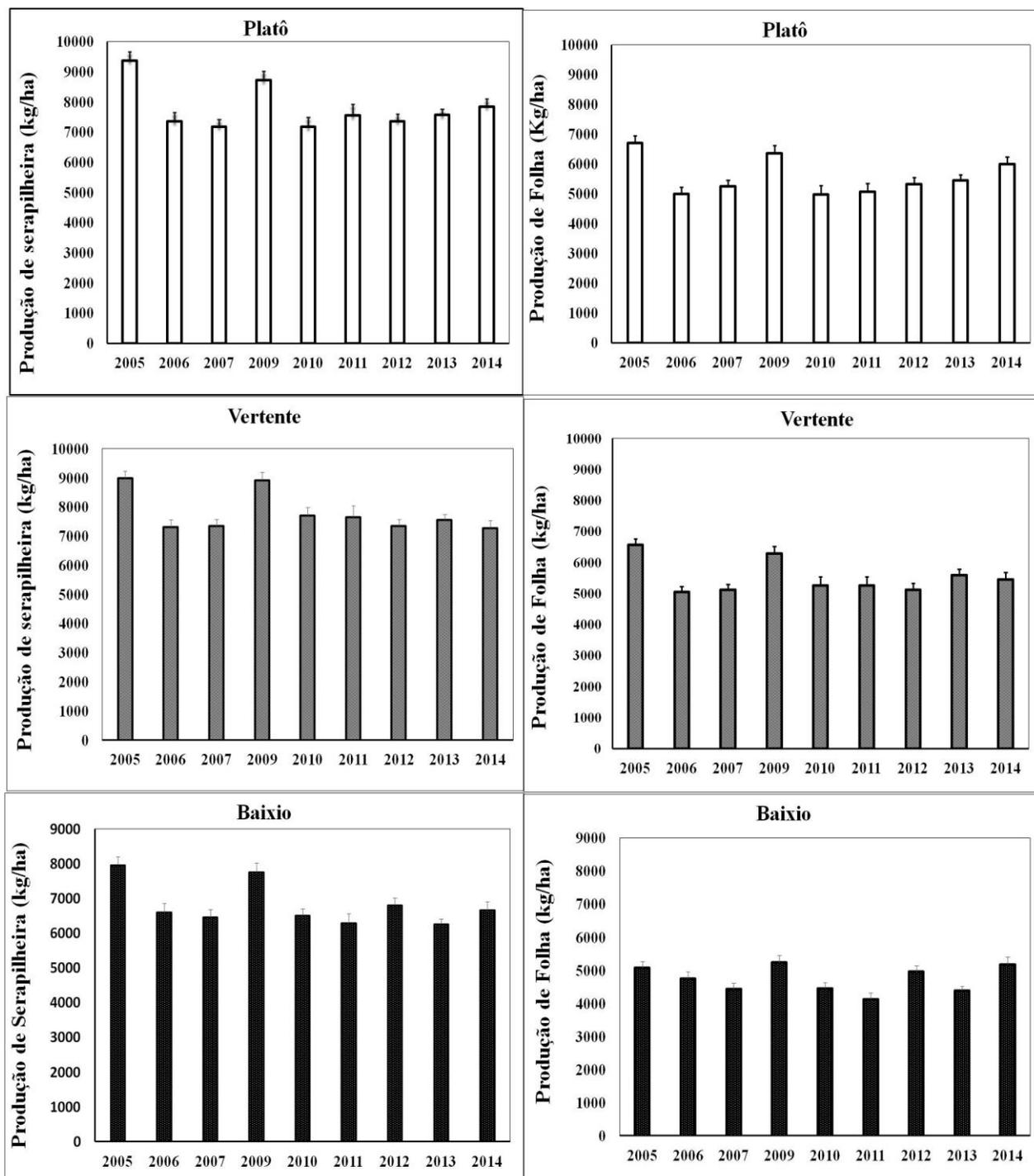


Figura 5. Variação interanual dos totais anuais das variáveis de produtividades de serapilheira e de sua componente folha com seus respectivos desvios-padrões

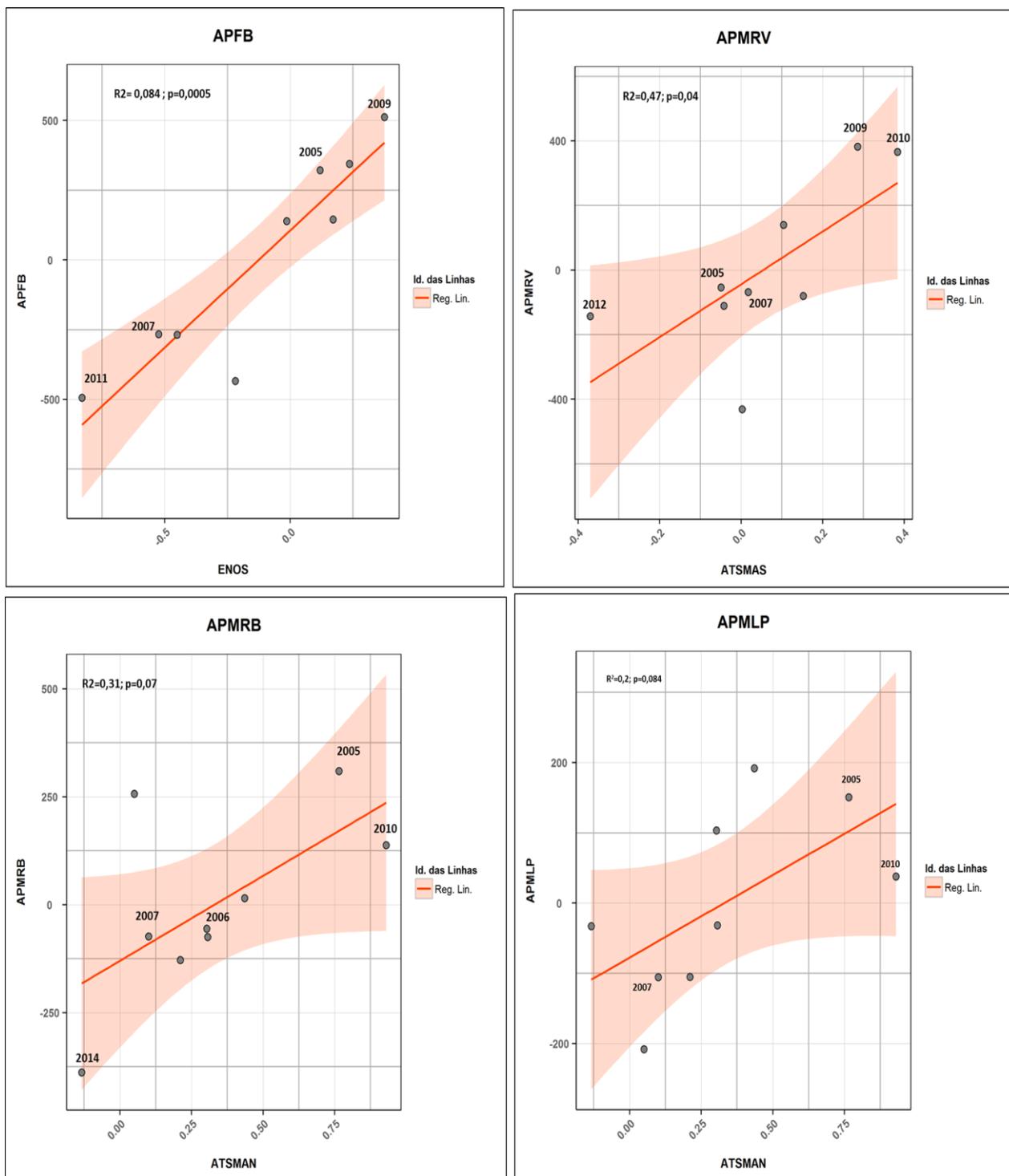


Figura 6. Relação entre ENOS e anomalia do TSM do Atlântico Norte (ATSMAN) e Sul (ATSMAS) com a anomalia anual da produção serapilheira e seus componentes nas três posições topográficas (platô, vertente e baixio). Anomalia da produção: do material lenhoso do platô (APMLP), do material reprodutivo da vertente (APMRV), da produção da folha (APFB) e material reprodutivo do baixio (APMRB).

5.1.1.2 INFLUÊNCIAS INTERANUAIS DAS ANOMALIAS DO TSM DO PACÍFICO E ATLÂNTICO NAS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS E SUAS RELAÇÕES COM A PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E SEUS COMPONENTES

Apesar de não haver uma relação significativa interanual entre as variáveis climáticas de temperaturas, precipitação, velocidade do vento e número de dias sem chuva e a produção de serapilheira durante o período de estudo de maio de 2004 a agosto de 2015, houve relações significativas das variáveis climáticas com as anomalias da TSM do Atlântico e Pacífico. Essas anomalias do TSM resultaram na diminuição das precipitações anuais e no aumento das médias das temperaturas máximas e aumento dos dias sem chuva. A precipitação média anual teve uma redução de 294 mm em 2010 em relação a 2005, anos que tiveram influências de El Niño e do TSM do Atlântico Norte. Já em 2007/2008 a precipitação atingiu o valor mais alto já registrado, de 2890 mm, durante o período forte de La Niña (Ceptec e NOA, 2017) (Figura 7 e figura de apoio A1). No entanto, ao analisar anos calendário (por exemplo, de janeiro a dezembro), há uma maior variabilidade e não se observam relações significativas das anomalias do TSM do Atlântico e Pacífico com a precipitação ($p > 0,05$), apesar de forte tendência de causa e efeito (Figura de apoio A1).

Já a temperatura máxima teve um pico de aumento em 2015 ($p < 0,05$) (Figura 7). As médias das temperaturas máximas e mínimas tiveram uma correlação significativa positiva com o ENOS, com aumento de $0,7^{\circ}\text{C}$ da média da temperatura máxima anual no ano de 2015 e um aumento de $0,6$ no evento de El Niño (2009/2010) (Figuras 7). As variáveis da média anual da temperatura do ar e do número de dias sem chuva foram significativamente positivas (Figura 7) com o ENOS, resultando no maior número de dias sem chuva em 2015 (ano de El Niño) e a menor em 2008 (ano de La Niña). Em relação a velocidade do vento (VV) com as anomalias climáticas ENOS e anomalia de TSM do Atlântico não houve relação significativa ($p > 0,05$).

Considerando-se que as anomalias normalmente começam em maio (ano X) e terminam em abril do ano seguinte (ano X + 1), (Hofhansl *et al.*, 2014), observou-se que ao analisar o período de abril de 2004 a maio de 2015 através de regressões múltiplas e correlações (Tabela 1), observou-se que a precipitação responde aos fenômenos climáticos, tanto do ENOS (relação negativa) quanto do ATSM do Atlântico. A ATSMAN resultando em uma relação negativa, enquanto que a ATSMAS resultou em uma relação positiva, ou seja, de aumento de precipitação

(Tabela 1 e Figura 7) conforme descrito anteriormente por Silveira (2013) e Limberger e Silva (2016).

Tabela 1. Efeito das Anomalias do ATSM do Pacífico e Atlântico sobre a variável de Precipitação durante o período de abril de 2004 a maio de 2015.

<u>Parâmetro</u>	<u>Estimativa</u>	<u>P-value</u>	<u>Correlação</u>
ENOS	-16.519	0.006	-0.550
ATSMATN	-45.6	0.005	-0.525
ATSMATS	49.404	0.012	0.399
P=0,003	R ² = 0,77		

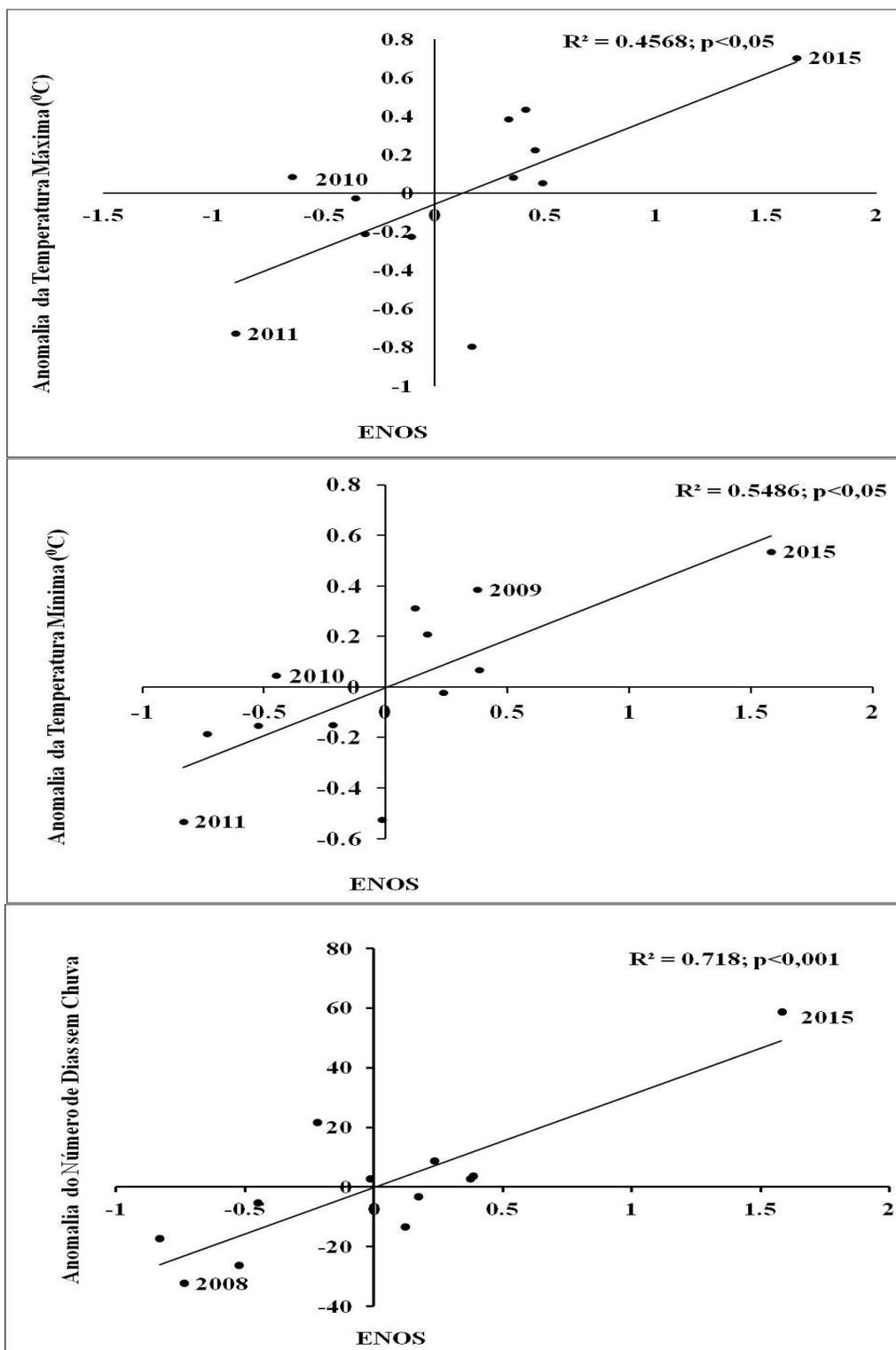


Figura 5. Relação entre ENOS com as variáveis climáticas como o número anual de dias sem chuva (DC), da média anual da temperatura máxima (TMAx) e mínima (TMin) registradas no período de 2004 a 2015. As relações significativas são indicadas pelos respectivos valores de R^2 e P.

5.1.2 VARIAÇÃO SAZONAL

As variáveis climáticas como precipitação, dias sem chuva, velocidade do vento, média da temperatura do ar e temperaturas máximas, assim como a produção de serapilheira nas três posições topográficas (platô, vertente e baixio) apresentaram variações sazonais significativas, já para os componentes de produtividades como folha, apresentaram diferenças significativas nas posições topográficas do platô e baixio ($p < 0,001$), (Figura 8, Figura e Tabela de apoio A2), enquanto que material lenhoso e material reprodutivo não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$), apesar de o material lenhoso apresentar uma tendência significativa na área do baixio (Tabela de apoio A2).

As anomalias do Atlântico (ATSMa) e Pacífico (ENOS) influenciaram a sazonalidade anual média das variáveis climáticas (médias de todo o período de estudo), de modo que a precipitação teve uma correlação positiva significativa com o ATSMa e uma correlação negativa significativa com o ENOS, a qual reduz significativamente a precipitação quando sob seu efeito. O ATSMa em conjunto com ENOS aumentaram significativamente as médias das temperaturas máximas e mínimas (Figura 9). Já a variável da velocidade do vento respondeu significativamente a sazonalidade, mas não respondeu as anomalias climáticas (Figura 8, 9 e tabela de apoio A2). Mas analisando os anos de 2007, 2009, 2010 e 2011 separadamente observa-se relações negativas significativas da velocidade do vento com ENOS e positiva com a produção de serapilheira e seu componente material lenhoso na área da vertente (de março a outubro para o ano de 2007, de março a dezembro no ano de 2010) (Tabela 2 e Tabela de apoio B1). Isso mostra que o fenômeno El Niño-Oscilação Sul ou índice Multivariado (ENOS) sobre o Pacífico e anomalias de TSM do Atlântico modulam conjuntamente uma grande parte da variação sazonal sobre a Amazônia.

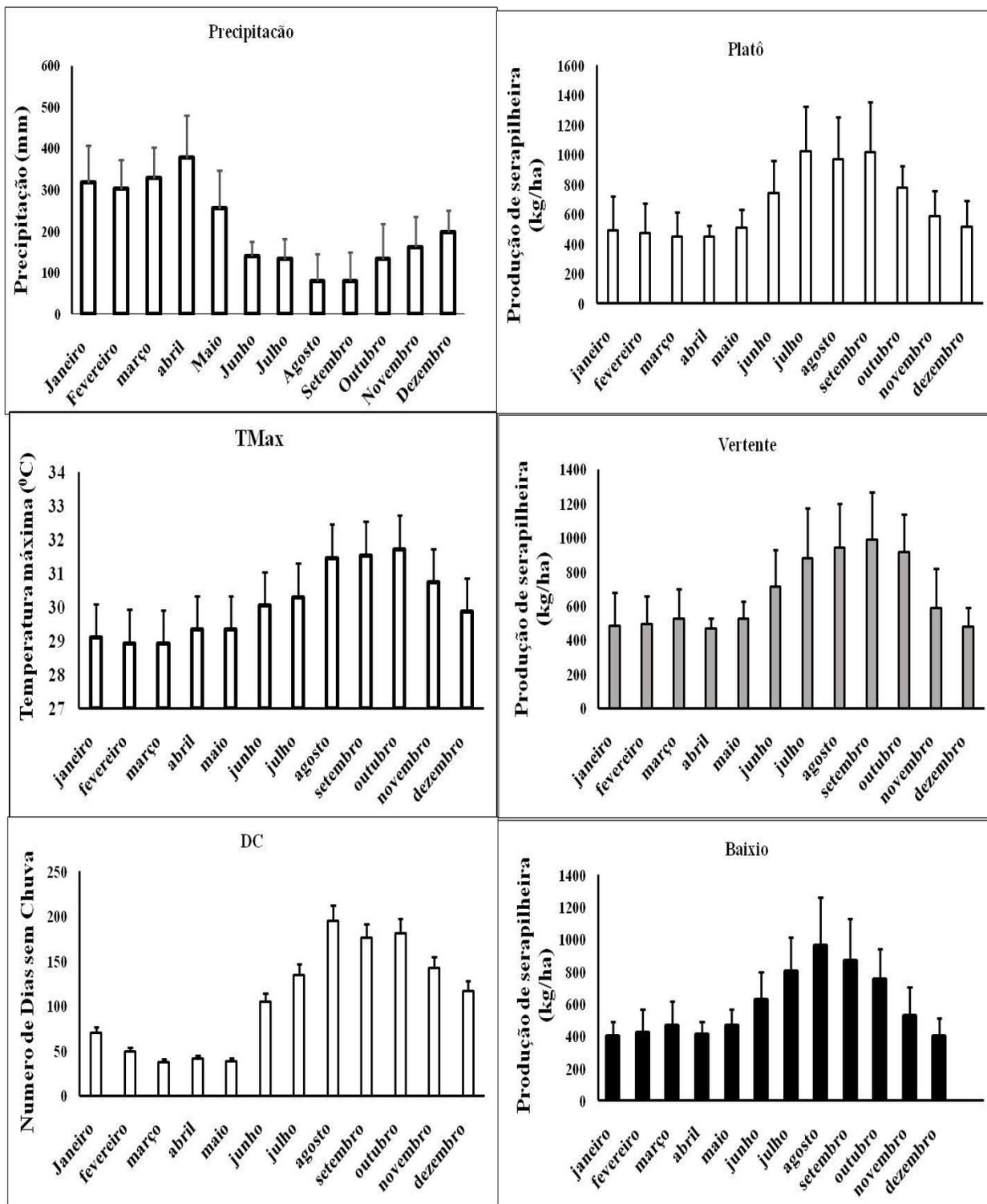


Figura 6. Variação sazonal das médias mensais (todo o período de estudo) do clima e das variáveis de produção de serapilheira com seus respectivos desvios-padrões: precipitação (Pr), temperatura máxima (TMax) e dias sem chuva (DC), bem como as médias mensais da produção de serapilheira (PS) nas três posições topográficas platô, vertente e baixo.

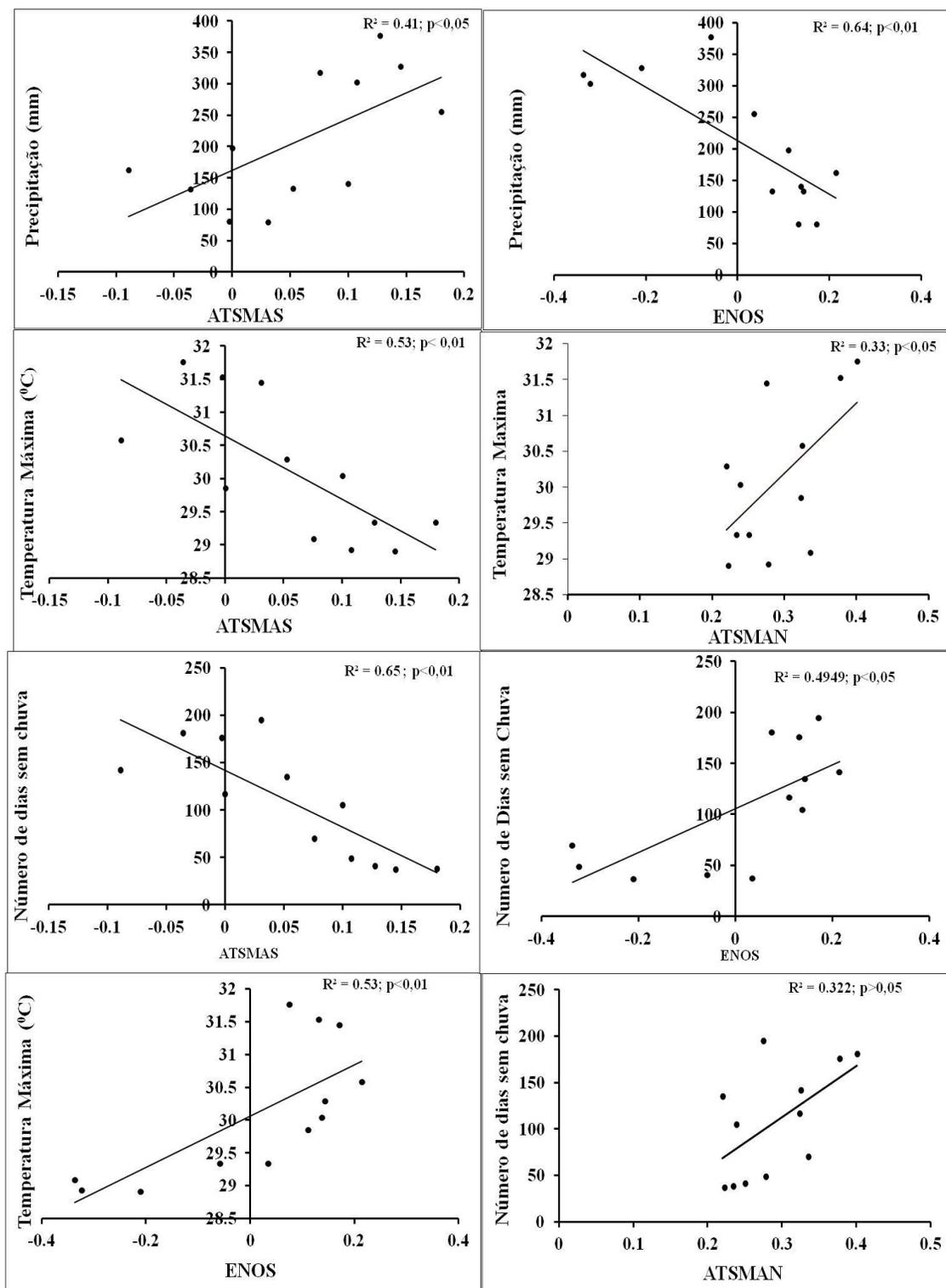


Figura 7. Relação entre ENOS, anomalia do TSM do Atlântico Norte (ATSMAN) e Sul (ATSMAS) com a média mensal das variáveis climáticas (2004-2015): Precipitação, Temperatura Máxima e o Número de dias sem chuva.

Para ajudar a visualizar as relações distintas da produção de serapilheira e seus componentes com as anomalias da temperatura do mar (ATSM) e das variáveis climáticas, foi feita uma análise de correlação de Pearson (Tabela 2). O ENOS mostrou uma relação positiva e significativa com a produção de serapilheira e vários de seus componentes, enquanto que o ATSMAN mostrou em geral um efeito positivo, porém significativo apenas para alguns componentes (MR e ML). O ATSMS mostrou em geral uma relação negativa com a produção e suas componentes. Para as outras variáveis climáticas como temperatura máxima, temperatura mínima, velocidade do vento, número de dias sem chuva houve uma relação significativa positiva com as variáveis de produtividade da serapilheira, enquanto que a precipitação obteve uma forte relação negativa significativa. (Tabela 2).

Observa-se na Figura 8 e Tabela 2, a variação mensal (médias de todo o período de estudo) da produção da serapilheira demonstrando uma sazonalidade da produção total de serapilheira bem evidenciada. Constata-se que nos meses da estação menos chuvosa a maior produção de serapilheira foi em julho e setembro para área do platô, na vertente em setembro e no baixio em agosto. A variação mensal das contribuições de folha, material lenhoso e material reprodutivo para a produção total de serapilheira nas três posições topográfica (platô, vertente e baixio) estão ilustrados na Figura 8.

Tabela 2. Análise de correlação de Pearson das médias mensais interanuais das anomalias do Atlântico, Pacífico e as variáveis climáticas: ATSMAN, ATSMAS, ENOS, precipitação (Prec), velocidade do Vento (VV), número de dias sem chuva (DC), temperatura máxima (TMax) e temperatura mínima (TMin), com as variáveis de produtividade da serapilheira: produção na área do platô- Folha (FolhaP), material lenhoso (MLP), material reprodutivo (MRP) e produção de serapilheira (SP); na área da vertente – Folha (FolhaV), material lenhoso (MLV), material reprodutivo (MRV) e produção de serapilheira (SV) e na área do Baixo- folha (FolhaB), material lenhoso (MLB), material reprodutivo (MRB) e produção de serapilheira (SB).

Matriz de Correlação de Pearson												
	FolhaP	MLP	MRP	SP	FolhaV	MLV	MRV	SV	FolhaB	MLB	MRB	SB
ATSMAN	0.12	0.30	0.55	0.17	0.20	0.63	0.29	0.30	0.16	0.34	0.54	0.20
ATSMAS	-0.41	-0.24	-0.60	-0.44	-0.44	-0.36	-0.35	-0.48	-0.38	-0.58	-0.71	-0.44
ENOS	0.71	-0.15	0.00	0.64	0.71	-0.09	-0.28	0.63	0.66	0.48	0.13	0.64
VV	0.58	0.60	0.37	0.65	0.60	0.62	0.19	0.67	0.57	0.65	0.61	0.63
DC	0.82	0.37	0.38	0.83	0.85	0.51	0.00	0.87	0.82	0.79	0.61	0.85
Tmax	0.81	0.24	0.41	0.81	0.87	0.57	-0.02	0.89	0.85	0.79	0.44	0.87
Tmin	0.47	0.09	0.48	0.48	0.57	0.58	0.10	0.62	0.54	0.56	0.49	0.56
Matriz de P-valores												
	FolhaP	MLP	MRP	SP	FolhaV	MLV	MRV	SV	FolhaB	MLB	MRB	SB
ATSMAN	0.71	0.35	0.06	0.59	0.53	0.03	0.37	0.35	0.62	0.28	0.07	0.53
ATSMAS	0.19	0.46	0.04	0.15	0.16	0.25	0.26	0.11	0.22	0.05	0.01	0.15
ENOS	0.01	0.64	0.99	0.02	0.01	0.79	0.37	0.03	0.02	0.11	0.68	0.03
Prec	0.00	0.33	0.69	0.00	0.00	0.27	0.60	0.00	0.00	0.01	0.13	0.00
VV	0.05	0.04	0.24	0.02	0.04	0.03	0.55	0.02	0.05	0.02	0.03	0.03
DC	0.00	0.24	0.22	0.00	0.00	0.09	0.99	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
Tmax	0.00	0.45	0.19	0.00	0.00	0.05	0.95	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00
Tmin	0.12	0.77	0.11	0.12	0.05	0.05	0.75	0.03	0.07	0.06	0.10	0.06

Para os anos que ocorreram maiores eventos de El Niño e La Niña foi feita uma análise de correlação de Kendall (com valores de p entre parênteses) com intuito de verificar qual das anomalias da temperatura do mar, tanto do Atlântico quanto do Pacífico surtem mais efeitos significativos sobre a produção de serapilheira, nas três posições topográficas (platô, vertente e baixo). Os anos de 2004/2005 (El Niño), 2009/2010 (El Niño) e 2015 (El Niño), considerados como tendo sofrido com as maiores influências das anomalias de temperatura da superfície do mar (Atlântico e Pacífico), exibiram padrões distintos nas variações sazonais. Durante os anos com maiores anomalias, foi observado relações significativas entre estas anomalias e as variáveis climáticas, o que resultou em influências significativas sobre a produção de serapilheira.

5.1.3 ANOS DE 2004/2005

Entre maio e novembro de 2004, houve uma relação positiva e significativa entre a produção de serapilheira e todas as anomalias em estudo, porém com maior efeito do ENOS, que apresentou o maior índice de correlação (0,54) (Figura 10 e 11). Houve uma correlação positiva do ATSMAN e ENOS (EL Niño) e negativa do ATSMAS com a precipitação, as quais a produção de serapilheira das três posições topográficas responderam significativamente. E janeiro de 2005, observa-se grandes picos de produção de serapilheira, que pode também está relacionado a grandes tempestades ocorridas neste período (Marra, 2010). Ao analisar o período de agosto de 2004 a agosto de 2005, período onde se inicia a maior influência do ATSMAN, observa-se uma correlação positiva e significativa das anomalias com a produção de serapilheira. Para evidenciar as diferenças entre a produção neste período, a média de longo prazo (2004/2015) é apresentada como referência (Figura 12). Durante essa transição de 2004/2005 observa-se que águas do Oceano Pacífico (El Niño - positivo) e do Atlântico Norte (positivo) estão mais quentes do que o normal, e de acordo Yoon e Zeng (2010) o aquecimento do Oceano Atlântico Tropical Norte induziu movimento subsidente sobre a bacia amazônica, resultando na diminuição das precipitações na região, ocasionando aumento significativo na produção de serapilheira fina nas três posições topográficas.

O Pacífico e Atlântico exercem influências diferentes dentro da Amazônia. Quando há um grande evento de ENOS (eventos de El Niño quente: 1982-83, 1986-87, 1991-92, 1997-98; eventos de La Niña frio: 1988-1989 e 1999-2000), a variabilidade da precipitação na Amazônia é dominada pela influência do Oceano Pacífico. Quando ENOS é fraco e o ATLN é quente (1979-80, 1994, 2005), a TSM do Atlântico tem um grande impacto (Zeng *et al.*, 2008), o que causou influência no ano de 2005. Ao analisar o período de junho a dezembro, observa-se uma redução na precipitação no período em questão e uma resposta significativa positiva da produção da serapilheira ao ATSMAN.

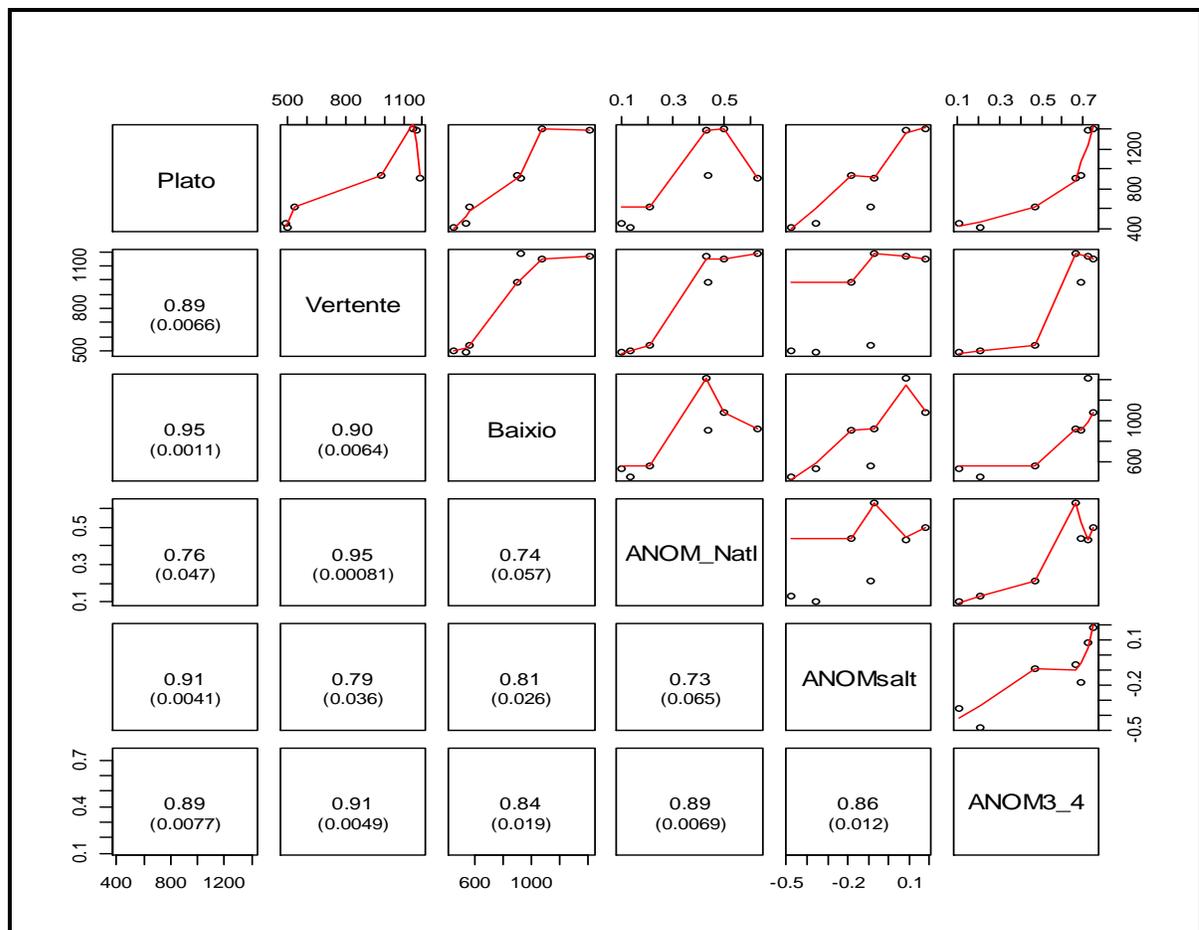


Figura 8. Análise de correlação de Kendall entre a produção de serapilheira nas três posições topográficas (Platô, vertente e baixo) com as anomalias do Atlântico Norte (ATSMAN), Sul (ATSMAS) e ENOS de maio a novembro de 2004.

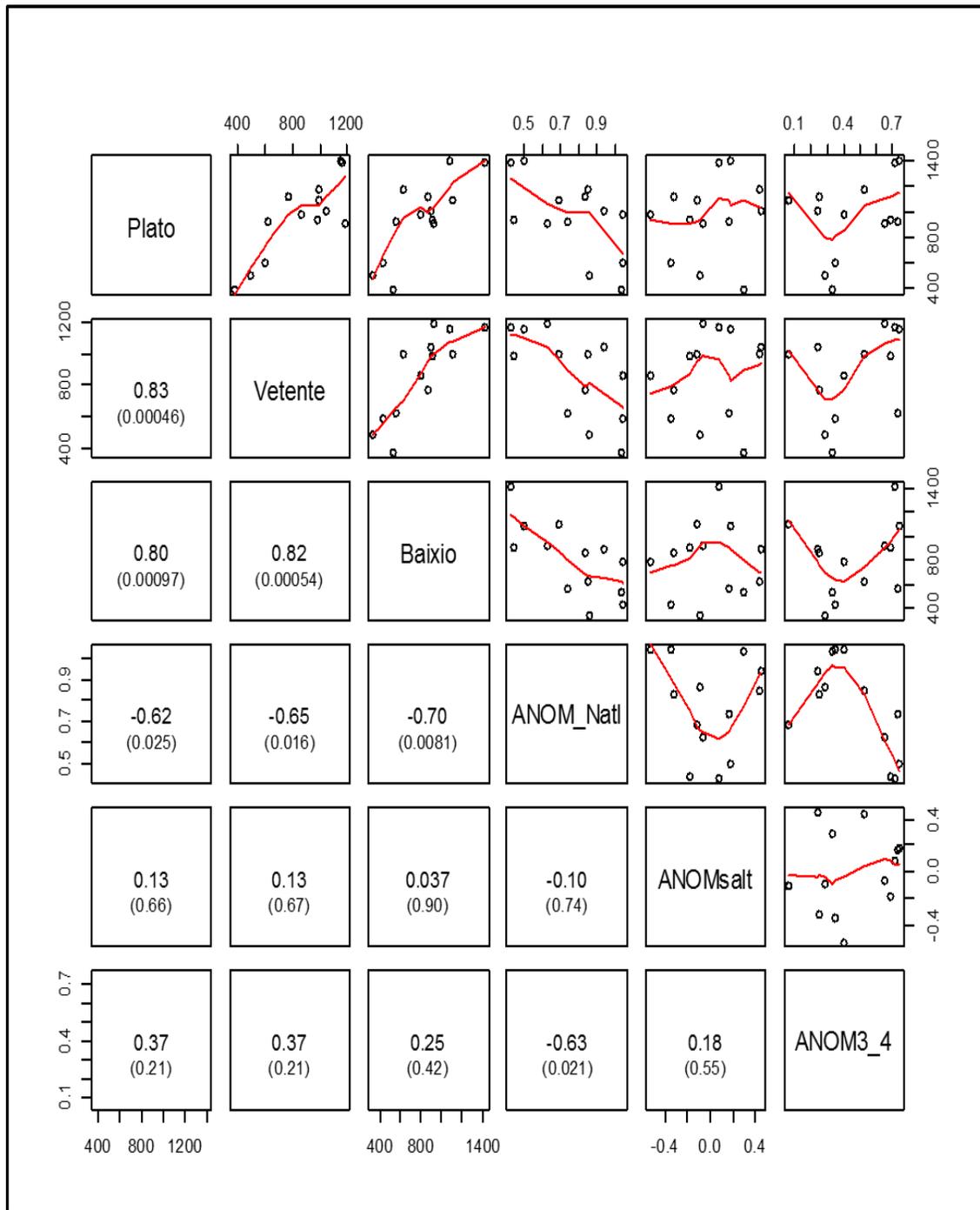


Figura 9. Análise de correlação de Kendall entre a produção de serapilheira nas três posições topográficas (Platô, vertente e baixo) com as anomalias do Atlântico Norte (ATSMAN), Sul (ATSMAS) e ENOS no período de agosto de 2004 a agosto de 2005.

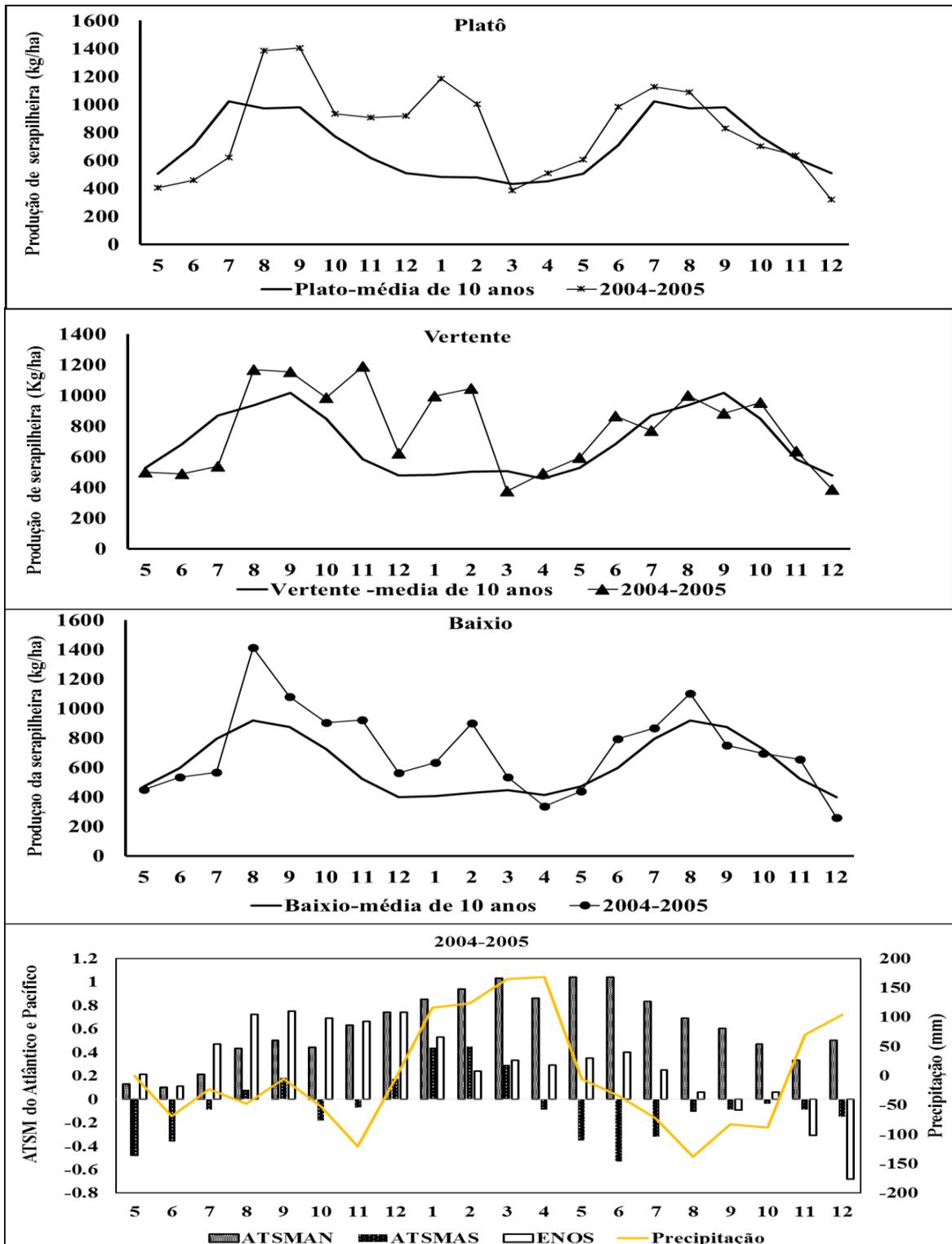


Figura 10. Variação sazonal da produção de serapilheira nas três posições topográficas em relação as anomalias do TSM do Atlântico (ATSMAN e ATSMAS) e Pacífico (ENOS) no ano de 2004/2005. Médias mensais de longo prazo são apresentadas como referência.

5.1.4 ANOS DE 2009/2010

As anomalias que tiveram maior influência em 2009 ocorreram durante o período de janeiro a outubro. Foi observado uma correlação positiva e significativa da produção de serapilheira nas três posições topográficas com o ENOS (El Niño) (Figura 9). Durante esse período observou-se que nos meses de janeiro a maio houve influências de La Niña (ENOS negativo) que aumentou o índice pluviométrico nessa área (Figura 16). No entanto nesse mesmo período tem-se também um aumento da produção de serapilheira que pode ser explicado pela relação positiva e significativa da velocidade do vento (VV) com a produção nesse período (Figura 13 e 16). Ao analisar a transição entre 2009 e 2010 (novembro de 2009 a outubro de 2010) observam-se correlações negativas significativas do ENOS (La Niña) sobre a produção de serapilheira, refletindo em menores produções nessa época apesar de não haver aumento do índice pluviométrico (Figura 14 e 16). Nesse período de novembro de 2009 a outubro de 2010 tem-se também influências significativas do ATSMAN sobre a produção de serapilheira nas três posições topográfica (março a outubro de 2010) (Figura 15 e 16). Ao analisar o gráfico observa-se que o ATSMAN intensificou a estação seca, diminuído os índices pluviométricos, no que ocasionaria no aumento da produção de serapilheira nesse período, enquanto o El Niño positivo parece ter influenciado os picos de produção de serapilheira entre julho e outubro de 2009, em função da diminuição de precipitação no período. No entanto houve uma menor produção nos meses de julho e agosto, que pode ser associada a maiores índices pluviométricos antes do início do período seco (junho), possivelmente retardando o início da estação seca.

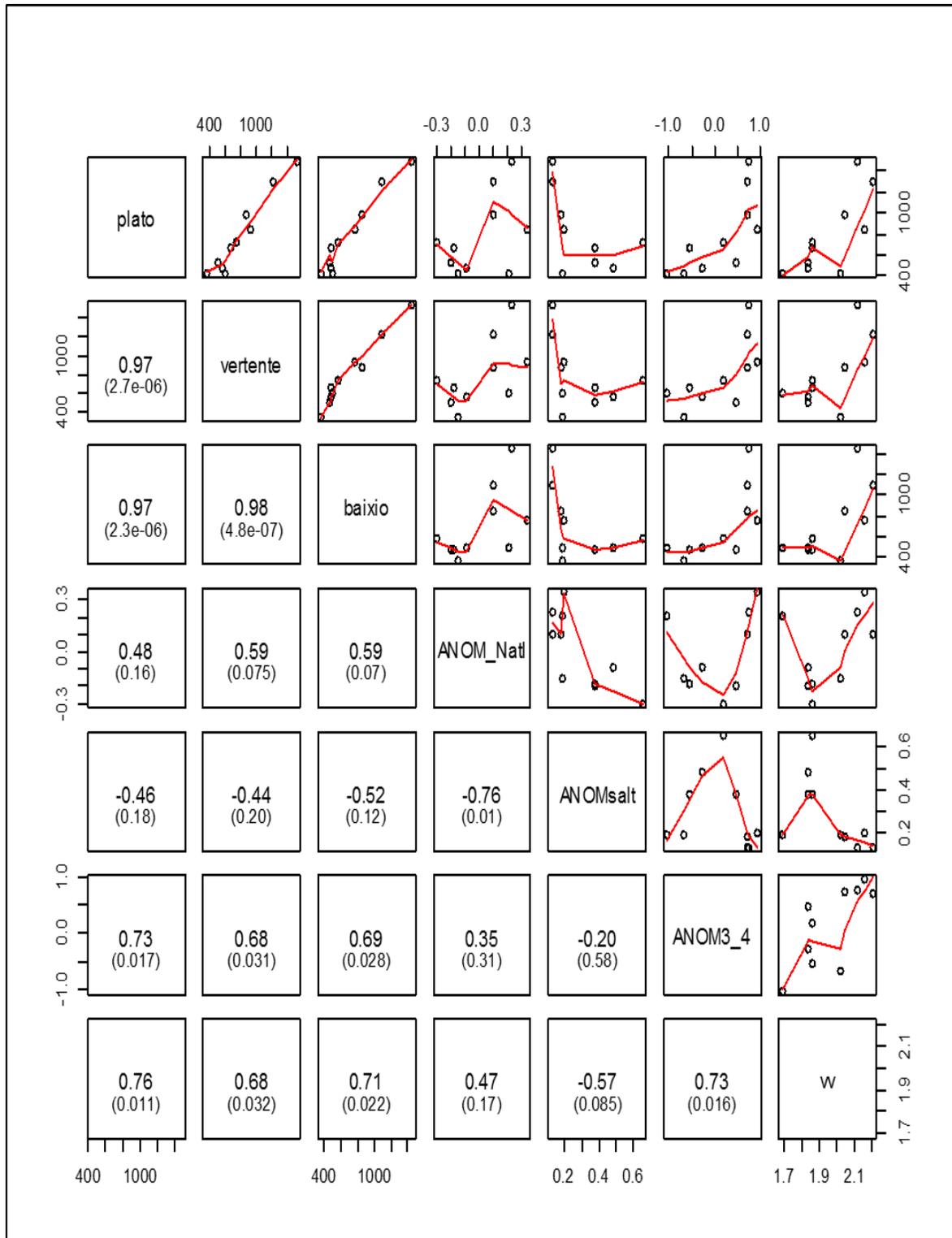


Figura 11. Análise de correlação de Kendall entre a produção de serapilheira nas três posições topográficas (Platô, vertente e baixo) com as anomalias de temperaturas do mar do Atlântico Norte (ATSMAN), sul (ATSMAS) e ENOS, bem como seu efeito sobre a velocidade do vento (VV) no período de janeiro a outubro de 2009.

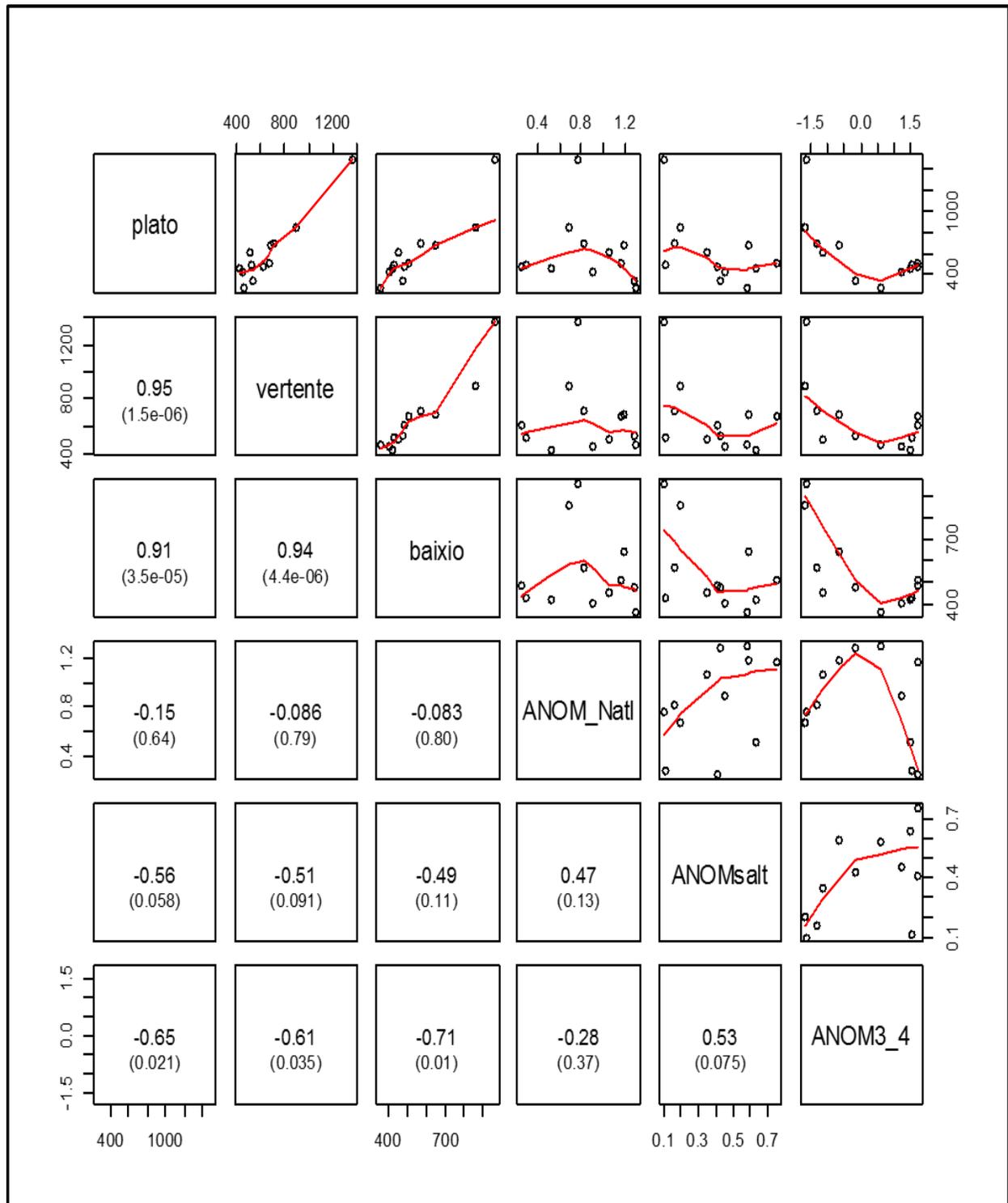


Figura 12. Análise de correlação de Kendall entre a produção de serapilheira nas três posições topográficas (Platô, vertente e baixo) com as anomalias de temperatura do mar do Atlântico Norte (ATSMAN), sul (ATSMAS) e ENOS no período de novembro de 2009 a outubro de 2010.

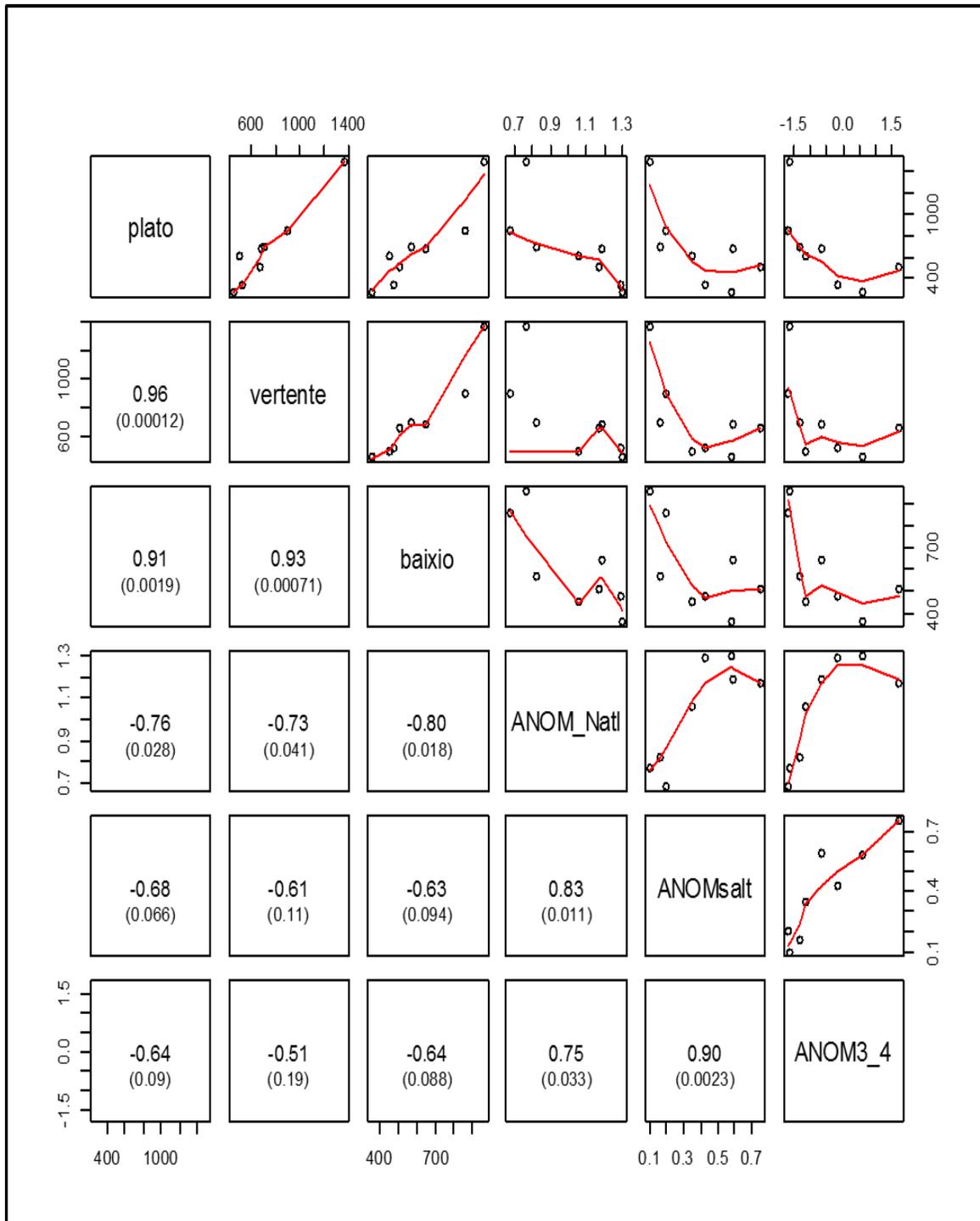


Figura 13. Análise de correlação de Kendall entre a produção de serapilheira nas três posições topográficas (Platô, vertente e baixo) com as anomalias do Atlântico Norte (ATSMAN), sul (ATSMAS) e ENOS no período de março a outubro de 2010.

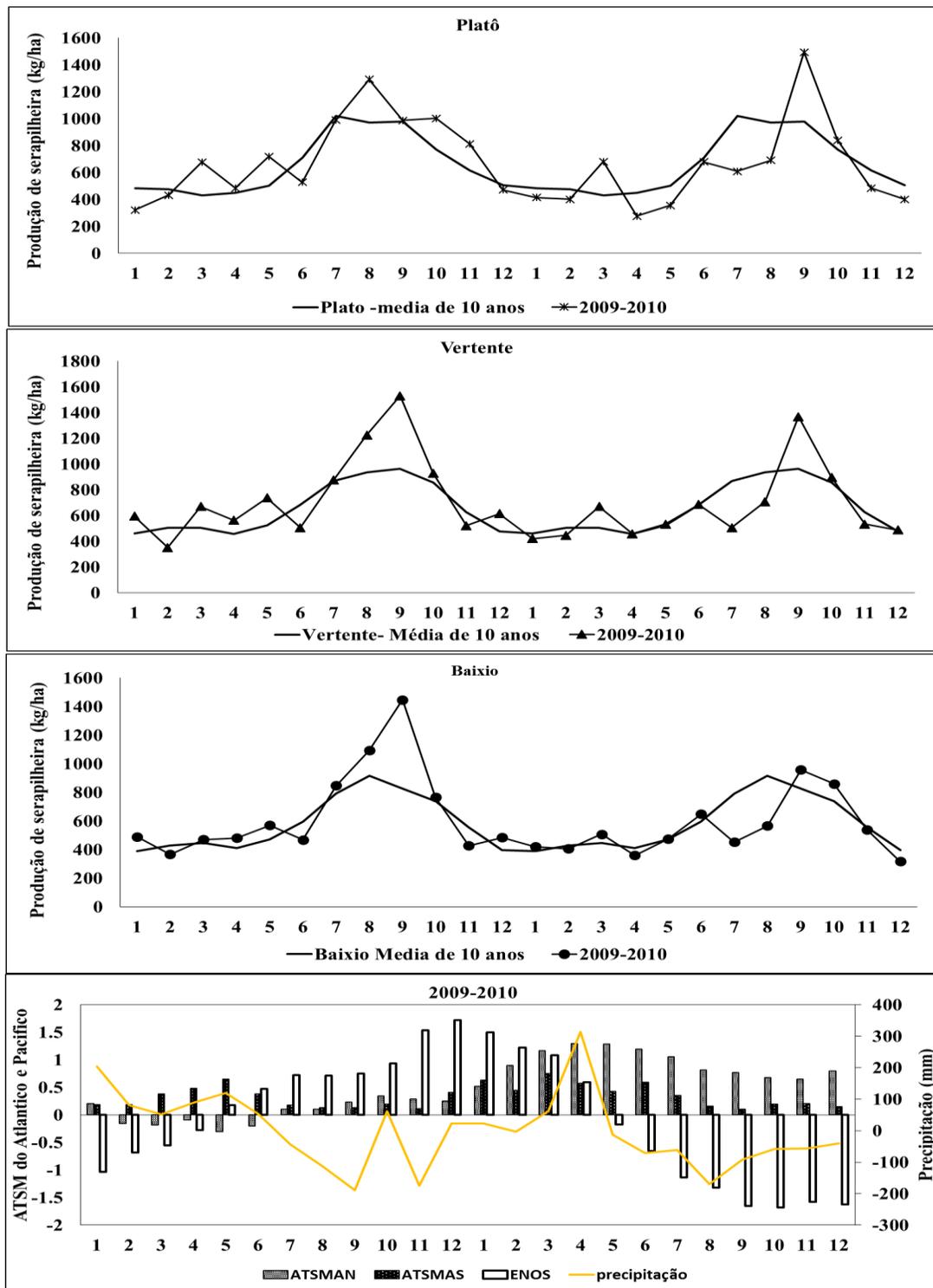


Figura 14. Variação sazonal da produção de serapilheira nas três posições topográficas em relação às anomalias do TSM do Atlântico (ATSMAN e ATSMAS) e Pacífico (ENOS) no ano de 2009/2010. Linhas sólidas apresentam a média de longo prazo de produção de serapilheira para referência.

5.1.5 ANOS DE 2014/2015

Os dados analisados neste período mostram que o evento de ENOS em 2015 modificou o regime de produção de serapilheira na área do platô pelo menos até os primeiros meses de 2015 (janeiro) e mais expressivamente entre junho e agosto de 2015. O fenômeno iniciou-se em novembro de 2014 e se intensificou ao longo de 2015, com fortes impactos na produção entre abril e agosto de 2015, coincidindo com os menores índices pluviométricos (Figura 17 e 18).

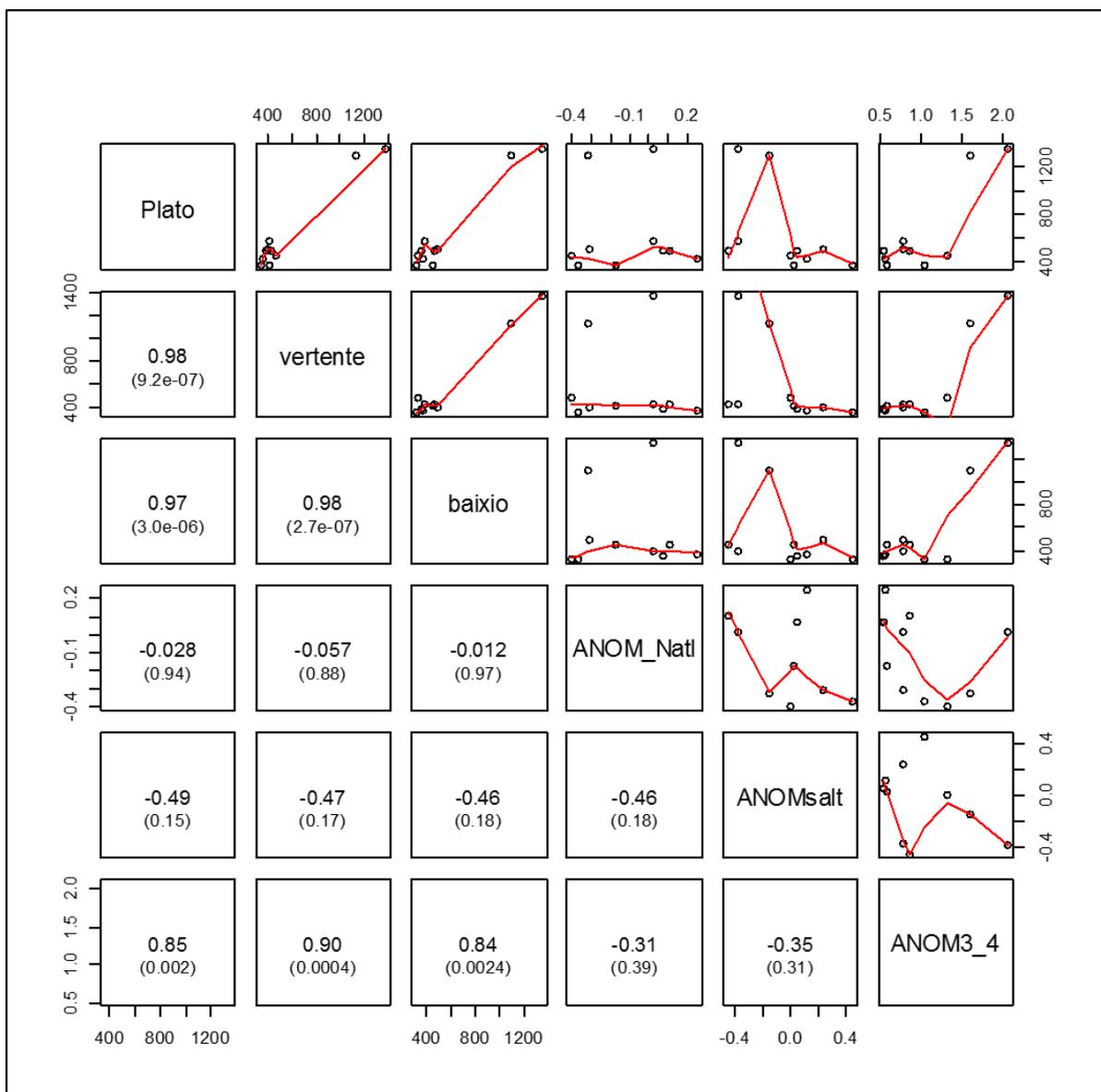


Figura 15. Análise de correlação de Kendall entre a produção de serapilheira nas três posições topográficas (Platô, vertente e baixo) com as anomalias do Atlântico Norte (ATSMAN), sul (ATSMAS) e ENOS no período de novembro de 2014 a agosto de 2015.

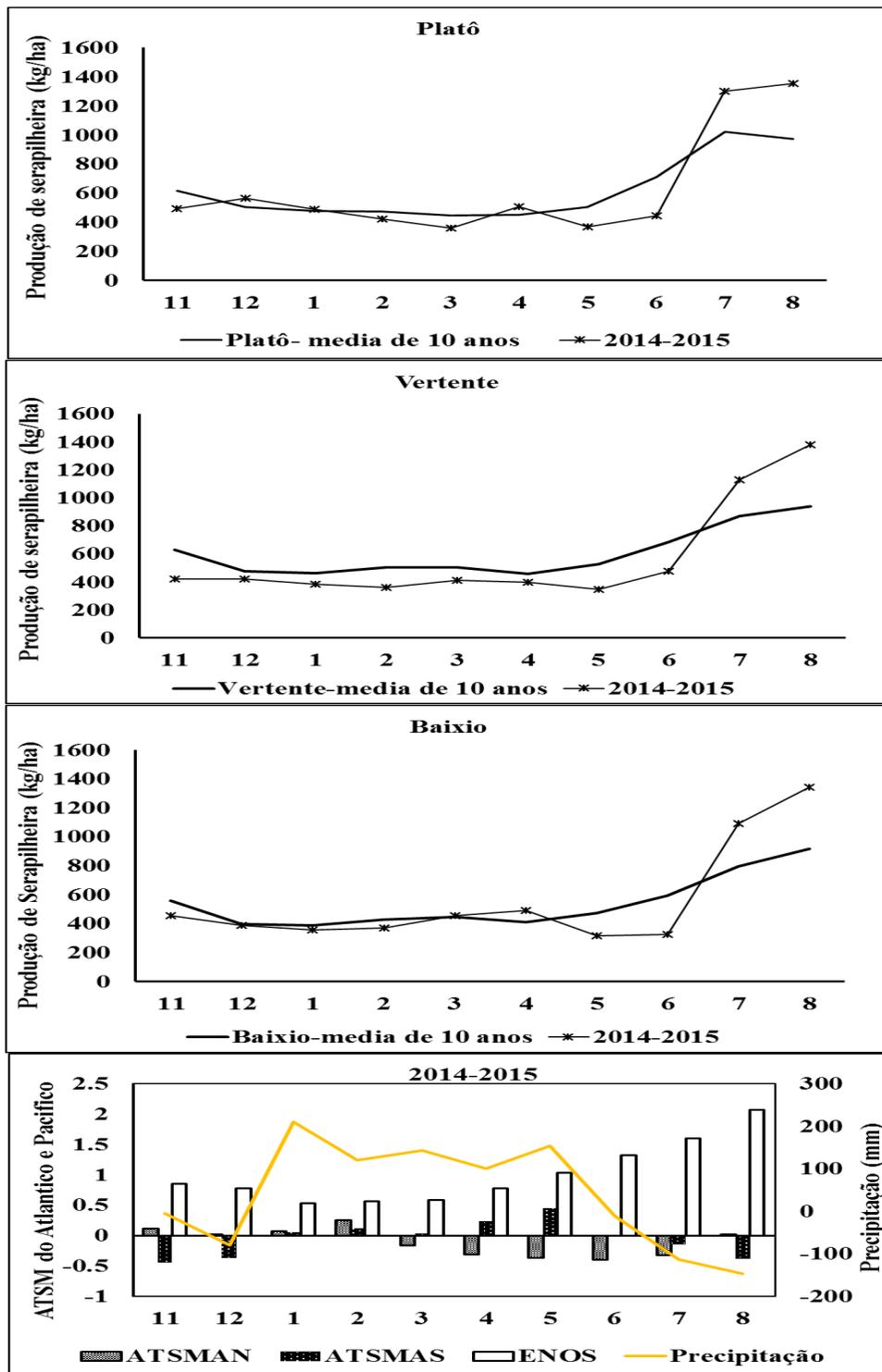


Figura 16. Variação sazonal da produção de serapilheira nas três posições topográficas em relação as anomalias do TSM do Atlântico (ATSMAN e ATSMAS) e Pacífico (ENOS) no período de novembro de 2014 a agosto de 2015. Linhas sólidas apresentam a média de longo prazo de produção de serapilheira para referência.

6. DISCUSSÃO

6.1. VARIAÇÕES INTERANUAL DA SERAPILHEIRA

A produção de serapilheira foi maior nos anos que sofreram influências das anomalias climáticas tanto do oceano Pacífico quanto do Atlântico. Observa-se que a precipitação na área de estudo tem correlação negativa com os índices de ENOS e ATSMAN, indicando que quando a influencia da TSM nessa região aumenta, tem-se uma diminuição da precipitação da área de estudo, conseqüentemente levando um aumento dos dias sem chuva e aumento da temperatura do ar o que resulta em um aumento da produção de serapilheira e seus componentes. Trabalhos feito por Molion, 1987; Molion, 1993; Nobre e Shukla, 1996, mostram que as anomalias tanto do pacífico quanto do Atlântico influenciam as variáveis metrológicas na Amazônia, principalmente precipitação e temperatura, que são um dos principais fatores de influência da dinâmica da serapilheira. Isso mostra que a serapilheira segue padrões básicos para deposição anual nos ecossistemas brasileiros, pois de acordo com Escoriza e Pina-Rodrigues (2014), Cianciaruso et al., (2006), esses padrões é caracterizado pela maior deposição na época seca, ou seja menor índice pluviométrico, como ocorre em ecossistemas amazônicos. Além do que de acordo Moraes et al., (1999) o aumento de dias sem chuva assim como o aumento da temperatura do ar sobre a floresta pode significar maior incidência de luz influenciando nos processos de fotossíntese, respiração e evapotranspiração que pode vir a interferir no processo de produção de serapilheira. Então há uma conexão entre a ocorrência dos fenômenos climáticos ocasionados por temperaturas fora do normal dos oceanos e as mudanças nos padrões de precipitação na Amazônia; e impactando de forma significativa a produção de serapilheira. Já o estudo feito por Golley (1978), Sanches et al (2008) e Nunes (2011) e Escoriza e Pina-Rodrigues (2014) mostram que maiores produções no período seco se deve ao estresse hídrico, que produz economia de água no ecossistema, resultando em uma perda de biomassa vegetal. Observação experimental deste mesmo processo pode ser encontrada no trabalho realizado por Silva (2004), que investigou a influência da exclusão da água da chuva sobre os fluxos de massa e de energia de florestas no estado do Pará, simulando o fenômeno El Niño. Os autores mostraram que a produção de serapilheira aumenta na medida que o fenômeno de El Niño

reduz o período de chuvas e consequentemente o número de dias secos. Os anos que apresentaram período de transição de anomalias do Pacífico (El Niño/La Niña) mostraram maiores produções de serapilheira e de seu componente de material lenhoso na área da vertente que nos parece estar relacionado com maiores influências da velocidade do vento nesta área. Assim segundo Schumacher *et al.*, (2008), a ocorrência de fatores climáticos extremos, como por exemplo tempestades ocasionais, podem acarretar em um aumento acentuado na deposição de serapilheira neste período.

Ao analisar os componentes, material lenhoso e material reprodutivos, observou-se respostas diferentes entre as três posições topográficas (platô, vertente e baixio) durante os anos. Estas diferenças podem ser atribuídas ao tipo de solo, disponibilidade de água e profundidade do lençol freático. Florestas em solos arenosos em baixios tipicamente apresentam menores produções de serapilheira do que florestas em outros solos (Chave *et al.*, 2009), o que está associado às condições extremas de infertilidade (Quesada *et al.*, 2010).

6.2. VARIAÇÃO SAZONAL DA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA

Os fenômenos climáticos, tanto do Atlântico, ATSMAN e ATSMAS, quanto do Pacífico, El Niño e La Niña, causaram oscilações consideráveis nos índices pluviométricos anuais e principalmente mensais na área de estudo, assim como nas temperaturas máximas e mínimas da área. Além de afetarem quantitativamente a precipitação, esses fenômenos afetam também sua distribuição (Souza *et al.*, 2009, Araujo *et al.*, 2013), demonstrando que a produção de serapilheira, assim como seus componentes, apresentam uma tendência de seguir a sazonalidade, com maiores ou menores produções nos meses de pouca e alta disponibilidade hídrica (Matos, 2013). Portanto as maiores deposições de serapilheira ocorreram nos períodos com as maiores influências de anomalias climáticas, ou seja, de menor incidência pluviométrica, favorecendo maiores temperaturas e ventos fortes nas áreas de estudo. Com isso a produção de serapilheira e seus componentes folha e material lenhoso mostrou-se equivalente quanto a sazonalidade entre as posições topográficas, tendo a maior produção no período de menor precipitação, diferente do material reprodutivo que teve suas máximas após o período seco, e em março. A mesma

característica de sazonalidade foi encontrada em trabalhos realizados na região amazônica como de Ferreira *et al.*, (2015), Silva *et al.*, (2009), Monteiro (2005) e Pinto (2004). A influência sazonal de produção de serapilheira é esperada para os ecossistemas amazônicos (Luizão, 1989; Chave *et al.*, 2010). Estas flutuações podem ser causadas por diversos fatores intrínsecos do ecossistema, dentre os quais pode-se destacar a ação da fenologia das espécies de árvores e, principalmente, aos padrões bem marcados de precipitação pluviométrica e velocidade do vento na área de estudo (Luizão, 2007, Fujii, 2009, Malhi *et al.*, 2014). Na variação mensal da produção de serapilheira e de seus componentes, apenas o componente folha (aproximadamente 80% do total da serapilheira, Chave *et al.*, 2009) apresentou diferenças significativa entre os meses (e também entre os anos), indicando que é o componente que reage de forma mais imediata as alterações meteorológicas mensais (Larcher, 2000). Corroborando este resultado, observa-se um aumento bem marcado de suas médias em períodos de maiores déficits hídricos (precipitação) e as menores produções em respostas aos altos índices pluviométricos.

6.3 ANOS DE MAIORES INFLUÊNCIAS DAS ANOMALIAS DO TSMAP

A relação interanual não encontrada entre as variáveis climáticas e a produção de serapilheira neste estudo só foi observada quando foram analisadas as relações entre a deposição de cada mês e os fatores climáticos ocorrentes no mesmo mês e nos anteriores. E estudos feito por Vogel *et al.* (2007) mostram que o uso somente das variáveis climáticas temperatura média e precipitação mensal pode não ser suficiente para mostrar a maior ou menor deposição de serapilheira durante determinado período, sendo necessário o uso de mais variáveis climáticas, como, por exemplo, velocidade de ventos e direção, ocorrência de tempestades no local, bem como um período maior do que dois anos de observação, como realizado por Menezes *et al.* (2010) para mostrar que o conjunto dessas variáveis contribuem muito mais para influenciar significativa a produção de serapilheira.

6.3.1 ANOS DE 2004/2005

Durante o período de 2004 e 2005 observa-se os maiores índices de influência do ATSMAN, que aumentou o período de seca na região e conseqüentemente influenciou na variabilidade da produção de serapilheira, causando um aumento significativo da produção. Pesquisas realizadas por Nobre *et al.*, 2007 e Marengo *et al.*, 2007 mostraram que provavelmente o aumento da temperatura da superfície do mar no Atlântico Norte tenha sido a causa da seca em 2005 na Amazônia, já que houve ausência de episódios de El Niño nesse período. Em relação aos picos de produção ocorrido nos meses de estação chuvosa, janeiro em especial, estes parecem estar associados a eventos de fortes ventos na área de estudo. Tal suposição encontra apoio no estudo feito por Marra (2010), em florestas na mesma área de estudo (Reserva do Cuieiras). Este estudo aponta que devido a fortes ventos e chuvas torrenciais que acompanharam uma tempestade convectiva, resultaram no desfolhamento, seguido de danos a galhos finos e grossos, e até mesmo ruptura ou quebra de tronco em árvores de grandes extensões de florestas na região. Ainda, de acordo com Negron-Juarez *et al.*, (2010), em janeiro de 2005, correntes de alta pressão de ar com baixa pressão e temperatura se deslocavam sobre o noroeste da Amazônia brasileira, e o encontro dessas correntes de ar com outras correntes quentes, úmidas e de alta pressão, pode ter desencadeado a formação de fortes ventos com deslocamento vertical e alto poder destrutivo (*blowdowns*). Além disso, de acordo com Higuchi *et al.*, (2011), 2005 foi o ano das tempestades convectivas e da seca, que produziram a maior taxa de mortalidade nas florestas da Amazônia brasileira durante o período de 1980 a 2009. Tais eventos de fortes ventos podem ter ocorrido devido a transição das anomalias climáticas neste período, pois de acordo com Marengo, *et al.*, (2008), os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro de 2004/2005 compreendem o decaimento de um evento El Niño e o simultâneo aquecimento das TSM do Atlântico tropical norte, de acordo com o observado no presente trabalho.

6.3.2 ANOS DE 2009/2010

Em 2009 e 2010, observou-se que o El Niño atuou em conjunto com o ATSMAN, e de acordo com Araújo *et al.*, (2013) a combinação entre o oceano Atlântico e Pacífico, dependendo do período do ano, diminui a formação de nuvens e com isso o índice pluviométrico, favorecendo uma maior produção de serapilheira e seus componentes. Esse evento apesar de ter sido detectado em 2009, seus efeitos foram mais fortes no ano de 2010, influenciando de forma tardia na redução da precipitação (Figura 6). Esses eventos tardios também foram observados nos trabalhos realizados por Sousa, (2015) que estudou a variação pluviométrica na região de Caixuanã, Pará. 2009/2010 foi um período que apresentou influências tanto de ENOS (positivos e negativos) quanto ATSMAN evidenciando influência do aquecimento e resfriamento anômalo da TSM.

6.3.3 ANOS DE 2014/2015

Em 2015, pelo menos durante o período de estudo (até agosto de 2015), as variações na produtividade da produção de serapilheira ocorreram em decorrência do ENOS (El Niño). Assim como no ano de 2007 (La Niña) e ATSMAN (negativo). Observa-se que a intensidade da produção de serapilheira dependeu da duração dos períodos seco e chuvoso, e da atuação, duração, e intensidade dos fenômenos do Pacífico (El Niño e La Niña), assim como do Atlântico (ATSMAN e ATSMAS). Ou seja, durante o período da atuação das anomalias do Pacífico (El Niño) e Atlântico (ATSMAN-positivo) nos anos de 2004/2005, 2009/2010 e 2015 observou-se águas mais quentes tanto do oceano Pacífico quanto do Atlântico norte e mais frias do Atlântico Sul, que apesar de apresentar neutralidade, correspondeu a uma redução da precipitação e aumento das temperaturas.

7. CONCLUSÃO

As maiores variações nas taxas de produção de serapilheira fina estiveram associadas a eventos de anomalias da temperatura do mar do Pacífico (El Niño/La Niña) e Atlântico Norte. Tais eventos influenciam a dinâmica da produção de serapilheira fina sobretudo em épocas do ano com temperaturas mais altas e ventos mais fortes, apresentando uma forte relação negativa com a precipitação. Tais conexões observadas entre as anomalias e a produção de serapilheira fina sugerem que a dinâmica de serapilheira e seus componentes em florestas de terra-firme devem sofrer forte influência das mudanças climáticas esperadas para as próximas décadas. Espera-se que o aumento da temperatura média global tenha uma influência direta ou indireta sobre as variações anômalas das temperaturas da superfície do mar, o que por sua vez irá alterar os padrões de produção de serapilheira, influenciando no ciclo do carbono e nutrientes destas florestas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aber, J.D.; Melillo, J.M. 1980. Litter decomposition: measuring relative contributions of organic matter and nitrogen to forest soils. *Canadian Journal of Botany*, Canadá, 58(4): 416-421.

Aduan, R.E. 2003. *Respiração de solos e ciclagem de carbono em cerrado nativo e pastagem no Brasil Central*. Tese de Doutorado em Ecologia – Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 149pp.

Anderson, J.M.; Swift, M.J. 1983. Decomposition in tropical forests. In: Sutton, S.L.; Whitmore T.C.; Chadwick, A.C. (eds). *Tropical rain forest: Ecology and management*. Blackwell Scientific Publishers, 287-309.

Andrade, A.G; Tavares, S.R.L; Coutinho, H.L.C. 2003. Contribuição da serapilheira para recuperação de áreas degradadas e para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos. Belo Horizonte. *Informe Agropecuário*, 24 (220): 55-63.

Aragão, L.E.O.C.; Malhi, Y.; Metcalfe, D.B.J.; Silva-Espejo, E.; Jiménez, E.; Navarrete, D.; Almeida, S.; Costa, A.C.L.; Salinas, N.; Phillips, O.L.; Anderson, L.O.; Alvarez, E.; Baker, T.R.; Gonçalves, P.H.; Huamán-Ovalle, J.; Mamani-Solórzano, M.; Meir, P.; Monteagudo, A.; Patiño, S.; Peñuela, M.C.; Prieto, A.; Quesada, C.A.; Rozas-Dávila, A.; Rudas, A.; Silva Jr., J.A.; e Vásquez, R. 2009. Above-and below-ground net primary productivity across ten Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences*, 6: 2759-2778.

Araújo, A.C.; Nobre, A.D.; Kruijt, B.; Elbers, J.A.; Dallarosa, R.; Stefani, P.; Von Randow, C.; Manzi, A.O.; Culf, A.D.; Gash, J.H.C.; Valentini, R.; Kabat, P. 2002. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonia rainforest: the Manaus LBA site. *Journal of Geophysical Research*, 107.

Araújo, R.S.; Piña-Rodrigues, F.C.M.; Machado, M.R.; Pereira, M.G.; Frazão, F.J. 2006. Aporte de serapilheira e nutrientes ao solo em três modelos de revegetação na Reserva Biológica de Poço das Antas, Silva Jardim, RJ. *Floresta e Ambiente*, 12: 15-21.

Araújo R.G.; Andreoli, R.V.; Candido, L.A.; Kayano, M.T.; Souza, R.A.F. 2013. A influência do evento El Niño – Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. Manaus, Amazonas. *Acta Amazonica*. 43(4): 469-480.

Barbosa, J.H.C.; Faria, S.M.1991. Aporte de serapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na reserva biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia* 57 (3): 461-476. 2006. apud Facelli, J. M. e Pickett, S. T. A. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. *The Botanical Review*, 57(1):1-32.

Borma, L.S.; Tomasella, J.; Roballo, S.T.; Cuartas, L.A.; Rodrigues, D.A.; Marengo, J.A.; Nobre, A.C. 2013. Impactos dos eventos extremos de seca e cheia sobre os recursos hídricos amazônicos ações da Defesa Civil. In: Borma, L.S.; Nobre, C.A. (Orgs). *Secas na Amazônia: causas e consequências*. São Paulo, Oficina de Textos. p. 54-77.

Brienen, R.J.W.; Phillips, O.L.; Feldpausch, T.R.; Gloor, E.; Baker, T.R.; Lloyd, J.; Lopez-Gonzalez, G.; Monteagudo-Mendoza, A.; Malhi, Y.; Lewis, S.L.; Vásquez Martínez, R.; Alexiades, M.; Álvarez Dávila, E.; Alvarez-Loayza, P.; Andrade, A.; Aragão, L.E.O.C.; Araujo-Murakami, A.; Arets, E. J.M.M.; Arroyo, L.; Aymard C.,G.A.; Bánki, O.S.; Baraloto, C.; Barroso, J.; Bonal, D.; Boot, R.G.A.; Camargo, J.L.C.; Castilho, C.V.; Chama, V.; Chao, K.J.; Chave, J.; Comiskey, J.A.; Cornejo Valverde, F.; Costa, L.; Oliveira, E.A.; Di Fiore, A.; Erwin, T.L.; Fauset, S.; Forsthofer, M.; Galbraith, D.R.; Grahame, E.S.; Groot, N.; Hérault, B.; Higuchi, N.; Honorio Coronado, E.N.; Keeling, H.; Killeen, T.J.; Laurance, W.F.; Laurance, S.; Licona, J.; Magnussen, W.E.; Marimon, B.S.; Marimon-Junior, B.H.; Mendoza, C.; Neill, D.A.; Nogueira, E.M.; Núñez, P.; Pallqui Camacho, N.C.; Parada, A.; Pardo-Molina, G.; Peacock, J.; Peña-Claros, M.; Pickavance, G.C.; Pitman, N.C.A.; Poorter, L.; Prieto, A.; Quesada, C.A.; Ramírez, F.; Ramírez-Angulo, H.;

Restrepo, Z.; Roopsind, A.; Rudas, A.; Salomão, R.P.; Schwarz, M.; Silva, N.; Silva-Espejo, J.E.; Silveira, M.; Stropp, J.; Talbot, J.; Ter Steege, H.; Teran-Aguilar, J.; Terborgh, J.; Thomas-Caesar, R.; Toledo, M.; Torello-Raventos, M.; Umetsu, R.K.; Van der Heijden, G.M.F.; Van der Hout, P.; Guimarães Vieira, I.C.; Vieira, S.A.; Vilanova, E.; Vos, V.A.; Zagt, R.J. 2015. Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature*, 519: 344-348.

Burghouts, T.B.A.; Campbell, E.J.F.; Koderman, P.J. 1994. Effects of tree species heterogeneity of leaf fall in primary and logged dipterocarp forest in the Ulu Segana Forest Reserve, Sabah, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*, 10: 1-26.

Callède, J., Cochonneau, G., Ronchail, J., Vieira Alves, F., Guyot, J.L., Santos Guimaraes, V., De Oliveira, E. 2010. Les apports en eau de l'Amazonie à l'océan Atlantique. *Revue des sciences de l'eau*, 23 (3).

Carneiro, V.M.C. 2004. *Composição florística e análise estrutural da floresta primária de terra firme do Rio Cuieiras, Manaus-Am.* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 67pp.

Castilho, C.V., Magnusson, W.E., Araújo, R.N.O., Luizão, R.C.C., Luizão, F.J., Lima, A.P., Higuchi, N. 2006. Variation in aboveground tree live biomass in a Central Amazonian forest: Effects of soil and topography. *Forest Ecology and Management*, 234: 85-96.

Castilho, C.V.; Magnusson, W.E.; Araújo, R.N.O.; Luizão F.J. 2010. Short-term temporal changes in tree live biomass in a Central Amazonian forest, Brazil. *Biotropica*, 42:95-103.

Cavalcanti, F.A.; Silveira, V.P. 2013. Influência das TMS dos Oceanos Pacífico e Atlântico nos Eventos de Seca. In: Borma, L.S.; Nobre, C.A. (Orgs). *Secas na Amazônia: causas e consequências*. São Paulo, Oficina de Textos. p. 78-88.

Cavalcanti, F.A.; Silveira, V.P.; Alves, L.M. 2013. Características atmosféricas e oceânicas em anos de seca. *In: Borma, L.S.; Nobre, C.A. (Orgs). Secas na Amazônia: causas e consequências.* São Paulo, Oficina de Textos. p. 54-77.

Charley, J.L.; Richard, B. N. 1983. Nutrient allocation in plant communities: Mineral cycling in terrestrial ecosystems. *In: Lange, O.L.; Nobel, P.S., Osmond, C.B. Zeigler, H. (Eds) Physiological plant ecology.* Springer-Verlag. p. 646.

Chapin, F.S.; Matson, P.A.; Mooney, H.A. 2002. *Principles of terrestrial ecosystem ecology.* New York, Springer Verlag. 398pp.

Chave, J.; Navarrete, D.; Almeida, S.; Alvarez Davila, E.; Aragão, L.; Bonal, D.; Châtelet, P.; Silva-Espejo, J.E.; Goret, E.; Von Hildebrand, P.; Jimenez Rojas, E.M.; Patiño, S.; Peñuela, M.C.; Phillips, O.L.; Stevenson, P.; Malhi, Y. 2010. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences*, 7(1), 43-55.

Cianciaruso, M.V.; Pires, J.S.R.; Delitti, W.B.C.; Silva, E.F.L.P. 2006. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. *Acta Botânica Brasílica*, 20(1): 49-59.

Conceição, A.C.; Jessica, K.; A.; Costa, R.A.; Luizão, F.J. Dinâmica da Littera Fina Sob Diferentes Coberturas Florestais na Amazônia Central. 2005. *In: II Congresso de estudantes e bolsistas do experimento LBA.* Manaus.

Costa, C.C.A.; Camacho, R.G.V.; Macedo, I. D.; Silva, P.C.M. 2010. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de Caatinga na Flona de Açu - RN. *Revista Árvore*, 34(2): 259-265.

Costa, F.R.; Guillaumet, J.L.; Lima, A.P. Pereira, O.S. 2008. Gradients within gradients: the mesoscale distribution patterns of palms in a central Amazonian forest. *Journal of Vegetation Science*. 1-10.

Costa, M.H.; Foley, J.A. 2000. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations and the climate of Amazonia. *Journal of Climate*, 13(1): 18-34.

Clark, D.A. 2007. Detecting tropical forests' responses to global climatic and atmospheric Change: current challenges and a way forward. *Biotropica*, 39:4-19.

Cornu, S.; Luizão, F.; Rouiller, J.; Lucas, Y. 1997. Comparative study of litter decomposition and mineral element release in two Amazonian Forest ecosystems: Litter bag experiments. *Pedobiologia*, 41:456-471.

Davidson, E.A; Artaxo, P. 2004. *Global Change Biology*, 10: 519–529.

Delliti, W.B.C. 1995. Estudos de ciclagem de nutrientes: instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres. In: Esteves, F.A. (ed.) *Oecologia Brasiliensis*. Vol. I: Estrutura, funcionamento e manejo de Ecossistemas Brasileiros. UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, p. 469-486.

Dias, H.C.T.; Oliveira Filho, A.T. 1997. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua montana em Larvras-MG. *Revista Árvore*, 21: 11-26.

Dirzo, R.; Young, H.S.; Mooney, H.A.; Ceballos, G. 2011. Seasonally Dry Tropical Forests: *Ecology and Conservation*. Washington: Island press, 1:394p.

Fagundes, L.M.; Carvalho, D.A.; Van den Berg, E.; Sá, J.J.G.; Marques, M.; Machado, E.L.M. 2007. Florística e estrutura do estrato arbóreo de dois fragmentos de florestas decíduas às margens do rio Grande, em Alpinópolis e Passos, MG, Brasil. *Acta Botânica Brasílica*. 21(1): 65-78.

Ferraz, J; Ohta, S; Salles, P.C. 1998. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao Norte de Manaus (AM). In: Higuchi, N.; Campos, M.A.A.; Sampaio, P.T.B.; Santos, J. (Eds). *Pesquisas Florestais para a Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, Amazonas. p. 110-143.

Fyllas, N.M.; Patiño, S.; Baker, T.R.; Nardoto, G.B.; Martinelli, L.A.; Quesada, C.A.; Paiva, R.; Schwarz, M.; Horna, V.; Mercado, L.M.; Santos, A.; Arroyo, L.; Jiménez, E.M.; Luizão, F.J.; Neill, D.A.; Silva, N., Prieto A.; Rudas A.; Silviera, M.; Vieira, I.C.G.; Lopez-Gonzalez, G.; Malhi, Y.; Phillips, O.L.; Lloyd, J. 2009. Basin-wide variations in foliar properties of Amazonian forest: phylogeny, soils and climate. *Biogeosciences*, 6: 2677-2708.

Golden Gate Weather Services. El Niño and La Niña Years and Intensities Based on Oceanic Niño Index (ONI). 2017. Disponível em: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acesso em 01/04/2017.

Gonçalves, J.L.M.; Mello, S.L.M. 2000. O sistema radicular das árvores. In: Gonçalves, J. L.M.; Benedetti, V. (Ed.) *Nutrição e fertilidade florestal*. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, p. 221-267.

Gosz, J.R.; Likens, G.E.; Bormann, F.H. 1976. Organic matter and nutrient dynamics of the forest floor in the Hubbard Brook forest. Berlin. *Oecologia*, 22: 305-20.

Hastenrath, S.; Heller, L. 1977. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quartely Journal Royal Meteorological Society*, 103(435): 77-92.

Higuchi, N., Chambers, J., Santos, J., Ribeiro, R.J., Pinto, A.C.M., Silva, R.P., Rocha, R.M. Tribuzy, E.S. 2004. Dinâmica e Balanço do Carbono da Vegetação Primária da Amazônia Central. *Floresta*, (34)3: 295-304.

Higuchi, N.; Santos, J. dos; Silva, R.P., da; Lima, A.N.; Texeira, L.M.; Carneiro, V.M.C.; Felseburgh, C.A.; Tribuzy, E.S. 2007. *Noções Básicas de Manejo Florestal*. Apostila de Laboratório de Manejo Florestal. INPA. Manaus-AM. 250pp.

Higuchi, N.; Santos, J.; Lima, A.J.N.; Higuchi, F.G.; Chambers, J.Q. 2011. A floresta amazônica e a água da chuva. *Floresta*, 41(3): 427-434.

Hobbie, S.E.; Vitousek, P.M. 2000. Nutrient Limitation of Decomposition in Hawaiian Forests. *Ecology*, 81(7): 1867-1877.

Hofhansl, F.; Kobler, J.; Ofner, J.; Drage, S.; Polz, E.M.; Wanek, W. 2014. Sensitivity of tropical forest above ground productivity to climate anomalies in: SW Costa Rica. *Global Biogeochemical Cycles*, 28, 1437-1454.

Horel, J.D.; Hahmann, A.N.; Geisler, J.E. 1989. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. *Journal of climate*, 2(11):1388-1403.

Jordan, C.F. 1985. *Nutrient cycling in tropical forest ecosystems, Principles and their application in management and conservation*, Ed. John Wiley e Sons, New York, 190p.

Klein, T.; Yakir, D.; Buchmann, N.; Grünzweig, J.M. 2014. Towards an advanced assessment of the hydrological vulnerability of forests to climate change-induced drought. *New Phytologist*, 201: 712-716.

Kottke, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B.; Rubel, F. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3): 259-263.

Larcher, W. 2000. Plantas sob estresse. *In*: Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rimap. p. 341-430.

Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia-LBA. 2016. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA/Ministério da Ciência e Tecnologia-MCT. Disponível em <http://lba2.inpa.gov.br/index.php/estacoes-de-pesquisa/zf-2-manaus/missao-historia>. Acesso: 24/04/2017.

Lavelle, P.; Blanchart, E.; Martin, A.; Martin, S.; Spain, A.; Toutan, F.; Barois, I.; Schaefer, R.A. 1993. Hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: Application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, 25: 130-150.

Laurance, W.F.; Fearnside, P.M.; Laurance, S.G.; Delamonica, P.; Lovejoy, T.E.; Rankin-deMerona, J.; Chambers, J.Q.; Gascon, C. 1999. Relationship between soils and Amazon forest biomass: A landscape-scale study. *Forest Ecology and Management*, 118: 127-138.

Laurance, W.F.; Oliveira, A.A.; Laurance, S.G.; Condit, R.; Nascimento, H.E.M.; SanchezHorin, A.C.; Lovejoy, T.E.; Andrade, A.; D'Angelo, S.; Ribeiro, J.E.; e Dick. C. W.; 2004. Pervasive alteration of tree communities in undisturbed Amazonian forests. *Nature*, 428: 171-175.

Leitão-Filho, H. F.; Pagano, S. N.; César, O.; Timoni, J.L.; Rueda, J. 1993. *Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão*. São Paulo: Edusp, 184pp.

Leopoldo, P.R.; Franken, W.; Salati, E.; Ribeiro, M.N.G. 1987. Towards a water balance in Central Amazonian region. *Experientia*. 43:222-233.

Limberger, L.; Silva, M.E.S. 2016. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. *Geosp - Espaço e Tempo* (Online), 20(3): 657-675.

Luizão, F.J.; Schubart, H.O.R. 1986. Produção e Decomposição de liteira em floresta de terra firme na Amazônia central. *Acta Limnológica Brasileira*. 1: 575-600.

Luizão, F.J.; 1989. Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian Forest. *Geojournal*. 19(4): 407-417.

Luizão, R.C.C.; Luizã, F.J.; Paiva, R.Q.; Monteiro, T.F.; Sousa, L.S.; Kruijt, B. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Glob. Change Biol*. 10: 592-600.

Luizão, F.J. 2007. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. *Ciência e Cultura*, 59: 31-36.

Malhi, Y.; Baker, T.R.; Phillips, O.L.; Almeida, S.; Alvarez, E.; Arroyo, L.; Chave, J.; Czimczik, C.I.; Di Fiore, A.; Higuchi, N.; Killeen, T.J.; Laurance, S.G.; Laurance, W.F.; Lewis, S.L.; Montoya, L.M.M.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Vargas, P.; Patiño, S.; Pitman, N.C.A.; Quesada, C.A.; Salomão, R.; Silva, J.N.M.; Lezama, A.T.; Martínez, R.V.; Terborgh, J.; Vinceti, B.; Lloyd, J. 2004. The above-ground coarse wood productivity of 104 neotropical forest plots. *Global Change Biology*, 10(5): 563-591.

Marengo, J.; Druyan, L.; Hastenrath, S. 1993. Observational and modelling studies of Amazonia interannual climate variability. *Climatic Change*, 23(3): 267-286.

Marengo J. 2004. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and applied climatology*, 78: 79-96.

Marengo, J.A., Soares, W.R., Saulo, C. e Nicolini, M. 2004. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP–NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*, 17(12): 2261-2280.

Marengo, J.A.; Nobre, C.A.; Tomasella, J.; Cardoso, M.F.; Oyama, M.D. 2008. Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 1773-1778.

Marengo, J.A.; Nobre, C.A.; Tomasella, J.; Oyama, M.D.; De Oliveira, G.S.; De Oliveira, R.; Camargo, H.; Alves, L.M.; Brown, I.F. 2008: The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, 21: 495-516.

Marra, D.M. 2010. *Sucessão florestal em área atingida por tempestade convectiva na região de Manaus, Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia. Manaus, Amazonas, 104pp.

Mason, C.F. 1980. *Decomposição*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 63pp.

Matos, B.R.M.; Costa, A.C.L. 2012. Efeito da deficiência hídrica na produção dos componentes da liteira vegetal em floresta tropical nativa na Flona Caxiuanã-PA. *Revista de Biologia Neotropical*, 9: 24-36.

Matos, B.R.M. *Efeito da deficiência hídrica na produção de liteira em floresta tropical nativa na Flona Caxiuanã-PA*. 2013. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Processos de Interação da Biosfera e Atmosfera - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA, Santarém. 121pp.

Menezes, C. E. G.; Pereira, M. G.; Correia, M. E. F.; Anjos, L. H. C.; Paula, R. R.; Souza, M. E. Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 439 - 452, 2010.

Mesquita, R.C.G.; Workman, S.W.; Neely, C.L. 1998. Slow litter decomposition in a Cecropia-dominated secondary forest of central Amazonia. *Soil Biology and Biochemistry*, 30:167-175.

Monteiro, M.T.F. 2005. *Interações na dinâmica do carbono e nutrientes da liteira entre a floresta de terra firme e o igarapé de drenagem na Amazônia central*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. 93pp.

Moreira, F.M.S.; Tiedje, J.; Marsh, T.L. 2002. *Burkholderia* spp. are among fast growing symbiotic diazotrophs isolated from diverse land use systems in Amazônia and from brazilian Leguminosae forest species. In: Memórias da XXI Reunión Latinoamericana de rhizobiologia, Cocoyoc, México.

Moura, A. D.; Shukla, J.1981. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Boston, 38, 2653-2675.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2017. Multivariate ENOS Index (MEI) Disponível em <<http://www.elnino.noaa.gov/>>. Acesso em: 01/04/2017.

Negrón-Juarez, R.I.; Chambers, J.Q.; Guimarães, G.; Zeng, H.; Raupp, C.F.M.; Marra, D.M.; Ribeiro, G.H.P.M.; Saatchi, S.; Nelson, B.W.; Higuchi, N. 2010. Widespread Amazon forest tree mortality from a single cross-basin squall line event. *Geophysical Research Letters*, 37, L16701.

Neu, V. 2005. *Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus-AM*. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 93pp.

Nobre, C.A.; Sellers, P.J.; Shukla, J. 1991. Amazonian deforestation and regional change regional change. *Journal of Climate*, 4: 957-988.

Nobre, P.; Shukla, J. 1996. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, 9: 2464-2479.

Nobre, C.A.; Sampaio, G.; Salazar, L. 2007. Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura*; 59(3):22-27.

Oliveira, G.O. 2001. *O El Niño e você - O fenômeno climático*. São José dos Campos: Editora Transtec, 116pp.

Phillips, O.L.; Hall, P.; Gentry, A.H.; Sawyer, S.A.; Vasquez, R. 1994. Dynamics and species richness of tropical rain forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 91: 2805-2809.

Phillips, O.L.; Baker, T.R., Arroyo, L.; Higuchi, N.; Killeen, T.J.; Laurance, W.F.; Lewis, S.;L.; Lloyd, J.; Malhi, Y.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Vargas, P. N.; Silva, J.N.M.; Terborgh, J.; Martinez, R.V.; Alexiades, M.; Almeida, S.; Brown, S.; Chave, J.; Comiskey, J.A.; Czimczik, C.I.; Di Fiore, A.; Erwin, T.; Kuebler, C.; Laurance, S.G.; Nascimento, H.E.M.; Olivier, J.; Palacios, W.; Patino, S.; Pitman, N.C.A.; Quesada, C.A.; Salidas, M.; Lezama, A.T.; Vinceti, B. 2004. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 359, 381-407.

Phillips, O.L.; Aragão, L.E.O.C.; Lewis, S.L.; Fisher, J.B.; Lloyd, J.; Lopez-Gonzalez, G.; Malhi, Y.; Monteagudo, A.; Peacock, J.; Quesada, C.A.; Van der Heijden, G.; Almeida, S.; Amaral, I.; Arroyo, L.; Aymard, G.; Baker, T.R.; Banki, O.; Blanc, L.; Bonal, D.; Brando, P.; Chave, J.; de Oliveira, A.C.A.; Cardozo, N.D.; Czimczik, C.I.; Feldpausch, T.R.; Freitas, M.A.; Gloor, E.; Higuchi, N.; Jimenez, E.; Lloyd, G.; Meir, P.; Mendoza, C.; Morel, A.; Neill, D.A.; Nepstad, D.; Patino, S.; Penuela, M.C.; Prieto, A.; Ramirez, F.; Schwarz, M.; Silva, J.; Silveira, M.; Thomas, A.S.; Ter Steege, H.; Stropp, J.; Vasquez, R.; Zelazowski, P.; Davila, E.A.; Andelman, S.; Andrade, A.; Chao, K.J.; Erwin, T.; Di Fiore, A.; Honorio, E.; Keeling, H.; Killeen, T.J.; Laurance, W.F.; Cruz, A.P.; Pitman, N.C.A.; Vargas, P.N.; Ramirez-Angulo, H.; Rudas, A.; Salamao, R.; Silva, N.; Terborgh, J.; Torres-Lezama, A. 2009. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science*, 323: 1344-1347.

Pinto, J.R.R. 2002. *Dinâmica da comunidade arbórea em uma floresta de vale no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, Mato Grosso*. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília. Brasil. 122pp.

Pinto, F.R.; Luizão, F.J.; Yano, C.Y. 2003. Produção de liteira em atmosfera naturalmente enriquecida de CO₂ durante um período de El Niño. *Anais*. VI Congresso de Ecologia do Brasil, Fortaleza, Brasil. 628-629.

Portes, M.C.G.O.; Koehler, A.; Galvão, F. 1996. Variação Sazonal de deposição de liteira em uma Floresta Ombrófila densa Altomontana no morro do Anhangava. *Floresta*, 26: 3-10.

Proctor, J. 1983. In *Tropical rain forest ecology*, S.L. Sutton, T.C. Whitmore, A.C. Chadwick, Eds. (Blackwell Scientific Publications, Oxford), 267-273.

Quesada, C.A.; Lloyd, J.; Schwarz, M.; Baker, T.R.; Phillips, O.L.; Patiño, S.; Czimczik, C.; Hodnett, M.G.; Herrera, R.; Arneeth, A.; Lloyd, G.; Malhi, Y.; Dezzeo, N.; Luizão, F.J.; Santos, A.J.B.; Schmerler, J.; Arroyo, L.; Silveira, M.; Priante-Filho, N.; Jimenez, E.M.; Paiva, R.; Vieira,

I.; Neill, D.A.; Silva, N.; Peñuela, M.C.; Monteagudo, A.; Vásquez, R.; Prieto, A.; Rudas, A.; Almeida, S.; Higuchi, N.; Lezama, A.T.; López-González, G.; Peacock, J.; Fyllas, N.M.; D[avilla, E.A.; Erwin, T.; di Fiori, A.; Chao, K.J.; Honorio, E. Killeen, T.; Penã Cruz, A.; Pitman, N.; Nuñez-Vargas, P.; Salomão, R.; Terborgh, J.; Ramírez, H. 2009. Regional and large-scale patterns in Amazon Forest structure and function are mediate by variations in soil physical and chemical properties. *Biogeosciences Discussion*, 6: 3993-4057.

Quesada, C. A.; Lloyd, J.; Schwarz, M.; Patino, S.; Baker, T.R.; Cz-imczik, C.; Fyllas, N.M.; Martinelli, L.; Nardoto, G.B.; Schmerler, J.; Santos, A.J.B.; Hodnett, M.G.; Herrera, R.; Luizão, F.J.; Arneth, A.; Lloyd, G.; Dezzeo, N.; Hilke, I.; Kuhlmann, I.; Raessler, M.; Moraes Filho, J.; Paiva, F.; Araujo Filho, R.; Chaves, E.; Cruz, O. Junior; Pimentel, T. P.; Paiva, R. 2010. Vari- tions in chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis, *Biogeosciences*, 7, 1515-1541.

Quesada, C.A.; Lloyd, J.; Anderson, L.O.; Fyllas, N.M.; Schwarz, M.; Czimczik, C.I. 2011. Soils of Amazonia with particular reference to the Rainfor sites. *Biogeosciences*, 8: 1415-1440.

Quesada, C.A.; Phillips, O.L.; Schwarz, M.; Czimczik, C.I.; Baker, T.R.; Patiño, S.; Fyllas, N.M.; Hodnett, M.G.; Herrera, R.; Almeida, S.; Alvarez Dávila, E; Arneth, A.; Arroyo, L.; Chao, K.J.; Dezzeo, N.; Erwin, T.; Di Fiore, A.; Higuchi, N.; Honorio Coronado, E.; Jimenez, E.M.; Killeen, T.; Lezama, A.T.; Lloyd, G.; López-González, G.; Luizão, F.J.; Malhi, Y.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Núñez Vargas, P.; Paiva, R.; Peacock, J.; Peñuela, M. C.; Peña Cruz, A.; Pitman, N.; Priante Filho, N.; Prieto, A.; Ramírez, H.; Rudas, A.; Salomão, R.; Santos, A.J.B.; Schmerler, J Silva, N.; Silveria, M.; Vasquez-Martínez, R; Vieira, I.; Terborgh, J.; Lloyd, J. 2012. Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate. *Biogeosciences*, 9: 2203-2246.

Radam, 1978. *Programa de Integração Nacional. Levantamentos de Recursos Naturais*. (Manaus) - Radam (projeto) DNPM, Ministério das Minas e Energia. Brasil. 18, 626pp.

Ribeiro, J.E.L.S.; Hopkins, M.J.G.; Vicentini, A.; Sothers, C.A.; Costa; M.A.S.; Brito, J.M.; Souza, M.A.D.; Martins, L.H.P.; Lohmann, L.G.; Assunção, P.A.C.L.; Pereira, E. C.; Mesquita, M.R.; Procópio, L.C. 1999. *Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central*. Manaus, Inpa. 816p.

Rodrigues, L.A.; Carvalho, D.A.; Oliveira Filho, A.T.; Curi, N. 2007. Efeitos de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual, em Luminárias, MG. Viçosa-MG. *Revista Árvore*, 31(1): 25-35.

Ronchail, J.; Cochonneau, G.; Moliner, M.; Guyot, J.-L.; Chaves, A.G.M.; Guimarães, V.; de Oliveira, E. 2002. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and seasurface temperatures in the Equatorial Pacific and the Tropical Atlantic Oceans. *International Journal of Climatology*, 22(9): 1663-1686.

Salati, E., Dall'olio, A., Matsui, E. e Gat, J.R. 1979. Recycling of water in the Amazon Basin: An isotopic study. *Water Resources*, 15(5): 1250-1257.

Saleska S. R.; Didan K.; Huete A. R.; Rocha H. R. 2007. Amazon Forests Green-Up During 2005 Drought. *Science*, 318:612.

Samanta, A.; Ganguly, S.; Hashimoto, H.; Devadiga, S.; Vermote, E.; Knyazikhin, Y.; Nemami, R.R.; Myneni, R.B. 2010. Amazon forests did not green-up during the 2005 drought. *Geophysical Research Letters*, 37: 1-5.

Sanches, L.; Valentini, C.M.A.; Pinto Junior, O.B.; Nogueira, J.S.; Vourlitis, G.; Biudes, M.S.; Silva, C.J.; Bambi, P.; Lobo, F.A. 2008. Seasonal and interannual litter dynamics of a tropical

semideciduous forest of the southern Amazon Basin, Brazil. *Journal of Geophysical Research*, 113:G04007: 1-9.

Santana, J.A.S.; Sousa, L.K.V.S.; Almeida, W.C. 2003. Produção Anual de serapilheira em floresta secundária na Amazônia Oriental, Belém. *Revista de Ciências Agrárias*, 40: 119-132,

Santos, E.O. *Contribuição ao estudo do fluxo de dióxido de carbono dentro da Floresta Amazônica*. 1999. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ. 87pp.

Santos, A. R. 2014. *Produção, estoque e nutrientes da serapilheira em Floresta Ombrófila Densa do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. 102pp.

Schumacher, M.V.; Brun, E.J.; Hernandez, J.I.; Konig, F.G. 2004. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no Município de Pinhal Grande - RS. Viçosa. *Revista Arvore*, 28(10): 29-37.

Schumacher MV, Viera M, Witschoreck R. 2008. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em área de segunda rotação com floresta de *Pinus taeda* L. no município de Cambará do Sul, RS. *Ciência Florestal*; 18(4): 471-480.

Scoriza, R. N.; Piña-Rodrigues, F. C. M. 2014. Influência da precipitação e temperatura do ar na produção de serapilheira em trecho de floresta estacional em sorocaba, SP. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 44, n. 4, 687 - 696 p.

Selva, E.C. 2005. *Produção e exportação de carbono via liteira em microbacias na região sul da Amazônia*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso-Faculdade de Agronomia e Medicina, Cuiabá, Mato Grosso, 76pp.

Servain, J. 1991. Simple Climatic Indices for the Tropical Atlantic Ocean and some Applications. *Journal of Geophysical Research*, 96(15) 137-146.

Silva, A. D. 2014. *Produção e concentração de nutrientes via deposição de liteira na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra-PA*. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará - Ufopa, Santarém. 90pp.

Silva, R. M. 2004. *Influência de variáveis meteorológicas na produção e decomposição de liteira na estação científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará*. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 81pp.

Silva, R.M.; Costa, J.M.N.; Ruivo, M.L.P.; Costa, C.L.; Almeida, S.S. 2009. Influência de variáveis meteorológicas na produção de liteira na Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. *Acta Amazonica*, 39(3): 573-582.

Smith, V.C.; Bradford, M.A. 2003. Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time. *Applied Soil Ecology*, 24: 197-203.

Souza, E.B.; Kayano, M.T.; Tota, J.; Pezzi, L.; Fisch, G.; Nobre, C. 2000. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. *Acta Amazonica*, 30(2):305-318.

Souza, E.B. 2003. Variabilidade Pluviométrica intra-sazonal sobre a Amazônia Oriental e Nordeste Brasileiro durante o outono austral: Mecanismos Atmosféricos de baixa e alta frequência. Tese

(Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - Departamento de Ciências Atmosféricas, São Paulo, 131 pp.

Sousa, E.P.P. Relações entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e as Precipitações na Amazônia Oriental. 2004. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos, SP. 80 pp.

Stape, J.L.; Binkley, D.; Ryan, M.G. 2004. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 193: 17-31.

Summer, P.M. 1998. *Estoque, decomposição e nutrientes da liteira grossa em floresta de terra-firme, na Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado, Inpa/Ufam. Manaus, AM. 103pp.

Tapia-Coral, S. C.; Luizão, F.J. Wandelli, E.V; Fernandes, E. C. M. 2005. Carbon and nutrient stock in litter layer of agroforestry systems in central Amazônia, Brazil. Manaus, Amazonas. *Agroforestry Systems*, 65: 33-42.

Tomasella. J.; Hodnett, M.G.; Cuartas, L.A.; Nobre A.D.; Waterloo, M. e Oliveira, S. M. 2007. The water balance of an Amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrological e behaviour. *Hidrological Processes*, 22: 2133-2147.

Trenberth, Kevin e Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica Pessoal (Eds). Última modificação em 02 de fevereiro de 2016. "The Climate Data Guide: Nino SST Indices (Nino 1 + 2, 3, 3.4, 4, ONI e TNI). Disponível em: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>. Acesso: 01/04/2017.

Uvo, C.B.; Repelli, C.A.; Zebiak, S.E.; Kushnir, Y. 1998. The relationships between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. *Journal of Climate*, 11(4): 551-562.

Vieira, L.S. 1988. *Manual de Ciência do Solo, com ênfase aos solos tropicais*, Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 2º ed., 454pp.

Vitousek, P.M. 1984. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology*, 65(1): 285-298.

Vourlitis G.L.; Priante-Filho N.; Hayashi M.M.S.; Nogueira J.D.S.; Raiter F.; Hoegel W.; Campelo J.H. 2004. Effects of meteorological variations on the CO₂ exchange of a Brazilian transitional tropical forest. *Ecological applications*, 14: 89-100.

Vogel, A. L. M.; Shumacher, M. V.; Truby, P.; Vuaden, E. Avaliação da devolução da serapilheira em uma Floresta Estacional Decidual em Itaara, RS, Brasil. *Ciência Florestal*, v. 17, n. 3, p. 187 - 196, 2007

Werneck, M.S.; Pedralli, G.; Gieseke, L.F. 2001. Produção de serapilheira em trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto-MG. Belo Horizonte, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Botânica*, 24(2): 195-198.

Wolter, K.; Timlin, M.S. 1993. Monitoring ENSO and COADS with a Seasonally Adjusted Principal Component Index. *In: Climate Diagnostics Workshop, Norman. Proceeding*, 17: 52-57.

Wolter, K.; Timlin, M.S. 2011. El Niño/Southern Oscillation behavior since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *International Journal of Climatology*, 31: 1074-1087.

Wu, J.; Albert, L.P.; Lopes, A.P.; Restrepo-Coupe, N.; Hayek, M.; Wiedemann, K.T.; Guan, K.; Stark, S.C.; Christoffersen, B.; Prohaska, N.; Tavares, J.V.; Marostica, S.; Kobayashi, H.; Ferreira, M.L.; Campos, K.S.; da Silva, R.; Brando, P.M.; Dye, D.G.; Huxman, T.E.; Huete, A.R.; Nelson,

B.W.; Saleska, S.R.; 2016. Leaf development and demography explain photosynthetic seasonality in Amazon evergreen forests. *Science*, 351, 972-6.

Wright, S.J.; Van Schaik, C.P. 1994. Light and the phenology of tropical trees. *American Naturalist*, 192-199.

Yoon, J.H.; Zeng, N. 2010. An Atlantic influence on Amazon rainfall. *Climate Dynamics* 34: 249-264. DOI 10.1007/s00382-009-0551-6.

Zeng, N.; Yoon, J.H.; Marengo, J.A. 2008. Subramaniam, A.; Nobre, C. A.; Mariotti, A.; Neelin, J. D. Causes And Impacts Of The 2005 Amazon Drought. *Environmental Research Letters*, 3, 14, p. 002.

9. ANEXOS

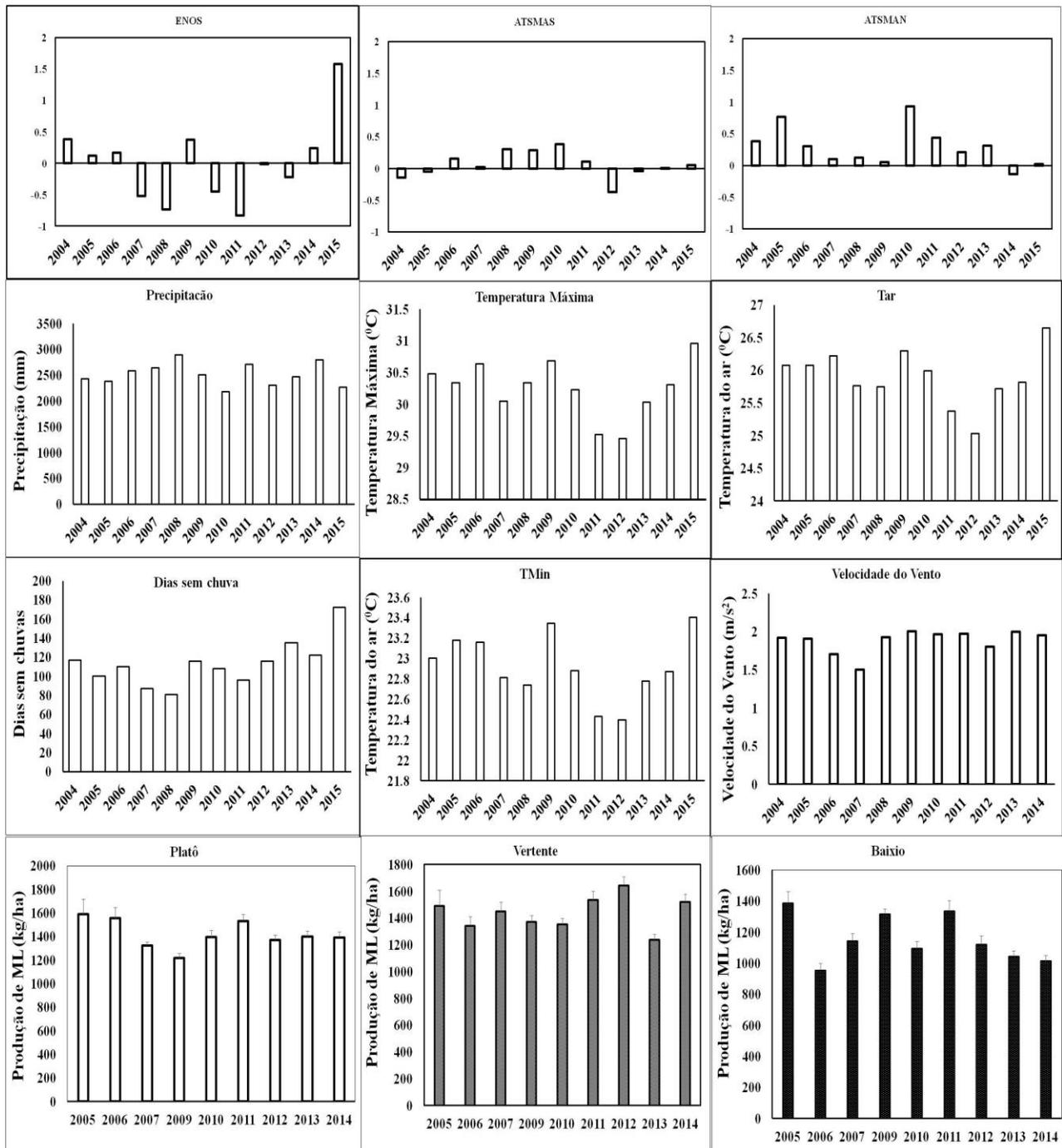


Figura A1: Variação interanual dos totais anuais do clima e das variáveis de produtividades do componente material lenhoso com seus respectivos desvios-padrões: dias sem chuva, média anual do índice multivariado ENOS (MEI), média anual da anomalia do TSM do Atlântico Norte (ATSMAN) e Sul (ATSMAS), média anual da temperatura Máxima (TMax), media da temperatura (TMin) média da precipitação anual e média anual da velocidade do vento (VV).

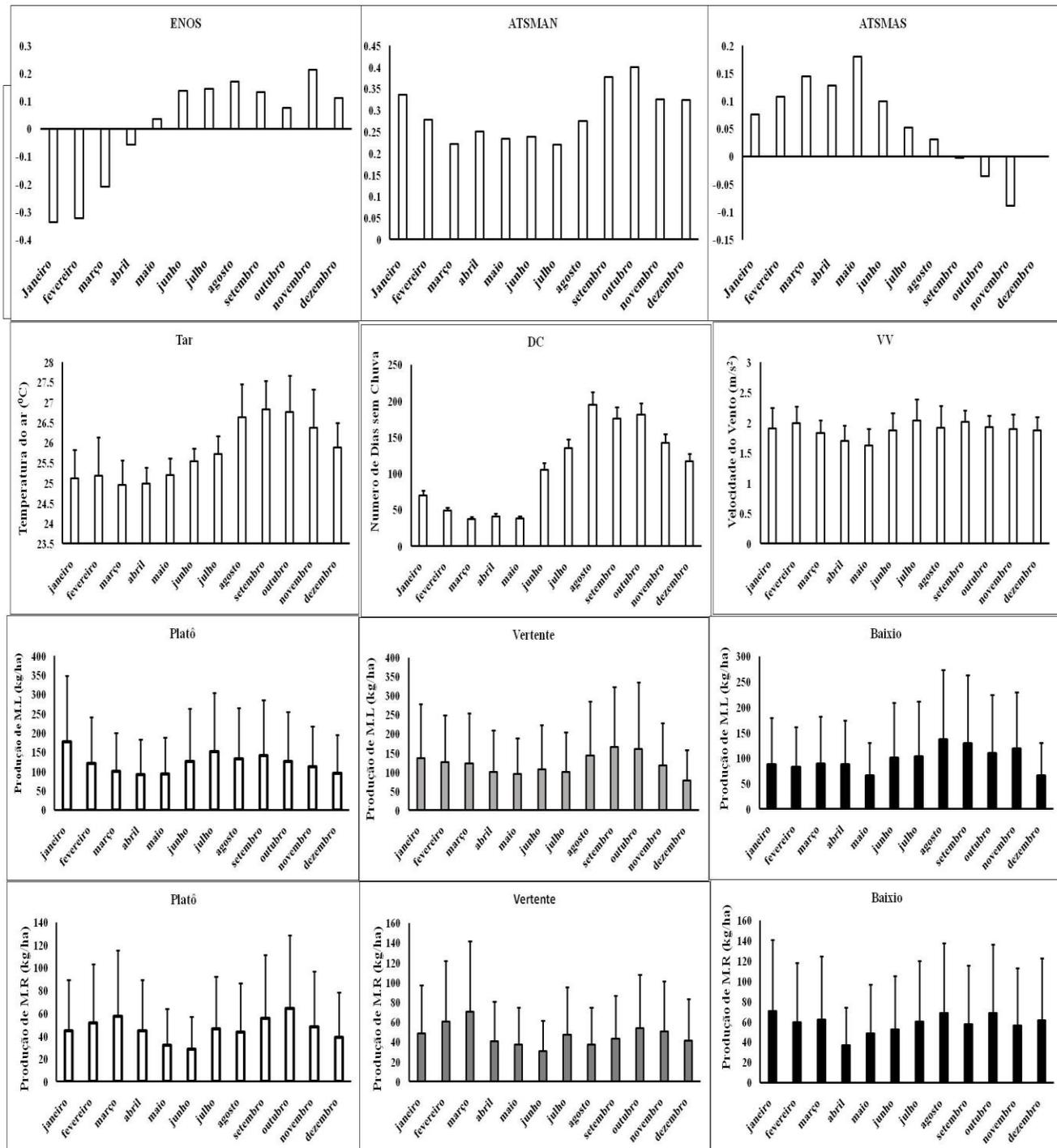


Figura A2: . Variação sazonal das médias mensais (todo o período de estudo) do clima e das variáveis de produção dos componentes de serapilheira com seus respectivos desvios-padrões: índice multivariado ENOS (MEI), média anual da anomalia do TSM do Atlântico Norte (ATSMAN) e Sul (ATSMAS), média anual da temperatura do ar (Tar), número de dias sem chuva (DC), velocidade do vento (VV) e os componente de material lenhoso (ML) e material reprodutivo (MR).

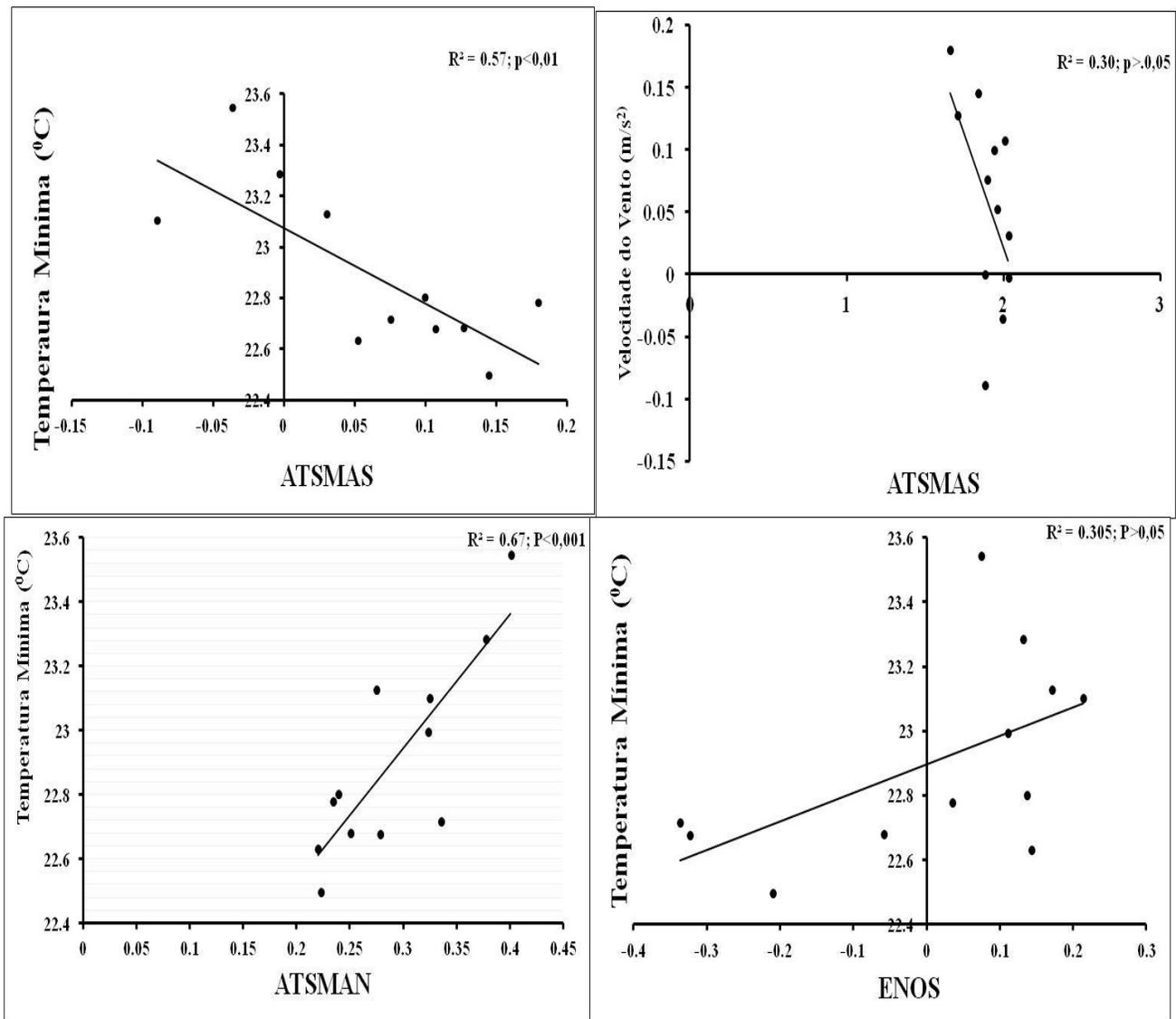


Figura A3. Relação entre Índice Multivariado ENOS, Anomalia do TSM do Atlântico Norte (ATSMAN) e Sul (ATSMAS) com a média mensal das variáveis climáticas (2004-2015): Temperatura Mínima e Velocidade do Vento.

Tabela A3. Correlação de Pearson entre as ATSM do Atlântico e Pacífico com as variáveis de anomalias de produtividade: anomalia da temperatura do mar do Atlântico norte (ATSMAN), anomalia da temperatura do mar do Atlântico sul (ATSMAS), Anomalia da temperatura da superfície do mar do Pacífico - El Niño/Oscilação Sul (ENOS). Assim como, produção de serapilheira na área do platô (PSP), vertente (PSV) e baixo (PSB) e seus componentes da área do platô- folha (PFolhaP), material lenhoso (PMLP) e material reprodutivo (PMRP); vertente – folha (PFolhaV), material lenhoso (PMLV) e material reprodutivo (PMRV) e do baixo – folha (PFolhaB), material lenhoso (PMLB) e material reprodutivo (PMRB). E seus respectivos valores significativos de *P* em negrito.

Matriz de Correlação			
	Valores -P		
	ATSMAN	ATSMAS	ENOS
APFolhaP	-0.11	-0.01	0.58
p	0.78	0.97	0.10
APMLP	0.60	0.09	-0.38
p	0.08	0.81	0.31
APMRP	0.37	0.47	-0.06
p	0.33	0.21	0.87
PSV	0.15	0.14	0.38
p	0.69	0.72	0.31
APFolhaV	0.18	0.21	0.41
p	0.64	0.58	0.27
APMLV	-0.04	-0.32	-0.07
p	0.92	0.39	0.86
APMRV	0.49	0.69	-0.24
p	0.18	0.04	0.54
PSB	0.34	0.40	0.27
p	0.37	0.29	0.48
APFolhaB	-0.32	-0.06	0.92
p	0.40	0.88	0.00
APMLB	0.32	0.20	-0.22
p	0.40	0.60	0.56
APMRB	0.63	0.41	0.02
p	0.07	0.27	0.96
APSB	0.15	0.17	0.59
p	0.70	0.66	0.10

Tabela B1. Relação de Pearson entre a velocidade do vento e a produção de serapilheira nas três posições topográficas: produção na área do platô- Folha (PFolhaP), material lenhoso (PMLP), material reprodutivo (PMRP) e produção de serapilheira (PSP); na área da vertente – Folha (PFolhaV), material lenhoso (PMLV), material reprodutivo (PMRV) e produção de serapilheira (PSV) e na área do Baixo- folha (PFolhaB), material lenhoso (PMLB), material reprodutivo (PMRB) e produção de serapilheira (PSB). Durante os anos de 2007, 2009, 2010 e 2011.

Variáveis	2007		2009		2010		2011	
	Matriz de Correlação	P-Valores						
PFolhaP	0.31	0.45	0.82	0.00	0.83	0.00	0.77	0.01
PM.LP	0.24	0.58	0.66	0.04	0.72	0.01	0.51	0.13
PMRP	-0.33	0.43	0.14	0.70	0.00	1.00	0.46	0.18
PSP	0.32	0.43	0.86	0.00	0.78	0.00	0.74	0.01
PFolhaV	0.58	0.13	0.76	0.01	0.78	0.00	0.74	0.01
PMLV	0.82	0.01	0.40	0.25	-0.11	0.76	0.61	0.06
PMRV	-0.52	0.19	0.30	0.40	-0.17	0.61	0.67	0.04
PSV	0.76	0.03	0.80	0.01	0.72	0.01	0.73	0.02
PFolhaB	0.40	0.32	0.85	0.00	0.78	0.00	0.74	0.01
PMLB	0.62	0.10	0.47	0.17	0.11	0.76	0.43	0.22
PMRB	0.10	0.82	0.57	0.08	0.39	0.18	0.22	0.53
PSB	0.50	0.21	0.86	0.00	0.72	0.01	0.69	0.03
ENOS	-0.90	0.00	0.74	0.01	-0.89	0.00	0.80	0.03
ATSMAN	-0.51	0.14	0.82	0.00	-0.77	0.02	0.64	0.12
ATSMAS	-0.54	0.10	-0.80	0.01	-0.77	0.02	0.70	0.08