



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

**REVELANDO AS CAUSAS E A DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL
DA MORTALIDADE ARBÓREA EM UMA FLORESTA DE
TERRA-FIRME NA AMAZÔNIA CENTRAL**

CLARISSA GOUVEIA FONTES

Manaus, Amazonas

Março, 2012

Clarissa Gouveia Fontes

**REVELANDO AS CAUSAS E A DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL
DA MORTALIDADE ARBÓREA EM UMA FLORESTA
DE TERRA-FIRME NA AMAZÔNIA CENTRAL**

Orientador: Dr. Niro Higuchi

Co-orientador: Dr. Jeffrey Chambers

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais área de concentração em Manejo Florestal e Ecologia.

Manaus, Amazonas

Março, 2012

F683

Fontes, Clarissa Gouveia

Revelando as causas e a distribuição temporal da mortalidade arbórea em uma floresta de terra-firme na Amazônia Central / Clarissa Gouveia Fontes. --- Manaus : [s. n.], 2012.
viii, 63 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) --- INPA, Manaus, 2012

Orientador : Niro Higuchi

Co-orientador : Jeffrey Chambers

Área de concentração : Manejo Florestal e Silvicultura

1. Árvores – Mortalidade. 2. Monitoramento ambiental. 3. Dinâmica florestal. 4. Floresta de terra firme – Amazônia. I. Título.

CDD 19. ed. 574.52642

Sinopse:

As causas e a distribuição temporal da mortalidade arbórea foram estudadas em 10 hectares de floresta de terra-firme na Amazônia Central. A mortalidade foi maior na estação chuvosa e a principal causa de morte arbórea foram as tempestades.

Palavras-chave:

ZF-2, estação experimental de silvicultura tropical, transectos, projeto Jacarandá, vegetação arbórea.

Dedico

*A minha família e aos amigos que sempre
me apoiaram, em especial aos meus pais
Ruy e Eliana e ao meu marido Gabriel.*

AGRADECIMENTOS

A Floresta Amazônica, que me encantou com a sua beleza e me despertou a curiosidade em conhecê-la.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, em especial ao Programa de Pós Graduação em Ciências de Florestas Tropicais pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado.

Ao INCT - Madeiras da Amazônia (FAPEAM/CNPq) pelo financiamento do projeto de pesquisa.

A todos os pesquisadores, funcionários e alunos do INPA que contribuíram para minha formação e me ajudaram a construir e a realizar esse projeto.

Ao meu orientador Niro Higuchi pela oportunidade, confiança, suporte e pelos ensinamentos diários.

Ao meu co-orientador Jeffrey Chambers pelo entusiasmo e motivação. Estando sempre pronto para me ajudar, tirar minhas dúvidas e ouvir minhas ideias.

Aos pesquisadores Bruno Walter, Bruce Nelson, William Magnusson e José Júlio Toledo pelas contribuições que ajudaram a enriquecer esse trabalho.

A pesquisadora e curadora da Coleção Microbiológica de Interesse Agrossilvicultural, Maria Aparecida de Jesus, que abriu as portas do Laboratório de Patologia da Madeira, nos ajudando a coletar, armazenar e identificar os fungos coletados.

A equipe do Laboratório de Manejo Florestal e da Estação Experimental de Silvicultura Tropical pelo suporte, estrutura, coleta de dados, apoio logístico e momentos de descontração.

Aos amigos Caique, Canela, Carol, Côco, Danet, Diego, Doreti, Flávia, Giga, Granadeiro, Jana, Jessi, Ju, Leandro, Lost, Márcio, Naman, Pedro, Raiane, Raquelzinha, Robson, Rodrigo, Tapioca, Tati e Zanatta pelo convívio diário e por ter feito a estadia em Manaus mais acolhedora.

Aos amigos de Brasília que participaram direta ou indiretamente na confecção dessa dissertação.

Ao meu marido Gabriel pelo companheirismo incondicional. Ele vivenciou todas as etapas desse projeto, me incentivou nos momentos de dúvida e me estimulou a melhorar sempre.

Um agradecimento especial ao meu irmão Augusto e aos meus pais Ruy e Eliana, pelo carinho, amor, exemplo de vida, suporte e incentivo incondicional em todos os momentos, me ajudando a fazer minhas escolhas e me apoiando nas minhas decisões.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1. <i>Mortalidade arbórea e sua influência no ecossistema local</i>	11
2.2. <i>Sazonalidade Climática e Causa de Morte Arbórea</i>	12
3. OBJETIVO	14
3.1. <i>Geral</i>	14
3.2. <i>Específicos</i>	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS	14
4.1. <i>Área de Estudo</i>	14
4.2. <i>Delineamento Amostral e Coleta dos Dados</i>	17
4.3. <i>Análise dos Dados</i>	18
5. RESULTADO	19
5.1. <i>Mortalidade e Modo de Morte Arbórea</i>	19
5.2. <i>Distribuição da Mortalidade ao Longo do Ano: Relação entre Pluviosidade, Vento e Mortalidade</i>	24
5.3. <i>Causas da Mortalidade Arbórea</i>	27
6. DISCUSSÃO	29
6.1. <i>Taxa de Mortalidade</i>	29
6.2. <i>Modo de Morte Arbórea</i>	30
6.3. <i>Relação entre Mortalidade e Diâmetro</i>	31
6.4. <i>Distribuição da Mortalidade ao Longo do Ano: Relação entre Pluviosidade, Vento e Mortalidade</i>	32
6.5. <i>Causas de Morte Arbórea</i>	33
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica dos dois transectos (Norte-Sul e Leste-Oeste), situados na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus-AM. Sensor ETM - Imagem Satélite, Landsat 7 (2000), produto Geocover. Fonte: Souza, 2011.

Figura 2. Perfil vertical da toposequência do transecto Norte-Sul (A) e Leste-Oeste (B), localizados na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus - AM. Fonte: Higuchi *et al.*, 1998.

Figura 3. Abundância de indivíduos encontrada em cada modo de morte no transecto Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO) da E.E.S.T, ZF-2, Manaus.

Figura 4. Taxa de mortalidade arbórea encontrada nas diferentes classes de diâmetro dos transectos da ZF-2, Manaus.

Figura 5. Abundância de indivíduos por classe de diâmetro nas diferentes categorias de modo de morte.

Figura 6. Distribuição espacial dos modos de morte ao longo do transecto Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO) da E.E.S.T, ZF-2, Manaus.

Figura 7. Distribuição temporal dos modos de morte arbórea nos dois transectos da ZF-2 (A), no transecto Norte-Sul (B) e no Leste-Oeste (C).

Figura 8. Relação entre a abundância das árvores mortas e precipitação mensal observada durante novembro de 2010 a outubro de 2011 no Núcleo Rural ZF-2, Manaus.

Figura 9. Abundância das árvores mortas e velocidade máxima do vento observada durante novembro de 2010 a outubro de 2011 na ZF-2, Manaus.

Figura 10. Histograma circular da orientação de queda das árvores que morreram desenraizadas e quebradas durante o período de monitoramento, no transecto Norte-Sul (A), Leste-Oeste (B), nos dois transectos juntos (C) e a porcentagem de queda observada em cada um dos quadrantes (D).

Figura 11. Abundância de indivíduos encontrada nas diferentes categorias de causa de morte arbórea no transecto Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO) da E.E.S.T-INPA, Manaus.

Figura 12. Distribuição temporal das causas de morte arbórea nos transectos da E.E.S.T/INPA, Manaus.

RESUMO

Foi analisado as causas e a distribuição temporal da mortalidade arbórea em 10 ha de floresta não perturbada localizada na E.E.S.T/INPA, Manaus, Amazonas. O estudo teve como objetivo 1) revelar as principais causas da morte arbórea e 2) descrever a variação da mortalidade ao longo do ano além de correlaciona-la com variáveis climáticas. O trabalho foi conduzido em dois transectos de 20 x 2.500m (5 ha cada) e todos os indivíduos arbóreos com DAP \geq 10cm foram amostrados, somando 5.808 árvores. Os transectos foram monitorados todos os meses durante um ano de forma alternada. O estado fitossanitário das árvores vivas foi observado em cada uma das medições. Os indivíduos mortos foram classificados de acordo com seu modo de morte (em pé, quebrado ou desenraizado). As condições pré e pós-morte das árvores foram analisadas com a finalidade de se identificar a causa da sua morte. Durante um ano de monitoramento, morreram 67 indivíduos ou 6,7 árvores/ha e a taxa de mortalidade calculada foi de 1,15%.ano⁻¹. Das 67 árvores mortas, 24 morreram desenraizadas, 23 mortas em pé e 20 mortas quebradas. A mortalidade foi altamente correlacionada com as taxas de precipitação mensal ($r = 0,85$). Portanto, os eventos de morte são mais frequentes na estação chuvosa. A correlação entre mortalidade e velocidade máxima mensal do vento foi fraca e negativa ($r = -0,3$) e a direção de queda dos indivíduos foi aleatória. Ao todo se determinou seis categorias de causa de morte arbórea. As *tempestades* (chuva + vento) foram a principal causa, responsável por 45% das mortes. Logo atrás das *tempestades* veio a causa *estresse e fatores bióticos*, matando 20 dos 67 indivíduos mortos. Dessas 20 árvores, pelo menos uma foi morta por cipó Apuí e 3 morreram por infestação de fungos patogênicos. Os resultados indicam que a partir dos pequenos intervalos entre as remeidições é possível determinar as causas de morte arbórea nas florestas tropicais, além de elucidar o efeito das variações sazonais sobre a mortalidade. O trabalho gerou informações inéditas para a Amazônia e sugere-se que esses estudos sejam inseridos nos projetos de monitoramento da dinâmica florestal.

Palavras chaves: morte arbórea, sazonalidade, tempestade, ZF-2, transecto.

ABSTRACT

We analyzed the causes and temporal distribution of tree mortality in 10 ha of an old growth forest located in E.E.S.T / INPA, Manaus, Amazonas. The study aimed to 1) reveal the main causes of tree death and 2) describe the variation in mortality over the year and also correlates it with climatic variables. The study was conducted in two transects of 20 x 2,500 m (5 ha each) and all individuals with DBH \geq 10 cm were sampled, totaling 5,808 trees. The transects were monitored every month, alternately, for a year. The sanitary condition of living trees was observed in each monitoring. The dead individuals were classified according to their mode of death (standing, broken or uprooted). The pre and post-death of the trees were analyzed in order to identify the cause of the death. During one year of monitoring, 67 individuals died or 6.7 trees / ha and the mortality rate was 1.15%. year⁻¹. Of the 67 dead trees, 24 died uprooted, 23 broken and 20 standing dead. Mortality was highly correlated with the rates of monthly rainfall ($r = 0.85$). Therefore, the events of death are more frequent in the rainy season. The correlation between mortality and wind speed was not as strong as expected ($r = -0.29$) and the direction of the individuals fall was random. Altogether were distinguished six categories of cause of tree death. *Storms* (rain + wind) was the main cause, accounting for 45% of deaths. Close behind was *stress and biotic factors*, killing 20 of the 67 dead individuals. Of these 20 trees, at least one was killed by liana Apuí and 3 died from infestation by pathogenic fungi. The results indicate that from the small intervals between monitoring is possible to determine the cause of trees death in tropical forests and elucidate the effect of seasonal variations on mortality. The work has generated new information to the Amazon and it is suggested that these studies are included in the projects of forest dynamics.

Keywords: tree death, seasonal, storm, ZF-2, transect.

1. INTRODUÇÃO

A mortalidade do componente arbóreo é um processo crítico dos ecossistemas florestais, pois pode influenciar na composição florística, estrutura, dinâmica, estoque de carbono e ciclagem de nutrientes da floresta (Franklin et al., 1987). A mortalidade de árvores é comumente utilizada em estudos de dinâmica florestal para determinar as mudanças dos parâmetros estruturais e estimar variações da biomassa e de carbono ao longo do tempo (Condit et al., 1995; Chambers et al., 2004; Higuchi et al., 2004; Lewis, Phillips, Sheil, et al., 2004). Dessa forma, trabalhos que visem estudar as causas da morte arbórea merecem mais atenção do que têm recebido até o momento.

As taxas de mortalidade em florestas não perturbadas da Amazônia aumentaram nas últimas décadas (Phillips e Gentry, 1994; Laurance et al., 2004; Phillips et al., 2004). De modo geral, este aumento tem sido associado à variação climática, principalmente às mudanças na intensidade das estações seca e chuvosa (Lewis et al., 2004; Malhi e Wright, 2004). Enquanto alguns estudos indicam que a intensidade do período seco é o principal responsável pelo aumento da mortalidade arbórea registrada na Amazônia (Condit et al., 1995; Williamson et al., 2000; Phillips et al., 2004, 2009, 2010), outros sugerem que esse aumento é devido aos danos causados por tempestades de vento, como os *downbursts* ou *blowdowns* (Fisher et al., 2008; Chambers et al., 2009; Espírito-Santo et al., 2010; Negrón-Juárez et al., 2010).

Estudos têm previsto um aumento na frequência e intensidade do período seco e nos eventos de precipitação extrema na Amazônia (Marengo et al., 2009; Lewis et al., 2011). Dessa forma, torna-se clara a necessidade de entender qual a real influência da variação climática sobre a mortalidade de árvores nas florestas tropicais. Entretanto, a sazonalidade da mortalidade ainda não foi estudada na Amazônia e grande parte das inferências é baseada em correlações. As análises de correlação são importantes para elucidar os fatores que podem estar afetando a mortalidade, porém quando associadas a intervalos longos entre as remedições podem ocasionar em interpretações erradas dos resultados obtidos. Uma das formas de se evitar suposições equivocadas é através do monitoramento da mortalidade com curtos intervalos entre as remedições, aumentando o detalhamento das informações obtidas e a precisão na identificação das causas das mortes arbóreas.

Para determinar as causas da mortalidade arbórea é importante que alguns fatores sejam observados. Um dos principais é o modo de morte do indivíduo (Franklin et al., 1987; Gale and Barfod, 1999; D'Angelo et al., 2004; Chao et al., 2009). As árvores podem morrer de três modos: em pé, quebrada ou desenraizada e cada um deles exerce um papel ecológico diferenciado no ecossistema (Carey et al., 1994; Gale and Barfod, 1999; Chao et al., 2009 discutem bem esse aspecto). Mortas em pé estão vinculadas a algum tipo de estresse (competição, supressão, déficit hídrico, alagamento, senescência, raio e ataque de patógenos). Enquanto a causa de morte dos indivíduos quebrados ou desenraizados pode ser vento, chuva, topografia e queda de outras árvores (Putz et al., 1983; Carey et al., 1994; Gale e Barfod, 1999; Arriaga, 2000; Gale, 2000; Gale e Hall, 2001; D'Angelo et al., 2004; Chao et al., 2009; Toledo et al., 2012). Fica claro que observar o modo de morte das árvores é fundamental para saber quais fatores podem estar envolvidos na morte do indivíduo. Porém, apenas através dos modos de morte não é possível determinar as verdadeiras causas da mortalidade. Dessa forma, é necessário observar as características fitossanitárias das árvores ainda vivas, pois só assim é possível definir quais fatores contribuíram para a morte do indivíduo.

Assim, foram estudados 10 hectares de floresta não perturbada na Amazônia Central com o objetivo de responder as seguintes perguntas: (1) Como é a distribuição da mortalidade arbórea ao longo do ano? (2) Quais são as principais causas de morte arbórea nessa floresta?

Para responder essas perguntas, 5.808 árvores (≥ 10 cm de DAP) foram monitoradas continuamente durante um intervalo de um ano, permitindo que a distribuição temporal da mortalidade fosse determinada. As condições pré e pós-morte dos indivíduos foram analisadas com a finalidade de identificar, com a maior precisão possível, a causa da sua morte.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Mortalidade arbórea e sua influência no ecossistema local

No momento em que a árvore morre, ela apenas cumpriu parcialmente sua função ecológica no ecossistema, pois mesmo morta ela continua a influenciar os organismos ao seu redor (Franklin *et al.* 1987). Na literatura são registrados três modos de morte arbórea: em pé, quebrada e desenraizada (Putz et al., 1983; Korning e Balslev,

1994; van der Meer e Borges, 1996; Gale e Barfod, 1999; Arriaga, 2000; Gale e Hall, 2001; D'Angelo et al., 2004; Chao et al., 2008; Toledo et al., 2012). Cada modo gera situações distintas de entrada de luz, dimensões do dano no sub-bosque e exposição do solo florestal (Brokaw, 1985).

A copa das árvores mortas em pé é fragmentada aos poucos (Arriaga, 2000) e causa pequeno estrago no dossel e no sub-bosque da floresta, favorecendo a regeneração de espécies tolerantes a sombra (Chao *et al.* 2009). Esse modo também disponibiliza os recursos para o ecossistema, como luz e nutrientes, de forma lenta e gradual (Cary *et al.* 1994).

Por outro lado, as mortas quebradas e desenraizadas, geralmente ocorrem juntas e causam grande abertura no dossel da floresta, favorecendo o aparecimento de lianas e espécies pioneiras (Brokaw 1982). Esses modos de morte contribuem para a nutrição do solo e disponibilizam mais rapidamente o carbono para a atmosfera (Harmon e Hua 1991, Chao *et al.* 2009). As árvores desenraizadas causam o revolvimento do solo, um importante processo ecológico (Franklin *et al.* 1987), e troncos caídos podem diminuir o movimento da água e do solo em áreas declivosas (Kirby et al., 1998).

Mesmo que áreas florestais tenham taxas de mortalidade similares, a ocorrência de certos modos de morte acarreta em diferentes processos ecológicos de sucessão e reestruturação da floresta (Cary *et al.* 1994). Além disso, o modo de morte pode indicar os prováveis agentes causais da mortalidade arbórea (Arriaga, 2000). Portanto definir como os modos variam em escala local permite a predição dos efeitos cumulativos da mortalidade sobre o estoque da biomassa florestal (Toledo et al., 2012).

2.2. Sazonalidade Climática e Causa de Morte Arbórea

As estimativas mais recentes indicam que a floresta Amazônica armazena cerca de 120 Pg de carbono na sua biomassa (Malhi et al., 2008) e pequenas mudanças na dinâmica das florestas têm um grande potencial de modificar a concentração de CO₂ atmosférico e consequentemente acelerar as mudanças no clima (Phillips et al., 2009). Como a dinâmica florestal é determinada principalmente pela mortalidade arbórea, surge uma pergunta: qual é a principal causa de morte das árvores na bacia Amazônica? Poucos trabalhos tentaram estudar as causas de morte, sendo que a maioria deles foi conduzido em florestas temperadas (ex: Villalba e Veblen, 1998; van Mantgem e

Stephenson, 2007) e apenas dois em florestas tropicais (Arriaga, 2000; D'Angelo et al., 2004).

A maior parte dos estudos relacionam as causas da mortalidade a fatores climáticos. Entretanto alguns a vinculam a eventos de seca (Condit et al., 1995; Villalba and Veblen, 1998; Williamson et al., 2000; Phillips, Baker, Arroyo, Higuchi, Killeen, Laurance, Lewis, Lloyd, Malhi, et al., 2004; Phillips et al., 2009, 2010; Bunker and Carson, 2005) enquanto outros às tempestades de vento, os *downbursts* (Nelson et al., 1994; Arriaga, 2000; Baker et al., 2002; D'Angelo et al., 2004; Fisher et al., 2008; Chambers et al., 2009; Espírito-Santo et al., 2010; Negrón-Juárez et al., 2010). Esses fatores parecem exercer um efeito direto na mortalidade arbórea, porém essas presunções são baseadas em correlações e na ocorrência de episódios climáticos extremos, o que pode ocasionar em interpretações errôneas dos resultados obtidos. Um exemplo é a mortalidade documentada em 2005 no projeto Bionte (parcelas integrantes da Rede Amazônica de Inventários Florestais - RAINFOR).

A taxa de mortalidade estimada entre julho de 2004 e julho de 2005 ($1,29\%.\text{ano}^{-1}$) na área testemunha do Bionte foi superior ao documentada entre julho de 2005 e julho de 2006 ($0,76\%.\text{ano}^{-1}$) (Lima, 2010). Nas parcelas permanentes do projeto RAINFOR, Phillips *et al.* (2009) associaram o aumento da mortalidade em 2005 unicamente a seca documentada naquele ano. Entretanto, nesse mesmo ano ocorreu na área da ZF-2 um dos maiores *downbursts* já registrados (Negrón-Juárez et al., 2010). Sabendo que o monitoramento do Bionte é realizado anualmente no mês de julho e que o *downbursts* ocorreu em janeiro de 2005, enquanto a seca atingiu seu pico em setembro, fica claro que a elevada taxa de mortalidade documentada para o Bionte em 2005 não pode ter sido devido ao efeito da seca de 2005 e sim das tempestades de vento. Portanto, tornam-se necessários estudos que monitorem a mortalidade em menores intervalos de tempo, a fim de evitar suposições equivocadas.

O único estudo na Amazônia que abordou a influência da sazonalidade na mortalidade encontrou uma correlação positiva ($r = 0,89$) entre estação chuvosa e a morte arbórea (Laurance et al., 2009). Trabalhos anteriores também mencionam que a maior quantidade de queda das árvores parece ocorrer no período da chuva e que o vento e o encharcamento do solo desempenham um papel importante na mortalidade dentro das florestas (Brokaw, 1982; Whitmore, 1990). Portanto o efeito da sazonalidade na morte arbórea ainda é pouco explorado e conhecer o padrão de distribuição da

mortalidade ao longo do ano é crucial para entender a influência que as mudanças climáticas exercerão sobre a dinâmica das florestas.

3. OBJETIVO

3.1. Geral

Revelar as causas e a distribuição temporal da mortalidade arbórea em uma floresta de terra-firme na Amazônia Central.

3.2. Específicos

- Avaliar a taxa de mortalidade arbórea, sua distribuição temporal, espacial e por classes de diâmetro em 10 ha de floresta de terra-firme.

- Quantificar a ocorrência dos principais modos de morte, assim como sua distribuição temporal, espacial e por classe de diâmetro em 10 ha de floresta de terra-firme.

- Definir a influência da pluviosidade e do vento na mortalidade arbórea em 10 ha de floresta de terra-firme durante 12 meses de monitoramento.

- Definir as principais categorias de causa de morte arbórea, bem como sua distribuição temporal em uma floresta da Amazônia Central.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado em dois transectos situados na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (E.E.S.T/INPA), Núcleo ZF-2 (Figura 1). A Estação se encontra à aproximadamente 90 km ao norte de Manaus (02° 37' S e 60° 11' W) sendo que o acesso à área é feito através da estrada vicinal situada no Km 50 da BR-174 que liga Manaus - AM a Boa Vista - RO. Já os transectos, se localizam no km 28 (transecto Leste-Oeste) e 31 (transecto Norte-Sul) da estrada vicinal ZF-2. Estes transectos foram instalados em 1995 pelo Projeto Jacaranda (convênio INPA/JAICA) e desde 1998 sua vegetação vem sendo monitorada a cada dois anos, sendo que o último inventário florestal realizado no local foi em julho de 2010.

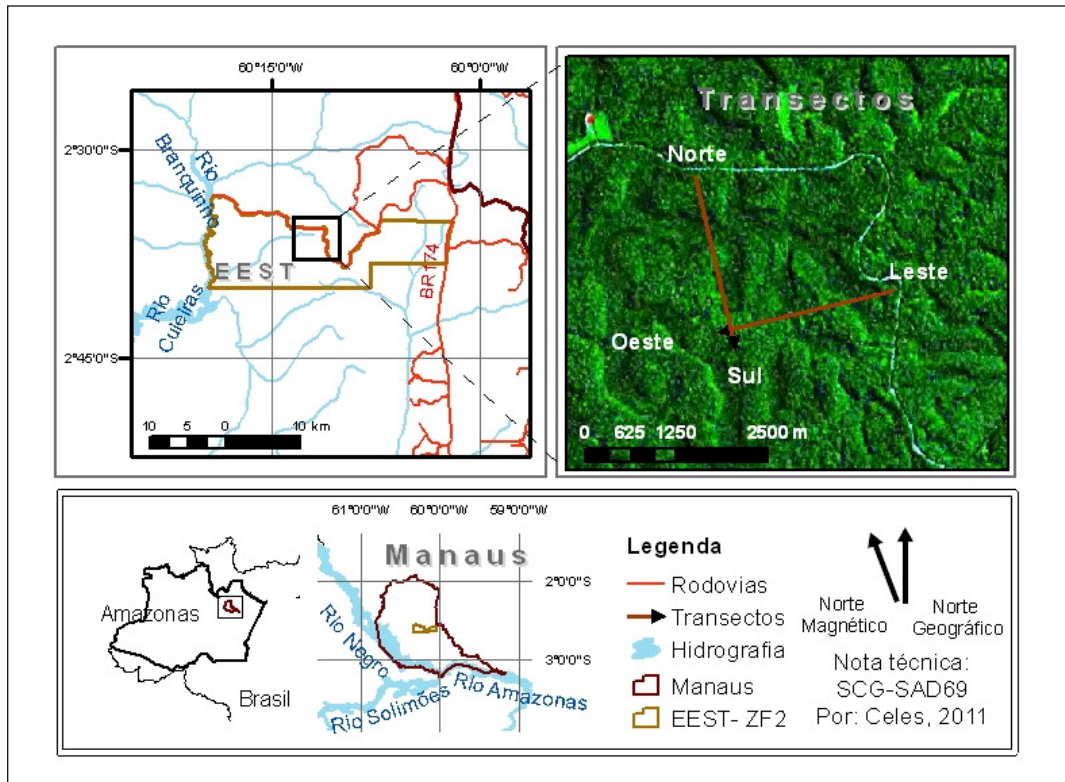


Figura 2. Localização geográfica dos dois transectos (Norte-Sul e Leste-Oeste), situados na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus-AM. Sensor ETM - Imagem Satélite, Landsat 7 (2000), produto Geocover. Fonte: Souza, 2011.

Na E.E.S.T predomina o clima tropical chuvoso do tipo Am segundo a classificação de Köppe (Kottek et al., 2006), caracterizado por um clima quente e úmido durante o ano todo. A temperatura média anual é de 26,7°C e a umidade relativa do ar média varia entre 84 a 90% (Rocha *et al.*, 2003; Silva *et al.*, 2002; Teixeira *et al.*, 2007). A precipitação anual está em torno de 2.000 a 2.400 mm, distribuídos em duas épocas distintas do ano, a chuvosa que ocorre de dezembro a maio e a seca que ocorre entre junho e novembro (Sombroek, 2001; Silva et al., 2002).

O relevo dos transectos é levemente ondulado, podendo ser dividido em platô, encosta e baixio (Figura 2) (Ferraz *et al.*, 1998). A maioria das ondulações é formada por pequenos platôs que variam de 500 a 1.000 m de extensão, sendo que a diferença de nível entre as calhas dos igarapés e a superfície dos platôs é de 70 a 80 m (Santos, 1996). O solo dos platôs são de textura argilosa, já nas encostas a concentração de argila decresce à medida que se aproximam os baixios, que por sua vez possuem solo de

textura arenosa (Ferraz *et al.*, 1998) e são sazonalmente encharcados. Estes autores classificaram os solos nas áreas dos transectos em três tipos: Latossolo Amarelo distrófico nos platôs, Argissolo Vermelho Amarelo distrófico nas encostas e Espodossolo Cárstico Hidromórfico nos baixios. O transecto Leste-Oeste (LO) apresentou uma segunda área de baixio, onde foi observado um Podzol. Ao longo das duas topossequências os solos são muito ácidos e nas depressões, apresentam maiores concentrações de cargas negativas (Ferraz *et al.*, 1998).

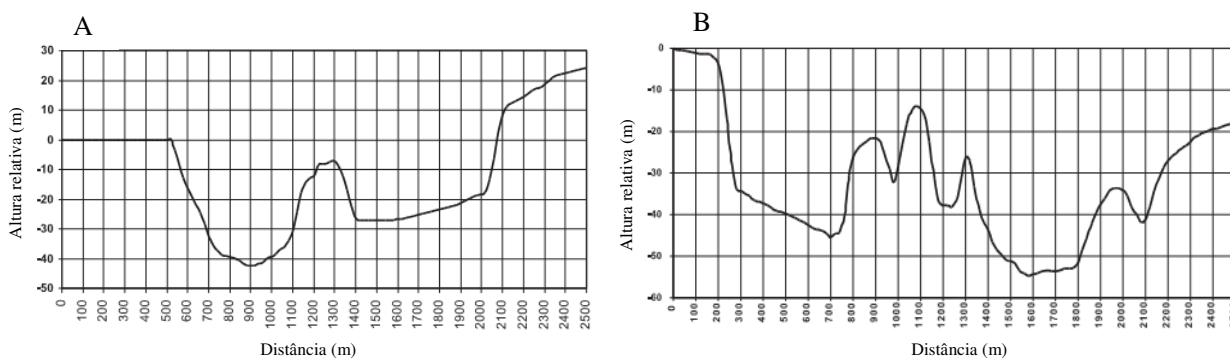


Figura 2. Perfis verticais das topossequências do transecto Norte-Sul (A) e Leste-Oeste (B), localizados na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus - AM. Fonte: Higuchi *et al.*, 1998.

A área é coberta com floresta tropical úmida de terra firme, com características típicas da parte central da Amazônia, apresentando elevada diversidade de espécies lenhosas e herbáceas não exibindo vestígios de ação antrópica, ao menos durante os últimos 50 anos (Higuchi *et al.*, 1997; 1998). Ao total, já foram encontradas nos transectos 879 espécies pertencentes a 61 famílias e apenas dez delas (Fabaceae, Lecythidaceae, Sapotaceae, Burseraceae, Chrysobalanaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Moraceae, Myristicaceae e Annonaceae) são responsáveis por aproximadamente 75,5% do total de indivíduos amostrados na área (Carneiro, 2004; Souza, 2011). Na área de estudo a elevada diversidade encontrada esta associada à grande heterogeneidade ambiental, representada pela variação na topografia, nos solos e na disponibilidade hídrica, o que proporciona diferenças ecológicas ou de nichos entre as espécies.

4.2. Delineamento Amostral e Coleta dos Dados

A amostragem da mortalidade constituiu no monitoramento de 5.808 árvores, sendo que 2.813 eram do transecto Leste-Oeste (LO) e 2.995 do Norte-Sul (NS). Cada transecto possui 5 ha (20 x 2.500 m), subdivididos em 125 sub-parcelas de 20 x 20 m, totalizando 10 ha de floresta não perturbada. Existe uma pequena sobreposição entre os transectos e 19 árvores pertencem tanto ao NS quanto ao LO. Para evitar esta sobreposição, as árvores foram excluídas do transecto NS, permanecendo somente no LO. Os transectos foram monitorados todos os meses durante um ano de forma alternada, sendo assim, cada transecto foi visitado a cada dois meses.

Foram monitorados todos os indivíduos computados no último inventário florestal conduzido nos transectos, realizado em julho de 2010 (Souza, 2011). Assim, todas as árvores com DAP ≥ 10 cm foram amostradas, com exceção das palmeiras, pois elas apresentam padrões de crescimento e modo de morte diferentes das dicotiledônias (Gale e Barfod, 1999).

Em cada medição foram registradas algumas características fitossanitárias das árvores vivas, como quantidade de folhas, presença de injúria mecânica e infestação por lianas, fungos e insetos tanto na copa como no tronco. Com esse monitoramento foi possível saber a situação em que a árvore se encontrava antes de morrer, auxiliando assim a determinar a causa da sua morte.

Cada indivíduo morto durante o período de estudo foi alocado em uma das três categorias de modo de morte:

- Árvores mortas em pé: foram aquelas que apresentaram ausência de folhas, de seiva e desprendimento da casca, não havendo sinal de queda ou quebra (antiga ou recente).

- Árvores mortas quebradas: foram caracterizadas por um toco quebrado, sem seiva e um tronco, normalmente com copa, caído.

- Árvores mortas desenraizadas: foram aquelas que estavam com copa e caídas com a raiz exposta.

Todas as árvores desenraizadas foram consideradas como mortas, enquanto as quebradas foram monitoradas para diagnosticar uma possível morte ou o aparecimento futuro de brotos. Árvores quebradas abaixo de 1,30m de altura foram consideradas como mortas.

Os fungos observados nos indivíduos que morreram foram coletados. Os espécimes foram alocados em sacos individuais de papel e cada amostra recebeu informações referentes à sua origem. A secagem do material micológico foi realizada no Laboratório de Patologia da Madeira. Os fungos foram alocados em estufa com temperatura controlada entre 50 e 60° aproximadamente. Posteriormente o material foi acondicionado e devidamente etiquetado para posterior identificação por especialista.

As condições pré e pós-morte dos indivíduos foram analisadas com a finalidade de se identificar, com a maior precisão possível, a causa da sua morte. Nenhuma categoria de causa de morte foi determinada a priori, pois o objetivo foi construir essas categorias de acordo com os dados observados em campo. As árvores mortas devido à queda de outro indivíduo (principal) foram documentadas, porém a real causa dessas mortes foi atribuída ao fator responsável pela queda do indivíduo principal, já que não é possível saber se aquela árvore morreria caso o indivíduo principal não tivesse caído.

Os dados de pluviosidade e velocidade do vento foram obtidos através da torre de observações micrometeorológicas K34, instalada na Reserva Biológica do Cuieiras gerenciada pelo LBA e de propriedade do INPA. Situada a cerca de 60 km ao norte de Manaus no km 34 da estrada vicinal da Reserva ZF-2 (2°36'32,67"S e 60°12'33.48") e localizada a aproximadamente 2 km da área de estudo. Já a direção de queda das árvores que morrerem quebradas ou desenraizadas (utilizada para auxiliar na caracterização da relação entre vento e mortalidade arbórea) foi medida com o auxílio de uma bússola.

As espécies foram classificadas de acordo com o sistema “*Angyosperm Phylogeny Group - APG*” (APG II, 2003) que foi descrito em detalhes por Souza (2011).

4.3. Análise dos Dados

A taxa de mortalidade foi calculada para a comunidade arbórea de acordo com o modelo logarítmico sugerido por (Sheil et al., 1995):

$$\text{Taxa de mortalidade/decrécimo} = \{1 - [(N_0 - m) / N_0]^{(1/t)}\} * 100$$

Onde: N_0 é o número de indivíduos na primeira medição, m é o número de árvores mortas no período e t é o intervalo de tempo entre a primeira e a segunda medição, em anos. As taxas são expressas em $\% \cdot \text{ano}^{-1}$.

A tabela de contingência e o teste do Qui-Quadrado (χ^2) foram utilizados para determinar se o fator tempo (sazonalidade) exerce influência sobre a abundância dos modos e causas de morte arbórea. A correlação entre vento, pluviosidade e mortalidade foi utilizada para verificar a relação entre as variáveis. Para confeccionar os histogramas circulares de direção de queda das árvores utilizou-se o software Oriana (Kovach Computing Services).

Como esse estudo é exploratório, sendo em muitos aspectos o primeiro a ser realizado na região, grande parte das análises serão feitas com base na estatística descritiva.

5. RESULTADO

5.1. Mortalidade e Modo de Morte Arbórea

Ao longo de um ano de monitoramento foram documentadas 67 árvores mortas, 25 no transecto NS e 42 no transecto LO. A taxa de mortalidade calculada para a área foi de $1,15\%.\text{ano}^{-1}$ ou 6,7 árvores por hectare. A mortalidade no LO foi cerca de 80% maior do que no NS, enquanto que no primeiro a mortalidade foi de 8,4 árvores por hectare ($1,49\%.\text{ano}^{-1}$) no último foi de 5 árvores por hectares ($0,83\%.\text{ano}^{-1}$).

Das 67 árvores mortas, 24 morreram desenraizadas, 23 mortas em pé e 20 mortas quebradas indicando uma distribuição homogênea dos indivíduos nas categorias de modo de morte (Figura 3). No transecto LO houve uma predominância das mortas desenraizadas, enquanto que no NS elas foram as menos abundantes.

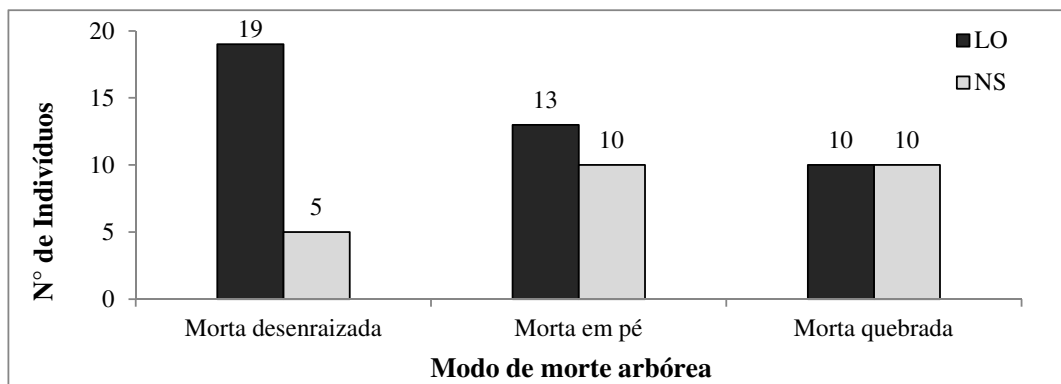


Figura 3. Abundância de indivíduos encontrada em cada modo de morte no transecto Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO) da E.E.S.T, ZF-2, Manaus.

A taxa de mortalidade foi maior entre as árvores com 30 a 60 cm de DAP (Figura 4). Entretanto não foi possível detectar um padrão claro de comportamento, sugerindo que a mortalidade é independente do tamanho do indivíduo.

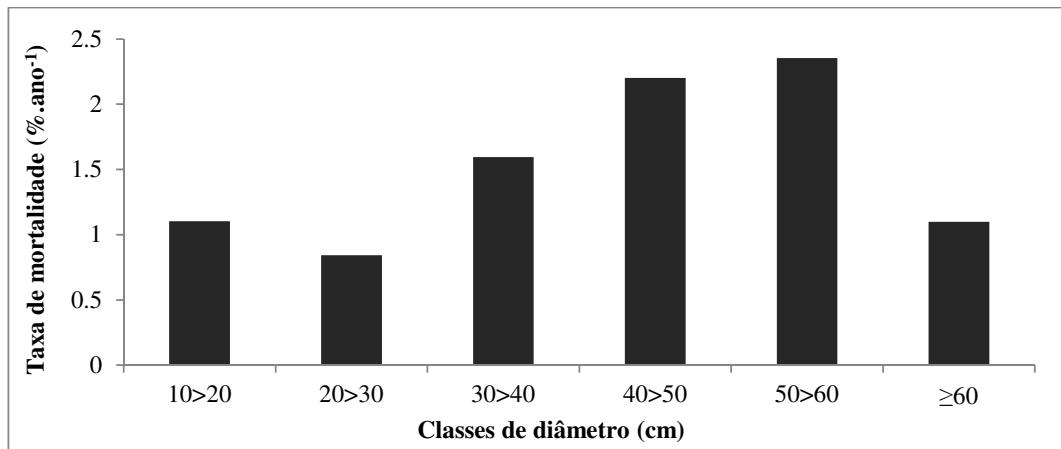


Figura 4. Taxa de mortalidade arbórea encontrada nas diferentes classes de diâmetro dos transectos da ZF-2, Manaus.

As mortas quebradas possuíram a maior abundância na primeira classe diamétrica, porém sua representatividade diminuiu à medida que a classe de diâmetro aumentou (Figura 5). Portanto, eventos de morte por quebra ocorrem principalmente em árvores com DAP inferior a 20 cm. Por outro lado os indivíduos de maior diâmetro tenderam a morrer desenraizados.

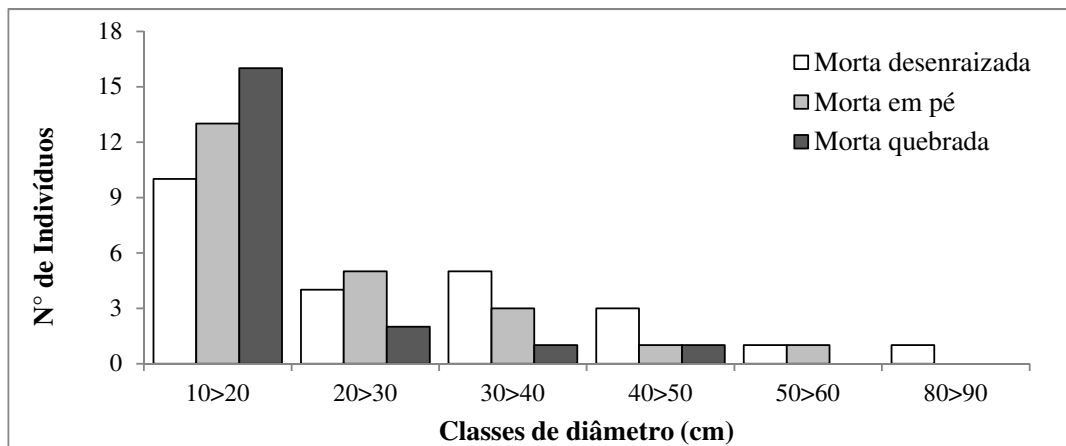


Figura 5. Abundância de indivíduos por classe de diâmetro nas diferentes categorias de modo de morte.

A distribuição espacial da mortalidade em cada transecto foi distinta (Figura 6). No NS nenhuma árvore morreu nos trechos de 800 a 1.200m e após 2.000m. As mortas

em pé foram encontradas em áreas mais planas, enquanto que as mortas quebradas estavam distribuídas ao longo de todo o relevo. Os eventos de queda agrupada ocorreram na metragem 1.500 e 2.000 m (2 árvores no primeiro evento e 4 indivíduos mais duas palmeiras no segundo). Nos 480 m, três árvores morreram agrupadas no início da estação chuvosa, porém estavam em pé. A folhagem dessas árvores e da regeneração natural do local estava seca, indicando uma morte por raio.

No LO a mortalidade foi homogênea ao longo de todo transecto havendo pequenos intervalos onde nenhuma morte foi computada. Ao todo, seis eventos de queda ocorreram de forma agrupada (metragem: 280, 1.040, 1.280/1.300, 2.100, 2.180 e 2.260/2.280). Dois eventos com 3 quedas, três eventos com 4 e um com 10 quedas. Só pertenceram ao mesmo evento as árvores mortas na mesma medição, além disso, foram incluídos na contagem os indivíduos mortos localizados fora das parcelas.

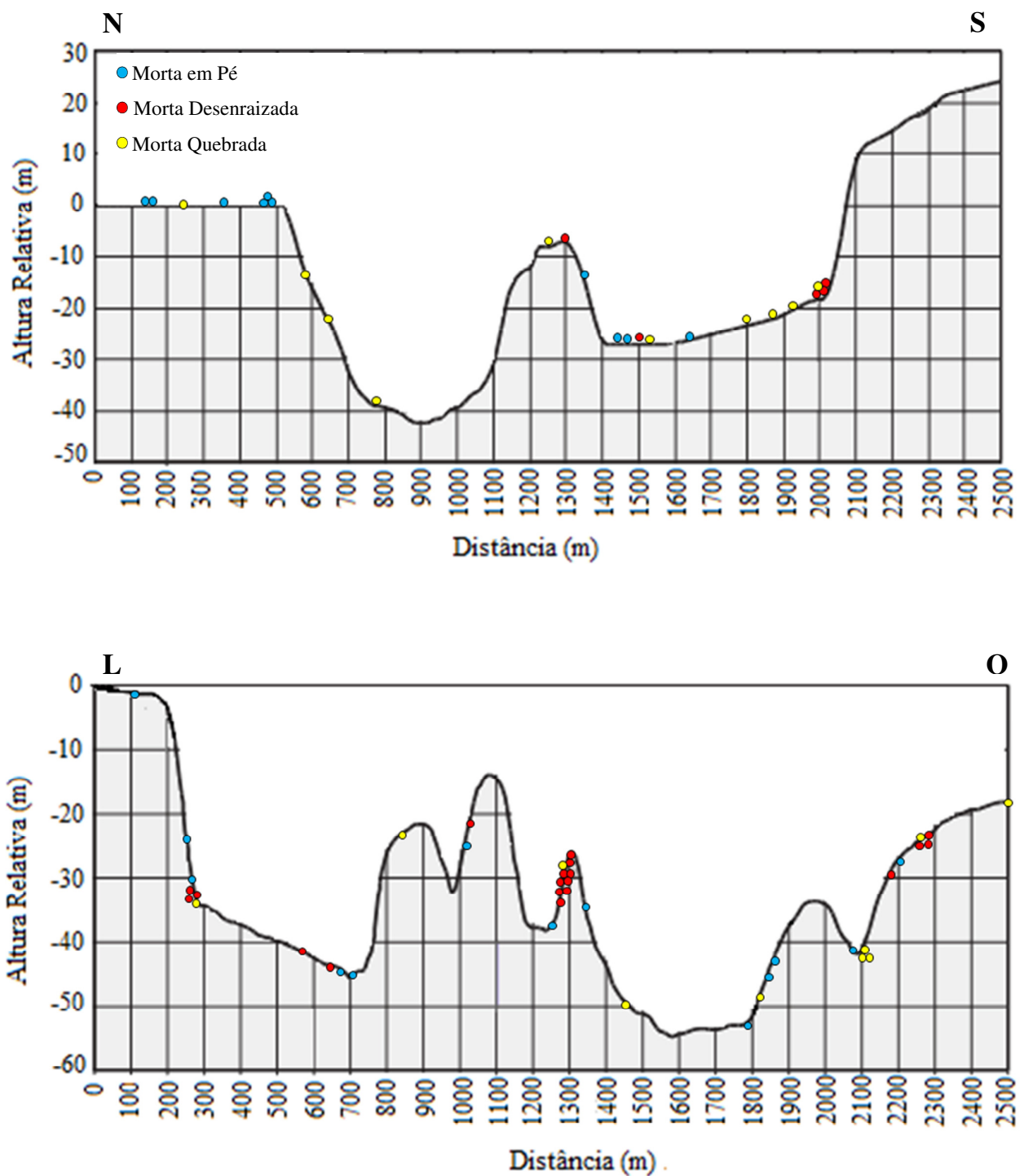


Figura 6. Distribuição espacial dos modos de morte ao longo do transecto Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO) da E.E.S.T, ZF-2, Manaus.

O efeito da variação no clima, durante o período de 12 meses, sobre os modos de morte foi incerta. No transecto NS os modos foram independentes do fator tempo ($\chi^2_{\text{cal}} = 12,7$; gl = 10; p = 0,174; Teste qui-quadrado), enquanto que no LO o resultado foi

contrário ($\chi^2_{\text{cal}} = 20,1$; $gl = 10$; $p = 0,028$; Teste qui-quadrado). As árvores mortas desenraizadas ocorreram em maior número entre março a junho de 2011, enquanto as mortas em pé foram mais frequentes entre dezembro de 2010 a fevereiro de 2011 e de setembro a outubro de 2011 (Figura 7). O mês de abril é um ‘outlier’, com 14 indivíduos mortos desenraizados em apenas uma medição.

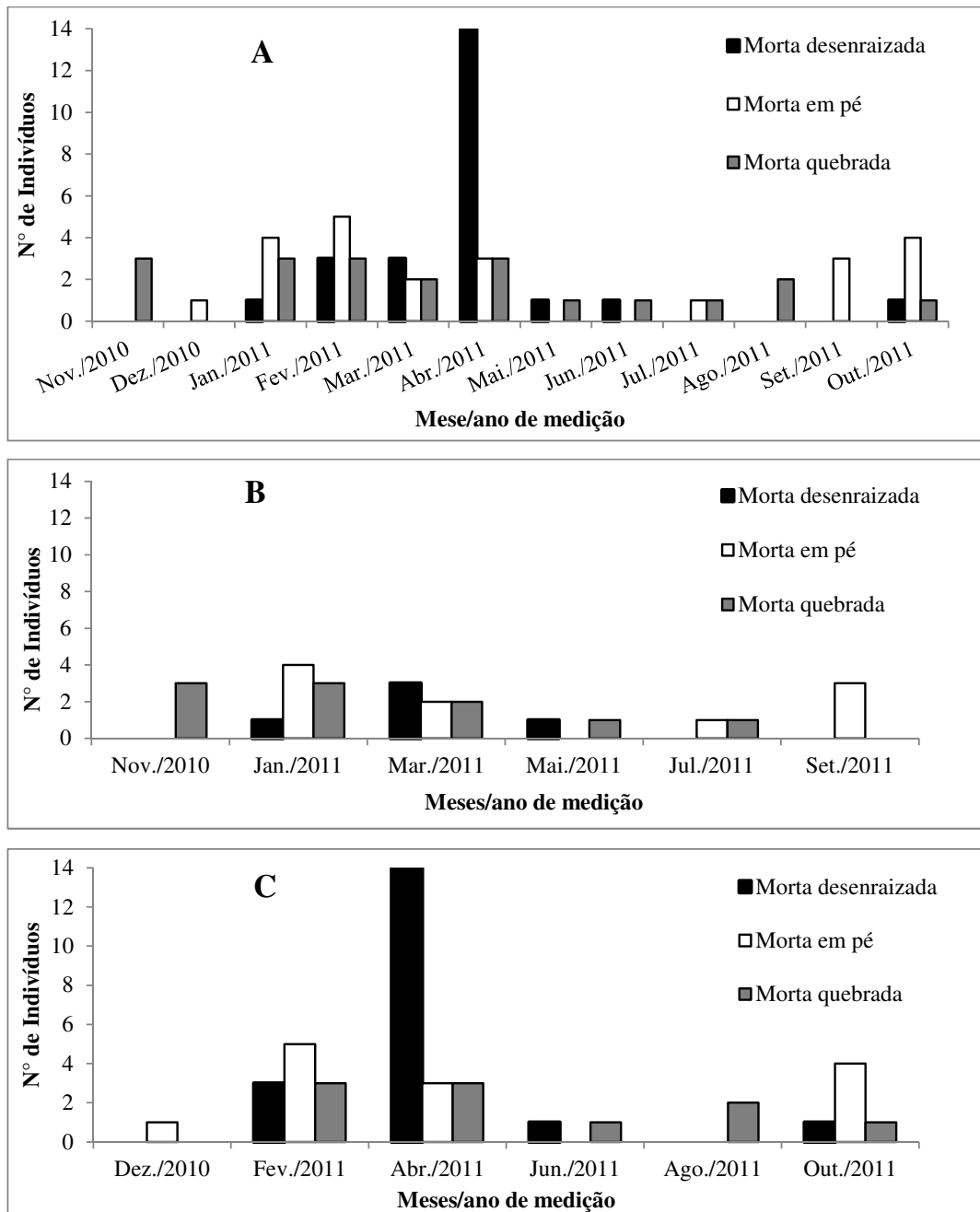


Figura 7. Distribuição temporal dos modos de morte arbórea nos dois transectos da ZF-2 (A), no transecto Norte-Sul (B) e no Leste-Oeste (C).

Cerca de 18% dos indivíduos mortos pertenceram a família Fabaceae, seguida por Burseraceae (16,4%) e Rubiaceae (10,5%), justamente as famílias mais abundantes na área, com exceção de Rubiaceae (Silva, 2011). O gênero mais frequente foi *Protium* e 47 das 55 espécies documentadas ocorreram uma única vez. A lista completa das espécies pode ser encontrada no Apêndice C, bem como as informações sobre a inclinação do terreno, mês em que a árvore morreu, DAP e modo de morte de cada indivíduo. Também foi confeccionada uma descrição sucinta sobre as condições pré e pós-morte de cada árvore morta (Apêndice A e B).

5.2. Distribuição da Mortalidade ao Longo do Ano: Relação entre Pluviosidade, Vento e Mortalidade

A mortalidade arbórea foi altamente correlacionada com a precipitação mensal ($r = 0,85$; $p = 0,001$) (Figura 8). Durante o período monitorado (novembro de 2010 a outubro de 2011), o maior número de árvores mortas ocorreu de janeiro a abril de 2011. De acordo com o banco de dados da estação pluviométrica do LBA, esse período também condiz com os meses de maior precipitação (Figura 8). Portanto, os eventos de morte foram mais frequentes na estação chuvosa, indicando uma forte influência da pluviosidade na mortalidade arbórea.

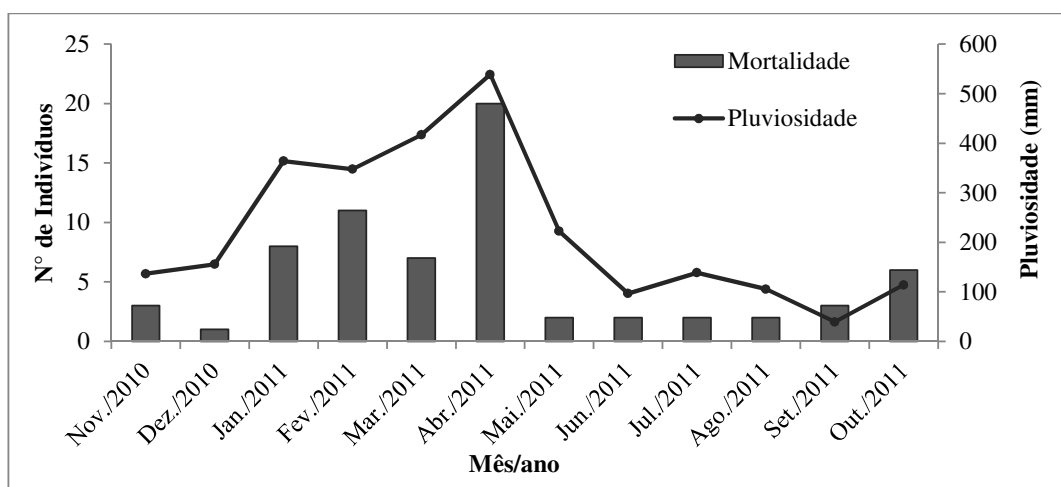


Figura 8. Relação entre a abundância das árvores mortas e precipitação mensal observada durante novembro de 2010 a outubro de 2011 no Núcleo Rural ZF-2, Manaus.

Já a correlação entre mortalidade e velocidade do vento não foi significativa ($r = -0,29$; $p = 0,346$). A velocidade máxima mensal variou de 5,8 a 7,9 m/s e o coeficiente de variação foi de 10,2% (Figura 9). Assim, a variação da velocidade foi pequena e não afetou a abundância das árvores mortas.

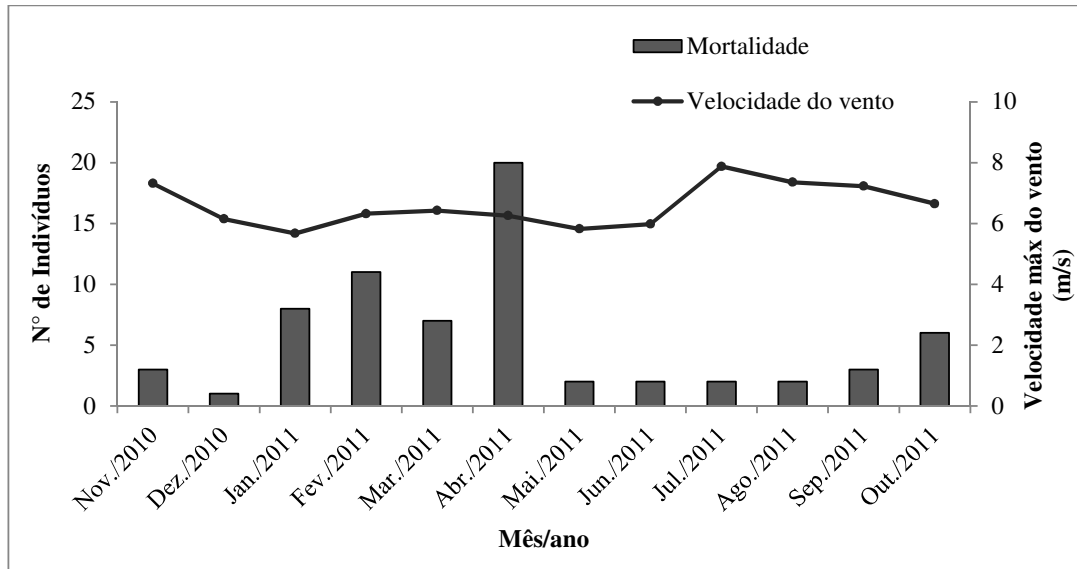


Figura 9. Abundância das árvores mortas e velocidade máxima do vento observada durante novembro de 2010 a outubro de 2011 na ZF-2, Manaus.

A direção de queda das árvores também está associada à influência do vento sobre a mortalidade. Segundo o registro dos azimutes (Apêndice C), os indivíduos que morreram quebrados e desenraizados caíram de forma aleatória (Figura 10). Das 34 árvores analisadas, 59% caíram em direção ao 1° e 2° quadrante, enquanto que 41% caíram em direção ao 3° e 4°. Portanto, os fatores associados ao vento, como a velocidade máxima mensal e a direção de queda dos indivíduos mortos, não detectaram nenhuma associação entre vento e mortalidade arbórea.

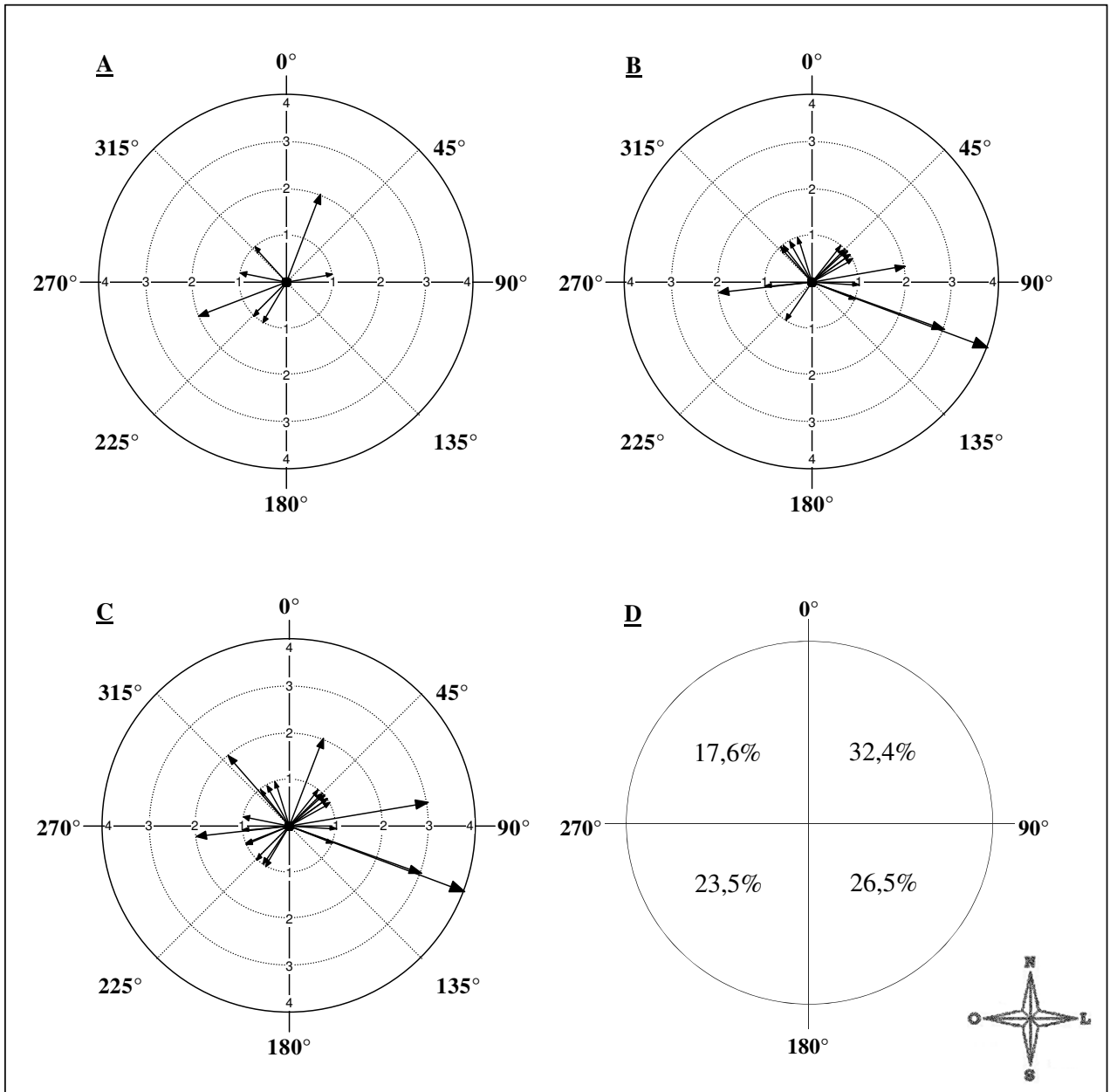


Figura 10. Histograma circular da orientação de queda das árvores que morreram desenraizadas e quebradas durante o período de monitoramento, no transecto Norte-Sul (A), Leste-Oeste (B), nos dois transectos juntos (C) e a porcentagem de queda observada em cada um dos quadrantes (D).

5.3. Causas da Mortalidade Arbórea

Analisando as características pré e pós-morte dos 67 indivíduos, distinguiram-se seis categorias de causa de morte arbórea (Tabela 1). As *tempestades* (chuva + vento) foram a principal causa de morte, responsável por matar cerca de 45% dos indivíduos (Figura 11). A causa menos representativa foi a *queda de um indivíduo morto*, acarretando a morte de apenas uma árvore. Em um ano de monitoramento, um evento de raio foi documentado, matando três indivíduos de uma só vez. A categoria *injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos* foi a terceira causa mais abundante.

As causas *raio*, *queda de um indivíduo morto* e *estresse/fatores bióticos e tempestade* só ocorreram no NS (Figura 11). Nesse transecto foram registrados 25 indivíduos mortos, bem distribuídos nas categorias de causa de morte. No LO apenas três causas foram responsáveis pela morte de 42 árvores.

Estresse e fatores bióticos matou 20 indivíduos e pelo menos um foi morto por cipó Apuí e três morreram por infestação de fungos patogênicos, 2 por *Ganoderma* sp. e um por *Auricularia delicata* Fries. *Estresse e fatores bióticos* juntamente com *tempestade* e suas interações (*estresse/fatores bióticos e tempestade* e categoria *injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos*), contribuiu com a morte de 94% das árvores, sugerindo que esses fatores são os principais agentes causais de morte arbórea em florestas tropicais não perturbadas.

Tabela 1. Categorias de causa de morte arbórea documentadas nos transectos (Leste-Oeste e Norte-Sul) da E.E.S.T-INPA, Manaus.

Causa	Descrição
<i>Tempestade</i>	Indivíduos que morreram quebrados ou desenraizados e que apresentavam uma boa qualidade fitossanitária, tanto da copa quanto do tronco, antes da sua morte. Ou seja, antes de desenraizarem ou quebrarem, apresentavam uma quantidade normal de folhas em sua copa, nenhum sinal de injúria mecânica (recente ou antiga) e/ou infestação por lianas, insetos ou fungos.
<i>Estresse e fatores bióticos</i>	Árvores mortas em pé que não mostraram nenhuma evidência de injúria mecânica ou infestação por lianas, insetos ou fungos no seu tronco e/ou na sua copa, cujas mortes foram provavelmente em decorrência da senescência ou de algum estresse fisiológico (competição, déficit hídrico, alagamento, entre outros). Também entraram nessa categoria os indivíduos mortos em pé que foram mortos devido a infestações do seu tronco e/ou da sua copa por insetos, lianas ou fungos.

Causa	Descrição
<i>Raio</i>	Árvores que morreram em pé em locais onde se documentou dois ou mais indivíduos mortos. Essas árvores foram representadas por mais de uma espécie, não caracterizando um evento de praga. As árvores se encontravam em ótimo estado fitossanitário antes de serem atingidas. Outra característica é a morte parcial ou total da regeneração natural do local.
<i>Queda de um indivíduo morto</i>	Indivíduos que morreram quebrados ou desenraizados e foram atingidos pela queda de uma árvore morta que estava em avançado estágio de decomposição.
<i>Estresse/fatores bióticos e tempestade</i>	Árvores que morreram quebradas ou desenraizadas e estavam em condições precárias antes da sua morte. São aqueles indivíduos que antes de caírem, tinham poucas folhas na copa, sinais de injúria mecânica e/ou infestação por insetos, cipós ou fungos.
<i>Injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos</i>	Indivíduos mortos quebrados, que desde a primeira medição estava com a copa quebrada. Essa injúria antiga provavelmente foi causada, direta ou indiretamente, por tempestade. Depois da quebra os indivíduos chegaram a lançar brotos, mas acabaram morrendo devido a algum estresse ou fator biótico.

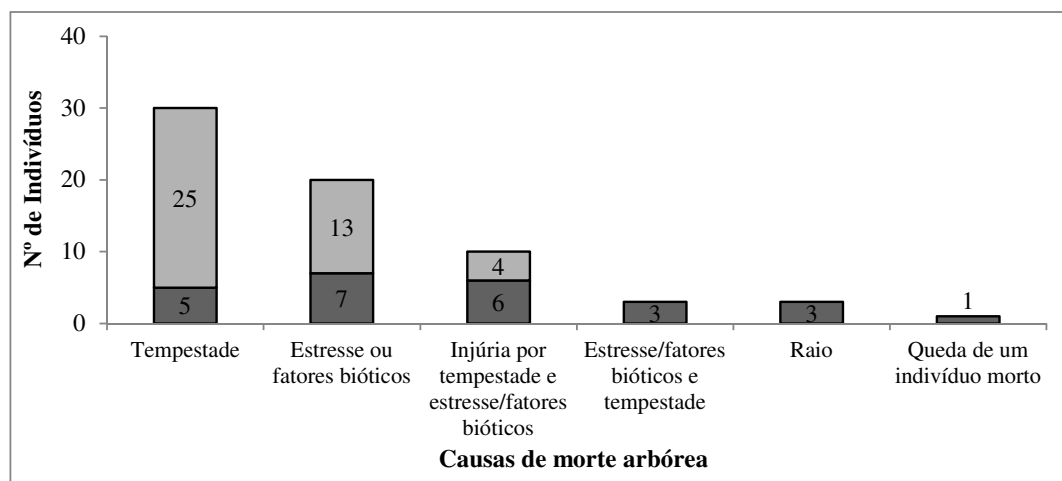


Figura 11. Abundância de indivíduos encontrada nas diferentes categorias de causa de morte arbórea no transecto Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO) da E.E.S.T-INPA, Manaus.

Nos dois transectos, a causa de morte foi dependente do período do ano (NS: $\chi^2_{\text{cal}} = 41,4$; gl = 25; p = 0,021 e LO: $\chi^2_{\text{cal}} = 30,9$; gl = 10; p = 0,001; Teste qui-quadrado). O maior número de indivíduos mortos por *estresse e fatores bióticos* ocorreu em fevereiro, enquanto que as mortas por *tempestade* foram mais abundantes entre fevereiro e junho de 2011, tendo seu ápice em abril (Figura 12). Portanto, determinadas causas são mais frequentes em períodos específicos do ano.

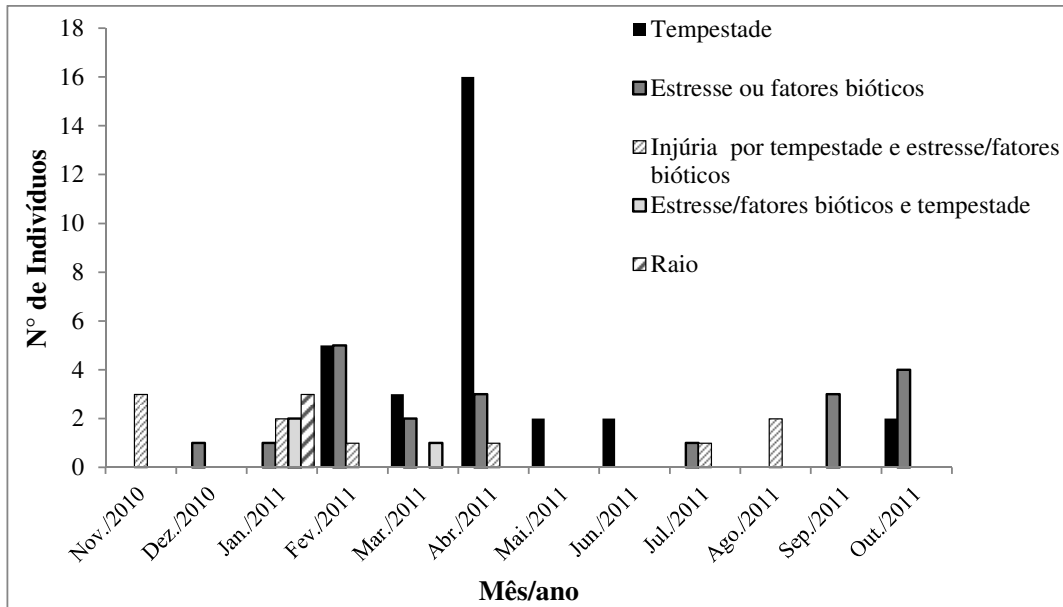


Figura 12. Distribuição temporal das causas de morte arbórea nos transectos da E.S.S.T/INPA, Manaus.

6. DISCUSSÃO

6.1. Taxa de Mortalidade

A taxa de mortalidade arbórea varia ao longo da bacia Amazônica em um gradiente espacial leste-oeste (Phillips, Baker, Arroyo, Higuchi, Killeen, Laurance, Lewis, Lloyd, Malhi, et al., 2004). Enquanto que na porção leste as taxas de mortalidade variam de 1 a 2% ao ano (Phillips et al., 1994; Phillips, Baker, Arroyo, Higuchi, Killeen, Laurance, Lewis, Lloyd, Monteagudo, et al., 2004), na região oeste elas chegam a até 3% (Korning and Balslev, 1994; Lewis, Phillips, Sheil, et al., 2004; Phillips, Baker, Arroyo, Higuchi, Killeen, Laurance, Lewis, Lloyd, Monteagudo, et al., 2004). Esse padrão é relacionado com as propriedades físicas do solo (em escala de paisagem) bem quanto com variáveis climáticas, como quantidade e distribuição da precipitação (Quesada et al., 2009). A taxa de mortalidade registrada nos transectos ($1,15\% \cdot \text{ano}^{-1}$) condiz com o que foi constatado por outros estudos na Amazônia Central (Williamson et al., 2000; Laurance et al., 2009; Souza 2011; Toledo et al., 2011), onde as taxas são similares à região leste da Amazônia.

6.2. Modo de Morte Arbórea

Ao contrário do esperado, a abundância de árvores nas três categorias de modo de morte não diferiu. A predominância das mortas em pé era esperada, pelo fato de que nas florestas da Amazônia Central os indivíduos possuem madeira de alta densidade e solos mais profundos e inférteis, proporcionando uma maior resistência à quebra e melhor ancoragem para as raízes (Quesada et al., 2009).

Os estudos sobre modo de morte realizados na Amazônia Central encontraram uma predominância de mortas em pé na Reserva Ducke (Toledo et al., 2012) e mortas quebradas na área do PDBFF (Chambers et al., 2000; D'Angelo et al., 2004). Essa divergência entre os estudos sugere que não só o estresse e a senescência são importantes no processo de mortalidade arbórea, mas também as tempestades, que apesar de pontuais, exercem influência nas florestas da região central (Espírito-Santo et al., 2010).

O número de árvores que morreram desenraizadas em abril foi muito superior ao documentado nas outras medições e 9 dos 14 indivíduos computados nesse mês, morreram em apenas um evento. Utilizando o modelo proposto por Chambers *et al.* (2004) com taxa de mortalidade média de $1,02\%.\text{ano}^{-1}$, desvio padrão de $1,72\%.\text{ano}^{-1}$ e $n = 2813$, a probabilidade de que ocorra a morte de 20 ou mais indivíduos em 2 meses é de 0,0038 ou 0,38%, indicando que este evento foi atípico e de rara ocorrência.

Apesar de incomuns, os eventos estocásticos de distúrbios naturais exercem grande influência sobre a dinâmica florestal (Fisher et al., 2008; Chambers et al., 2009; Espírito-Santo et al., 2010), causando mudanças na composição florística e na estrutura, além de alterar as taxas de mortalidade e recrutamento da floresta (Putz et al., 1983; Brokaw, 1985; Denslow, 1995; Hubbell et al., 1999; Chambers et al., 2004; Baker et al., 2005). A documentação desses distúrbios é crucial para quantificar os intervalos de ocorrência dessas perturbações (Frolking et al., 2009), auxiliando na elaboração de modelos de clareira e melhorando as estimativas do fluxo de carbono (Keane et al., 2001; Saleska et al., 2003).

6.3. *Relação entre Mortalidade e Diâmetro*

A relação entre mortalidade e o diâmetro da árvore é considerada inconsistente e muitos trabalhos sugerem que a taxa de mortalidade é igualmente distribuída entre as classes de tamanho (Carey et al., 1994; Chao et al., 2008; Korning e Balslev, 1994; Lieberman e Lieberman, 1987; Muller-Landau et al., 2006; Swaine, et al., 1987). Corroborando esses trabalhos, o resultado do presente estudo sugere que a taxa de mortalidade é independente do DAP do indivíduo, já que não foi possível observar nenhum padrão claro de comportamento. Além disso, suporta a hipótese de que a abundância de árvores mortas é maior onde a competição por luz e nutrientes é mais elevada, ou seja, nas menores classes de tamanho (Coomes et al., 2003).

Estudos realizados nas diferentes regiões de florestas tropicais têm obtido resultados divergentes sobre a relação entre DAP e modo de morte das árvores. Nos transectos, as árvores desenraizadas tinham diâmetro relativamente maior do que as mortas quebradas. Resultado semelhante foi encontrado por Putz e colaboradores (1983) e por Arriaga (2000) em uma floresta no Panamá e no México, respectivamente. Árvores com maiores DAP podem estar mais susceptíveis ao desenraizamento, pois em condições de estresse, a sua massa aumenta as tensões nas raízes e eleva a probabilidade do solo não ancorar o seu peso (Putz et al., 1983). Além disso, árvores de maior diâmetro tendem a ter uma resistência mais elevada à quebra. Por outro lado, um trabalho realizado na Venezuela, não encontrou diferenças diamétricas entre as árvores desenraizadas e quebradas, porém documentaram que indivíduos com maiores diâmetros tenderam a morrer em pé (Carey et al., 1994). Já nas florestas tropicais do Equador, o modo de morte das árvores não foi relacionado ao tamanho do DAP (Gale e Barfod, 1999).

O diâmetro parece influenciar na mortalidade e no modo de morte arbóreo, porém a interferência de fatores ambientais (topografia e clima) e fatores bióticos (como densidade da madeira e grupo funcional) devem ser considerados.

6.4. Distribuição da Mortalidade ao Longo do Ano: Relação entre Pluviosidade, Vento e Mortalidade

Durante o monitoramento dos transectos, ocorreu a maior seca já registrada no último século na Amazônia Central (Lewis et al., 2011; Xu et al., 2011). Entretanto, a mortalidade foi maior durante a estação chuvosa, indicando que as tempestades exerceram maior influência sobre a mortalidade do que a seca. Porém, o efeito do déficit hídrico é capaz de persistir por meses ou até mesmo anos após o fim do período seco (Phillips et al., 2010) e o aumento da mortalidade nos meses de janeiro a abril de 2011 pode ter ocorrido devido a um efeito tardio da seca. Contudo, como o estado fitossanitário dos indivíduos foi monitorado em curtos intervalos de tempo, sabe-se que esse aumento foi devido, em grande parte, à queda de árvores saudáveis e que apenas 10 indivíduos, dos 46 observados nesse período, podem de fato, ter morrido por causa da seca.

O aumento da mortalidade arbórea na estação chuvosa foi devido principalmente à pluviosidade e não ao vento como era esperado. Uma explicação está no peso da chuva e na assimetria da copa. O risco de queda aumenta com o aumento da assimetria da copa e as árvores tendem a cair para o seu lado mais pesado (Young e Hubbell, 1991; Young e Perkocha, 1994). A ocorrência de chuvas torrenciais pode aumentar o peso da copa, mudar o centro de gravidade da árvore e ocasionar a sua queda. A susceptibilidade é maior se o indivíduo estiver em áreas de declive, de solos rasos, arenosos e mal drenados (Gale e Barfod, 1999; Quesada et al., 2009; Toledo et al., 2011). As árvores do dossel são as mais atingidas pela chuva, suas quedas são responsáveis pela abertura de grandes clareiras, aumentando a mortalidade arbórea naquele período. Entretanto, a relação linear entre pluviosidade e mortalidade deve ser examinada com cautela. O efeito da chuva deste mês pode ser manifestado apenas nos meses subsequentes. Um exemplo são as árvores quebradas. O indivíduo pode sofrer a quebra em um determinado mês, mas só vir a morrer meses depois.

Ao contrário da chuva, a velocidade do vento não exerceu grande influência sobre a mortalidade arbórea. Os ventos que chegam à Amazônia Central são oriundos do oceano Atlântico (ventos alísios), vindos do leste em direção ao oeste da bacia (Gray, 1968; Marengo et al., 2001; Betts et al., 2008). Era esperado que grande parte dos indivíduos caíssem em direção oeste, porém as quedas ocorreram de forma aleatória, sugerindo uma pequena influência dos ventos alísios na mortalidade arbórea.

A fraca relação entre mortalidade e vento também é explicada pela pequena amplitude nos valores de velocidade máxima mensal. Além disso, a velocidade máxima computada no período de estudo foi de $7,9 \text{ m.s}^{-1}$, enquanto que no *downburst* ocorrido na ZF-2 em 2005 o vento atingiu cerca de 26 a 41 m.s^{-1} (Negrón-Juárez et al., 2010). Entretanto, a influência do vento sobre a mortalidade não deve ser subestimada. A velocidade do vento, sua direção e conseqüentemente seu impacto variam em curtos intervalos espaciais e são influenciados pela topografia, altitude e período do dia (Jane, 1986; Uhl et al., 1988; Foster and Boose, 1992; Boose et al., 1994; Oliveira, 1999). Portanto os dados de vento do LBA podem não expressar com exatidão a dinâmica do vento nos transectos.

6.5. Causas de Morte Arbórea

Os trabalhos sobre causa de morte são mais frequentes em florestas temperadas (Harcombe e Marks, 1983; Arriaga, 1988; Villalba e Veblen, 1998; Ozolincius et al., 2005; van Mantgem e Stephenson, 2007), enquanto que na região tropical eles são escassos (Arriaga, 2000; D'Angelo et al., 2004). Os estudos de mortalidade arbórea, geralmente, são limitados em evidenciar a real causa de morte das árvores, já que as remediações ocorrem em intervalos que variam de 2 a 5 anos (ex: Condit et al., 1995; Lewis, Phillips, Sheil, et al., 2004; Madelaine et al., 2007; Chao et al., 2008; Toledo et al., 2011). Para uma determinação mais precisa das causas, os monitoramentos deveriam ser realizadas em intervalos menores de tempo. Por isso, as causas de morte em florestas naturais são raramente examinadas em detalhes (Swaine et al., 1987; van Mantgem e Stephenson, 2007).

Neste estudo, dois fatores permitiram que a causa da mortalidade fosse determinada com mais confiabilidade, o curto intervalo entre as medições e o acompanhamento das características fitossanitárias das árvores vivas. Assim, pôde-se perceber que a causa da morte pode ser dividida em inicial e final e que nem sempre elas são as mesmas. Ou seja, a causa inicial pode ter sido, por exemplo, *tempestade*, porém o agente causal final foi algum tipo de estresse vivenciado pelo indivíduo.

Quando a causa inicial é diferente da final, a morte da árvore é resultado de uma interação. Nos transectos foram identificadas duas categorias de interação, responsáveis pela morte de 20% dos indivíduos. A interação mais representativa foi *injúria antiga*

por tempestade e estresse/fatores bióticos, matando 10 das 67 árvores mortas. Isso indica que as tempestades também exercem efeito indireto sobre a mortalidade arbórea.

Os raios são um efeito indireto das tempestades sobre as árvores e ocorrem principalmente no início da estação chuvosa quando a atmosfera ainda está repleta de aerossóis (Davidson et al., 2012). Embora tenha sido registrado apenas um evento que resultou em três mortes agrupadas, acredita-se que a causa de morte por raio pode ser bem mais significativa (Magnusson et al., 1996). Observações como essas são limitadas em florestas tropicais, porém trabalhos de longa duração podem mostrar a real importância do raio como agente causador da morte arbórea.

Além do seu efeito indireto, as *tempestades* foram o agente causal inicial e final de 30 das 67 árvores mortas. A sua ocorrência foi maior na estação chuvosa e estava vinculada a múltiplos eventos de queda. Alguns fatores podem aumentar a susceptibilidade dos indivíduos às tempestades como patógenos, altura da árvore, estresse, relevo e solo (Harcombe e Marks, 1983; Putz et al., 1983; Franklin et al., 1987; Young e Hubbell, 1991; Ingwell et al., 2010; Toledo et al., 2012). Entretanto, mortes causadas por tempestades são eventos estocásticos difíceis de serem preditos (Chao et al., 2008).

Já a morte por *estresse e fatores bióticos* é um processo gradual causada pela morte fisiológica do indivíduo (Chao et al., 2009). Muitos estudos citam a senescência como um dos agentes causadores da mortalidade de árvores perenes (ex: Sousa, 1984; Carey et al., 1994; Baker et al., 2005; Chao et al., 2008). No entanto, ainda não há evidências de que plantas perenes possam morrer por senescência e se essa possibilidade existe, a sua importância é muito pequena (Mencuccini et al., 2005; Munné-Bosch, 2008; Stephenson et al., 2011). As evidências indicam que o tamanho da árvore, e não a morte celular é responsável pelo declínio nas taxas de crescimento e de assimilação (Mencuccini et al., 2005; Peñuelas and Munné-Bosch, 2010). Entretanto a senescência é comum entre as espécies monocárpicas, caracterizada por apenas um evento reprodutivo maciço, que é seguido pela morte do indivíduo (Munné-Bosch, 2008). O gênero *Tachigali* possui espécies monocárpicas (van der Werff, 2008) e uma espécie desse gênero, *T. cf. myrmecophila*, morreu durante o período de monitoramento. Caso o ciclo de vida dessa espécie seja monocárpico ela será o único indivíduo a morrer de senescência na área dos transectos, já que árvores perenes parecem não morrer por essa causa.

Em florestas temperadas é frequente a morte arbórea devido ao ataque de patógenos (Harcombe and Marks, 1983; Rizzo et al., 2000; van Mantgem et al., 2009), enquanto em florestas tropicais a sua mega-diversidade as protegem desses eventos (Phillips e Gentry, 1994). Entretanto, fungos patogênicos podem causar a morte arbórea em florestas tropicais (Freckleton e Lewis, 2006) e tudo indica que três indivíduos morreram devido ao ataque de fungos nos transectos. O gênero *Ganoderma* sp. e a espécie *Auricularia delicata* são conhecidos por sua patogenicidade (Fidalgo, 1968; Bononi, 1981a,b; Jesus, 1988) e podem causar lesões necróticas que se espalham rapidamente no xilema de seus hospedeiros (Pearce, 1996; Hickman et al., 2001). Este estudo é um dos primeiros a quantificar a representatividade dos fungos na mortalidade arbórea, abrindo caminho para futuras linhas de pesquisa nos trópicos.

As lianas são muito abundantes em florestas tropicais e competem intensivamente com as árvores por recursos, tanto acima quanto abaixo do solo (Schnitzer et al., 2005; Chen et al., 2008; Ingwell et al., 2010). Quando adensadas nas copas e nos troncos das árvores, os cipós impõem considerável tensão mecânica sobre a planta hospedeira, diminuindo sua taxa de crescimento e aumentando a probabilidade de morte (Grauel e Putz, 2004; Schnitzer et al., 2005; Heijden et al., 2008; Ingwell et al., 2010). As lianas também ligam as copas dos indivíduos, assim a queda de uma árvore pode resultar em um evento múltiplo de queda (Putz, 1984; Garrido-Pérez et al., 2008). Portanto, a sua influência na mortalidade arbórea é muitas vezes indireta (Denslow, 1995; Heijden et al., 2008), contribuindo para a susceptibilidade do indivíduo a outros agentes causais. É difícil determinar quando a liana é o principal agente causal da morte, porém existem espécies conhecidos por sua agressividade, como a hemi-epífita estranguladora Apuí (*Coussapoa trinervia* Spruce ex Mildbr.). Essa espécie de liana foi responsável pela morte de um indivíduo na área de estudo, causando o estrangulamento da sua hospedeira (para detalhes ler descrição da árvore n° 1.979 do transecto LO, Apêndice B). Apesar da sua pequena representatividade nos transectos, trabalhos indicam uma correlação positiva entre mortalidade arbórea e presença de lianas, sugerindo que sua ocorrência pode causar mudanças bruscas na composição e estrutura das florestas (Putz, 1984; Pérez-Salicrup et al., 2001; Phillips et al., 2005; Schnitzer et al., 2005; Garrido-Pérez et al., 2008; Heijden et al., 2008; Ingwell et al., 2010).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mortalidade arbórea, durante novembro de 2010 a outubro de 2011, na floresta de terra firme da ZF-2 está associada à pluviosidade, mas não ao vento como era esperado. A principal causa de morte arbórea foi a *tempestade*, sugerindo que a geometria da copa e o peso da chuva podem ser responsáveis pelo desequilíbrio estrutural da árvore, acarretando na sua queda. Por outro lado, a seca de 2010 exerceu pouca influência sobre a mortalidade arbórea nos transectos.

Grande parte dos resultados obtidos foi influenciada pelos eventos estocásticos de distúrbio, mais comuns durante a estação chuvosa. Existem previsões do aumento na frequência e intensidade das precipitações extremas. Portanto os distúrbios podem se tornar mais constantes e sua influência sobre a mortalidade deve ser considerada, a fim de se obter estimativas mais precisas sobre o fluxo do carbono.

Fica clara a importância de estudos que visem o monitoramento da dinâmica florestal em menores intervalos de tempo. Apenas esses trabalhos conseguem detectar padrões que são imperceptíveis quando o período entre as remedições são longos. O modo de morte e a análise das características fitossanitárias dos indivíduos vivos são essenciais para se determinar a causa de morte das árvores. Dividir os agentes causais em iniciais e finais auxilia na determinação das causas e ajuda na identificação das interações.

Os resultados indicam que a partir da análise individual das árvores é possível determinar as causas de morte arbórea nas florestas tropicais e sugere-se que esses estudos sejam inseridos nos projetos de monitoramento da dinâmica florestal. O presente estudo gerou informações inéditas para a região da Amazônia Central, contribuindo para o entendimento, conservação e manejo das florestas tropicais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APG II. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141: 399-436.
- Arriaga, L., 1988. Natural disturbance and treefalls in a pine-oak forest on the Peninsula of Baja California, Mexico. *Plant Ecology* 78, 73–79.
- Arriaga, L., 2000. Types and causes of tree mortality in a tropical montane cloud forest of Tamaulipas, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 16, 623–636.
- Baker, P.J., Bunyavejchewin, S., Oliver, C.D., Ashton, P.S., 2005. Disturbance history and historical stand dynamics of a seasonal tropical forest in western Thailand. *Ecological Monographs* 75, 317-343.
- Baker, W.L., Flaherty, P.H., Lindemann, J.D., Veblen, T.T., Eisenhart, K.S., Kulakowski, D.W., 2002. Effect of vegetation on the impact of a severe blowdown in the southern Rocky Mountains, USA. *Forest Ecology and Management* 168, 63–75.
- Betts, R. a, Malhi, Y., Roberts, J.T., 2008. The future of the Amazon: new perspectives from climate, ecosystem and social sciences. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 363, 1729-35.
- Boose, E.R., Foster, D.R., Fluet, M., 1994. Hurricane impacts to tropical and temperate forest landscapes. *Ecological Monographs* 64, 369-400.
- Brokaw, N.V.L., 1985. Gap-phase regeneration in a tropical forest. *Ecology* 66, 682-687.
- Bunker, D.E., Carson, W.P., 2005. Drought stress and tropical forest woody seedlings: effect on community structure and composition. *Journal of Ecology* 93, 794-806.
- Carey, E.V., Brown, S., Gillespie, A.J.R., Lugo, A.E., 1994. Tree mortality in mature lowland tropical moist and tropical lower montane moist forests of Venezuela. *Biotropica* 26, 255-265.
- Chambers, J.Q., Higuchi, N., Schimel, J.P., Ferreira, L.V., Melack, J.M., 2000. Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. *Mortality* 380-388.
- Chambers, J.Q., Higuchi, N., Teixeira, L.M., dos Santos, J., Laurance, S.G., Trumbore, S.E., 2004. Response of tree biomass and wood litter to disturbance in a Central Amazon forest. *Oecologia* 141, 596-611.

- Chambers, J.Q., Negrón-Juárez, R.I., Hurtt, G.C., Marra, D.M., Higuchi, N., 2009. Lack of intermediate-scale disturbance data prevents robust extrapolation of plot-level tree mortality rates for old-growth tropical forests. *Ecology Letters* 12, E22-E25.
- Chao, K.-J., Phillips, O.L., Gloor, E., Monteagudo, A., Torres-Lezama, A., Martínez, R.V., 2008. Growth and wood density predict tree mortality in Amazon forests. *Journal of Ecology* 96, 281-292.
- Chao, K.J., Phillips, O.L., Monteagudo, A., Torres-Lezama, A., Vásquez Martínez, R., 2009. How do trees die? Mode of death in northern Amazonia. *Journal of Vegetation Science* 20, 260–268.
- Chen, Y.-J., Bongers, F., Cao, K.-F., Cai, Z.-quan, 2008. Above- and below-ground competition in high and low irradiance: tree seedling responses to a competing liana *Byttneria grandifolia*. *Journal of Tropical Ecology* 24, 517-524.
- Condit, R., Hubbell, S.P., Foster, R.B., 1995. Mortality rates for 205 neotropical tree and shrub species and the impact of a severe drought. *Ecological Monographs* 65, 419-439.
- Coomes, D., Duncan, R.P., Allen, R.B., Truscott, J., 2003. Disturbances prevent stem size-density distributions in natural forests from following scaling relationships. *Ecology Letters* 6, 980-989.
- Davidson, E. a., de Araújo, A.C., Artaxo, P., Balch, J.K., Brown, I.F., C. Bustamante, M.M., Coe, M.T., DeFries, R.S., Keller, M., Longo, M., Munger, J.W., Schroeder, W., Soares-Filho, B.S., Souza, C.M., Wofsy, S.C., 2012. The Amazon basin in transition. *Nature* 481, 321-328.
- Denslow, J.S., 1995. Disturbance and diversity in tropical rain forests: the density effect. *Ecological Applications* 5, 962-968.
- D'Angelo, S. a., Andrade, A.C.S., Laurance, S.G., Laurance, W.F., Mesquita, R.C.G., 2004. Inferred causes of tree mortality in fragmented and intact Amazonian forests. *Journal of Tropical Ecology* 20, 243-246.
- Espírito-Santo, F.D., Keller, M., Braswell, B., Frohking, S., 2010. Storm intensity and old-growth forest disturbances in the Amazon region. *Geophysical Research Letters* 37, L11403.
- Fisher, J.I., Hurtt, G.C., Thomas, R.Q., Chambers, J.Q., 2008. Clustered disturbances lead to bias in large-scale estimates based on forest sample plots. *Ecology letters* 11, 554–563.
- Foster, D.R., Boose, E.R., 1992. Patterns of forest damage resulting from catastrophic wind in central New England, USA. *Journal of Ecology* 80, 79-98.
- Franklin, J.F., Shugart, H., Harmon, M.E., 1987. Tree death as an ecological process. *BioScience* 37, 550–556.

- Freckleton, R.P., Lewis, O.T., 2006. Pathogens, density dependence and the coexistence of tropical trees. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society* 273, 2909-16.
- Frolking, S., Palace, M.W., Clark, D.B., Chambers, J.Q., Shugart, H.H., Hurtt, G.C., 2009. Forest disturbance and recovery: A general review in the context of spaceborne remote sensing of impacts on aboveground biomass and canopy structure. *Journal of Geophysical Research* 114, G00E02.
- Gale, N., 2000. The Relationship between Canopy Gaps and Topography in a Western Ecuadorian Rain Forest '. *Landslides* 32, 653-661.
- Gale, N., Barfod, A.S., 1999. Canopy tree mode of death in a western Ecuadorian rain forest. *Journal of Tropical Ecology* 15, 415-436.
- Gale, N., Hall, P., 2001. Factors determining the modes of tree death in three Bornean rain forests. *Journal of Vegetation Science* 12, 337-348.
- Garrido-Pérez, E.I., Dupuy, J.M., Durán-García, R., Ucan-May, M., Schnitzer, S. a., Gerold, G., 2008. Effects of lianas and Hurricane Wilma on tree damage in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 24, 559-562.
- Grauel, W., Putz, F.E., 2004. Effects of lianas on growth and regeneration of *Prioria copaifera* in Darien, Panama. *Forest Ecology and Management* 190, 99-108.
- Gray, W.M., 1968. Global view of the origin of tropical disturbances and storms. *Monthly Weather Review* 96, 669-700.
- Harcombe, P.A., Marks, P.L., 1983. Five years of tree death in a *Fagus-Magnolia* forest, southeast Texas (USA). *Oecologia* 57, 49-54.
- Heijden, G.M.F., Healey, J.R., Phillips, O.L., 2008. Infestation of trees by lianas in a tropical forest in Amazonian Peru. *Journal of Vegetation Science* 19, 747-756.
- Higuchi, N., Chambers, J.Q., Santos, J., Ribeiro, R., Pinto, A.C.M., Silva, R., Rocha, R., Tribuzy, E., 2004. Dinâmica e balanço de carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta* 34, 295-304.
- Hubbell, S.P., Foster, R.B., O'Brien, S., Harms, K.E., Condit, R., Wechsler, B., Wright, S.J., Lao de Lao, S., 1999. Light-gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a neotropical forest. *Science* 283, 554-557.
- Ingwell, L.L., Joseph Wright, S., Becklund, K.K., Hubbell, S.P., Schnitzer, S. a., 2010. The impact of lianas on 10 years of tree growth and mortality on Barro Colorado Island, Panama. *Journal of Ecology* 98, 879-887.
- Jane, G., 1986. Wind damage as an ecological process in mountain beech forests of Canterbury, New Zealand. *New Zealand journal of ecology* 9, 25-40.

- Keane, R.E., Austin, M., Field, C., Huth, A., Lexer, M.J., Peters, D., Solomon, A., Wyckoff, P., 2001. Tree mortality in gap models: application to climate change. *Climatic Change* 51, 509–540.
- Kirby, K., Reid, C., Thomas, R., Goldsmith, F., 1998. Preliminary estimates of fallen dead wood and standing dead trees in managed and unmanaged forests in Britain. *Journal of Applied Ecology* 35, 148–155.
- Korning, J., Balslev, H., 1994. Growth and mortality of trees in Amazonian tropical rain forest in Ecuador. *Journal of Vegetation Science* 4, 77-86.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15, 259-263.
- Laurance, S.G.W., Laurance, W.F., Nascimento, H.E.M., Andrade, A., Fearnside, P.M., Rebello, E.R.G., Condit, R., 2009. Long-term variation in Amazon forest dynamics. *Journal of Vegetation Science* 20, 323-333.
- Laurance, W.F.W., Oliveira, A.A. a, Laurance, S.S.G., Condit, R., Nascimento, H.E.M., Sanchez-Thorin, A.C., Lovejoy, T.E., Andrade, A., D'Angelo, S., Ribeiro, J.E., Dick, C.W., 2004. Pervasive alteration of tree communities in undisturbed Amazonian forests. *Nature* 428, 171-5.
- Lewis, S., Phillips, O., Sheil, D., Vinceti, B., Baker, T.R., Brown, S., Graham Andrew, W., Higuchi, N., Hilbert, D., Laurance, W.F., Lejoly, J., Malhi, Y., Monteagudo, A., Vargas, P.N., Sonke, B., Nur Supardi, M.N., Terborgh, J., Martínez, R.V., 2004. Tropical forest tree mortality, recruitment and turnover rates: calculation, interpretation and comparison when census intervals vary. *Journal of Ecology* 92, 929-944.
- Lewis, S.L., Brando, P.M., Phillips, O.L., Heijden, G.M.F.V.D., Nepstad, D., 2011. The 2010 Amazon Drought. *Science* 331, 554.
- Lewis, S.L., Phillips, O.L., Baker, T.R., Lloyd, J., Malhi, Y., Almeida, S., Higuchi, N., Laurance, W.F., Neill, D. a, Silva, J.N.M., Terborgh, J., Lezama, a T., Martínez, R.V., Brown, S., Chave, J., Kuebler, C., Vargas, P.N., Vinceti, B., 2004. Concerted changes in tropical forest structure and dynamics: evidence from 50 South American long-term plots. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 359, 421-36.
- Lieberman, D., Lieberman, M., 1987. Forest tree growth and dynamics at La Selva, Costa Rica (1969-1982). *Journal of tropical ecology* 3, 347–358.
- Madelaine, C., Vincent, G., Molino, J., Sabatier, D., Prévost, M., Namur, C., 2007. Mortality and recruitment in a lowland tropical rain forest of French Guiana: effects of soil type and species guild. *Journal of Tropical Ecology* 23, 277-287.
- Magnusson, W.E., Lima, A.P., De Lima, O., 1996. Group lightning mortality of trees in a neotropical forest. *Journal of tropical ecology* 12, 899–903.

- Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W., Nobre, C.A., 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science* 319, 169-172.
- Malhi, Y., Wright, J., 2004. Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 359, 311-29.
- van Mantgem, P.J., Stephenson, N.L., 2007. Apparent climatically induced increase of tree mortality rates in a temperate forest. *Ecology letters* 10, 909-16.
- van Mantgem, P.J., Stephenson, N.L., Byrne, J.C., Daniels, L.D., Franklin, J.F., Fulé, P.Z., Harmon, M.E., Larson, A.J., Smith, J.M., Taylor, A.H., Veblen, T.T., 2009. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States. *Science (New York, N.Y.)* 323, 521-4.
- Marengo, J., Liebmann, B., Kousky, V., Filizola, N., Wainer, I., 2001. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate* 14, 833-852.
- Marengo, J.A., Jones, R., Alves, L.M., Valverde, M.C., 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology* 29, 2241-2255.
- Mencuccini, M., Martínez-Vilalta, J., Vanderklein, D., Hamid, H. a, Korakaki, E., Lee, S., Michiels, B., 2005. Size-mediated ageing reduces vigour in trees. *Ecology letters* 8, 1183-90.
- Muller-Landau, H.C., Condit, R.S., Chave, J., Thomas, S.C., Bohlman, S.A., Bunyavejchewin, S., Davies, S., Foster, R., Gunatilleke, S., Gunatilleke, N., Harms, K.E., Hart, T., Hubbell, S.P., Itoh, A., Kassim, A.R., LaFrankie, J.V., Lee, H.S., Losos, E., Makana, J.-R., Ohkubo, T., Sukumar, R., Sun, I.-F., Nur Supardi, M.N., Tan, S., Thompson, J., Valencia, R., Muñoz, G.V., Wills, C., Yamakura, T., Chuyong, G., Dattaraja, H.S., Esufali, S., Hall, P., Hernandez, C., Kenfack, D., Kiratiprayoon, S., Suresh, H.S., Thomas, D., Vallejo, M.I., Ashton, P., 2006. Testing metabolic ecology theory for allometric scaling of tree size, growth and mortality in tropical forests. *Ecology letters* 9, 575-88.
- Munné-Bosch, S., 2008. Do perennials really senesce? *Trends in plant science* 13, 216-20.
- Negrón-Juárez, R., Chambers, J., Guimarães, G., Zeng, H., Raupp, C.F., Marra, D., Ribeiro, G.H.P., Saatchi, S., Nelson, B., Higuchi, N., 2010. Widespread Amazon forest tree mortality from a single cross-basin squall line event. *Geophys. Res. Lett.* 37, 1-5.
- Nelson, B.W., Kapos, V., Adams, J.B., Oliveira, W.J., Braun, O.P., Amaral, I.L., 1994. Forest disturbance by large blowdowns in the Brazilian Amazon. *Ecology* 75, 853-858.

- Ozolincius, R., Miksys, V., Stakenas, V., 2005. Growth-independent mortality of Lithuanian forest tree species. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20, 153-160.
- Pearce, R., 1996. Antimicrobial defences in the wood of living trees. *New Phytologist* 203-233.
- Peñuelas, J., Munné-Bosch, S., 2010. Potentially immortal? *New Phytologist* 187, 564-567.
- Phillips, O.L., Aragão, L.E.O.C., Lewis, S.L.S., Fisher, J.B.J., Lloyd, J., et al., 2009. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science* 323, 1344-1347.
- 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., Martínez, 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., Patiño, S., Pitman, N.C. A., Quesada, C. A., Saldias, 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., Baker, T.R., Arroyo, L., Higuchi, N., Killeen, T.J., Laurance, W.F., Lewis, S.L., Lloyd, J., Monteagudo, A., Neill, D.A., Vargas, P.N., Silva, J.N.M., Terborgh, J., Martínez, R.V., Alexiades, M., Almeida, S., Brown, S., Chave, J., Comiskey, J.A., Czimczik, C.I., Fiore, A.D., Erwin, T., Kuebler, C., Laurance, S.G., Nascimento, H.E.M., Olivier, J., Palacios, W., Patiño, S., Pitman, N.C.A., Quesada, C.A., Saldias, M., Lezama, A.T., Vinceti, B., Trans, P., Lond, R.S., Patin, S., 2004. Pattern and process in Amazon tree turnover , 1976 – 2001 Pattern and process in Amazon tree turnover ., Society.
- Phillips, O.L., Van Der Heijden, G., Lewis, S.L., López-González, G., Aragão, L.E.O.C., Lloyd, J., Malhi, Y., Monteagudo, A., Almeida, S., Dávila, E.A., others, 2010. Drought–mortality relationships for tropical forests. *New Phytologist* 187, 631–646.
- Phillips, O.L., Gentry, A.H., 1994. Increasing turnover through time in Tropical Forests. *Science* 263, 954-958.
- Phillips, O.L., Hall, P., Gentry, A. H., Sawyer, S. A., Vásquez, R., 1994. Dynamics and species richness of tropical rain forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91, 2805-9.
- Phillips, O.L., Martínez, R., Mendoza, A.M., Baker, T.R., Vargas, P.N., 2005. Large lianas as hyperdynamic elements of the tropical forest canopy. *Ecology* 86, 1250–1258.
- Putz, F.E., 1984. The natural history of lianas on Barro Colorado Island , Panama. *Ecology* 65, 1713-1724.

- Putz, F.E., Coley, P.D., Lu, K., Montalvo, A., Aiello, A., 1983. Uprooting and snapping of trees: structural determinants and ecological consequences. *Canadian Journal of Forest Research* 13, 1011–1020.
- Pérez-Salicrup, D.R., Sork, V.L., Putz, F.E., 2001. Lianas and trees in a liana forest of Amazonian Bolivia. *Biotropica* 33, 34–47.
- 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., Dezzio, N., Luizão, F.J., Santos, J., Schmerler, J., Arroyo, L., Silveira, M., Priante-Filho, N., Jimenez, E., Paiva, R., Vieira, I., Neill, D., Silva, N., Peñuela, M., Monteagudo, A., Vásquez, R., Prieto, A., Rudas, A., Almeida, S., Higuchi, N., Lezama, A., López-González, G., Peacock, J., Fyllas, N.M., Alvarez Dávila, E., Erwin, T., di Fiore, A., Chao, K.-J., Honorio, E., Killeen, T., Peña Cruz, A., Pitman, N., Núñez Vargas, P., Salomão, R., Terborgh, J., Ramírez, H., 2009. Regional and large-scale patterns in Amazon forest structure and function are mediated by variations in soil physical and chemical properties. *Biogeosciences Discussions* 6, 3993-4057.
- Rizzo, D., Slaughter, G., Parmeter Jr, J., 2000. Enlargement of canopy gaps associated with a fungal pathogen in Yosemite Valley, California. *Canadian Journal of Forest Research* 30, 1501–1510.
- Saleska, S.R., Miller, S.D., Matross, D.M., Goulden, M.L., Wofsy, S.C., da Rocha, H.R., de Camargo, P.B., Crill, P., Daube, B.C., de Freitas, H.C., Hutyrá, L., Keller, M., Kirchhoff, V., Menton, M., Munger, J.W., Pyle, E.H., Rice, A.H., Silva, H., 2003. Carbon in Amazon forests: unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses. *Science (New York, N.Y.)* 302, 1554-7.
- Schnitzer, S. a., Kuzee, M.E., Bongers, F., 2005. Disentangling above- and below-ground competition between lianas and trees in a tropical forest. *Journal of Ecology* 93, 1115-1125.
- Sheil, D., Burslem, D.F.R.P., Alder, D., 1995. The interpretation and misinterpretation of mortality rate measures. *Journal of Ecology* 83, 331–333.
- Silva, R., Santos, J., Tribuzy, E., Chambers, J.Q., Nakamura, S., Higuchi, N., 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management* 166, 295-301.
- Sombroek, W., 2001. Spatial and temporal patterns of Amazon rainfall. Consequences for the planning of agricultural occupation and the protection of primary forests. *Ambio* 30, 388-96.
- Sousa, W.P., 1984. The Role of Disturbance in Natural Communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15, 353-391.
- Stephenson, N., Mantgem, P. van, Bunn, A., Bruner, H., Harmon, M.E., O'Connell, K.B., Urban, D., Franklin, J.F., 2011. Causes and implications of the correlation

- between forest productivity and tree mortality rates. *Ecological Monographs* 81, 527-555.
- Swaine, M., Lieberman, D., Putz, F., 1987. The dynamics of tree populations in tropical forest: a review. *Journal of Tropical Ecology* 3, 359–366.
- Teixeira, L.M., Chambers, J.Q., Silva, A.R.E., Lima, A.J.N., Carneiro, V.M.C., Santos, J.D., Higuchi, N., 2007. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. *Acta Amazonica* 37, 377-384.
- Toledo, J.J., Magnusson, W.E., Castilho, C.V., Nascimento, H.E.M., 2011. How much variation in tree mortality is predicted by soil and topography in Central Amazonia? *Forest Ecology and Management* 262, 331-338.
- Toledo, J.J., Magnusson, W.E., Castilho, C.V., Nascimento, H.E.M., 2012. Tree mode of death in Central Amazonia: Effects of soil and topography on tree mortality associated with storm disturbances. *Forest Ecology and Management* 263, 253-261.
- Uhl, C., Clark, K., Dezzeo, N., Maquirino, P., 1988. Vegetation Dynamics in Amazonian Treefall Gaps. *Ecology* 69, 751-763.
- Villalba, R., Veblen, T.T., 1998. Influences of Large-Scale Climatic Variability on Episodic Tree Mortality in Northern Patagonia. *Ecology* 79, 2624.
- van der Werff, H., 2008. A Synopsis of the Genus *Tachigali* (Leguminosae: Caesalpinioideae) in Northern South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 95, 618-661.
- Williamson, G.B., Laurance, W.F., Oliveira, A. a., Delamonica, P., Gascon, C., Lovejoy, T.E., Pohl, L., 2000. Amazonian Tree Mortality during the 1997 El Nino Drought. *Conservation Biology* 14, 1538-1542.
- Xu, L., Samanta, A., Costa, M.H., Ganguly, S., Nemani, R.R., Myneni, R.B., 2011. Widespread decline in greenness of Amazonian vegetation due to the 2010 drought. *Geophysical Research Letters* 38, 2-5.
- Young, T.P., Hubbell, S.P., 1991. Crown asymmetry, treefalls, and repeat disturbance of broad-leaved forest gaps. *Ecology* 72, 1464–1471.
- Young, T.P., Perkocho, V., 1994. Treefalls, crown asymmetry, and buttresses. *Journal of Ecology* 82, 319-324.

APÊNDICE A - Breve descrição das características pré e pós-morte de cada indivíduo morto no transecto Norte-Sul da E.E.S.T/INPA, Manaus.

Morta 1 – Árvore n° 318: Desde a primeira medição em setembro de 2010 ela já se encontrava com a copa quebrada, indicando uma injúria por vento. Além da copa quebrada também foi possível verificar uma quantidade média de cipó em seu tronco, sugerindo que sua morte pode ter sido causada por uma interação entre fatores: a quebra pelo vento e um provável causado pela presença de lianas.

Morta 2 – Árvore n° 2303: Desde a primeira medição em setembro de 2010 foi possível verificar uma injúria antiga provavelmente devido ao vento, já que sua copa estava quebrada e o seu tronco estava inclinado e machucado. O indivíduo chegou a lançar um broto que se desenvolveu chegando a ser quase da grossura de um galho, porém não resistiu e acabou morrendo. Sua morte provavelmente foi devido a interação entre fatores: injúria por vento e estresse/fatores bióticos.

Morta 3 – Árvore n° 2243: O indivíduo estava com a copa quebrada desde a primeira medição em setembro de 2010, porém tinha lançado pequenos brotos que não resistiram e secaram. Também foi detectada uma alta infestação por cipó em seu tronco, sugerindo que a causa da sua morte foi devido à interação entre fatores: injúria por vento e estresse, causado provavelmente pela grande quantidade de lianas em seu tronco.

Morta 4 – Árvore n° 2163: O monitoramento do indivíduo indica que o mesmo estava com a copa quebrada desde a primeira medição em setembro de 2010, porém ele tinha lançado vários outros brotos após a quebra, sugerindo que a árvore tinha conseguido se recuperar ao dano. Entretanto os brotos secaram e o indivíduo acabou morrendo. Não foi detectado nenhum sinal de infestação por inseto, fungo ou liana. A causa de sua morte provavelmente foi devido a uma interação entre injúria antiga por vento e algum tipo de estresse/fator biótico.

Morta 5 – Árvore n° 1978: O monitoramento do indivíduo indica que o mesmo já se encontrava em um processo de definhamento desde a primeira medição, já que aos poucos foi perdendo suas folhas e o seu tronco foi ficando sem seiva. Detectou-se uma pequena quantidade de cipós finos em seu tronco, porém a presença de lianas não parece ter sido o que ocasionou a sua morte. Não foi encontrado nenhum sinal de

infestação por inseto, fungo ou mesmo injúrias antigas, sugerindo que a causa da morte desta árvore foi devido a algum fator biótico ou estresse.

Morta 6 – Árvore nº 1565: O indivíduo morreu desenraizado, indicado que o vento foi o agente final de sua morte. Porém, desde a primeira medição foi observado um oco, com cerca de 2m de comprimento, em seu tronco além de poucas folhas na sua copa, sugerindo que a árvore já se encontrava em uma situação precária, sendo incapaz de permanecer em pé após ser atingida pelo vento. O fato de o indivíduo estar localizado no sub-dossel da floresta e ter sido o único a ser derrubado na redondeza, reforça a ideia de que ele só veio a cair por causa do seu enfraquecimento. Tudo indica que a causa da morte dessa árvore foi devido a uma interação entre estresse/fatores bióticos e o vento.

Morta 7 – Árvore nº 936C: O indivíduo morreu quebrado, sugerindo que o vento foi o agente final de sua morte. Porém, ao longo do monitoramento foi verificado que a árvore já apresentava pouca folha e estava inclinada. A causa da sua morte provavelmente foi devido a uma interação entre estresse/fatores bióticos e vento.

Morta 8 – Árvore nº 808: Desde a primeira medição o indivíduo já se encontrava com a copa quebrada, porém era possível notar a ocorrência de pequenos brotos. Contudo ao longo das medições esses brotos foram secando e a árvore acabou morrendo. Ainda era possível observar o restante de sua copa caída no chão da floresta. Não foi verificado infestação por cipó, fungo ou inseto. Provavelmente a causa de sua morte foi devido a uma interação entre injúria por vento e estresse/fatores bióticos.

Morta 9 – Árvore nº 609: Na mesma região detectaram-se outros dois indivíduos mortos em pé (árvore nº 612 e 613). As mesmas características foram observadas nas três árvores: folhas secas, desprendimento de casca na região próxima a copa e nenhum sinal de infestação por inseto, fungo ou cipó. Todas as três árvores eram de espécies diferentes e a regeneração natural do local também se encontrava com as folhas secas. Na primeira medição realizada em setembro de 2010 os três indivíduos estavam em ótimo estado, porém na medição seguinte eles apresentaram folhas secas e pouca seiva no tronco. Estas características são compatíveis com árvores que foram atingidas por raio, sendo esta a provável causa da morte dos três indivíduos (nº 609, 612, 613). De acordo com as medições essas árvores foram atingidas por raio entre os meses de setembro e novembro de 2010.

Morta 10 – Árvore n° 613: Olhar descrição da árvore n° 609.

Morta 11 – Árvore n° 612: Olhar descrição da árvore n° 609.

Morta 12 – Árvore n° 2384: Na mesma região foram detectados outros três indivíduos mortos (n° 2383, 2394, 2391) além de mais duas palmeiras. A árvore morreu desenraizada, indicando que o vento foi o agente final da sua morte. Porém nas medições anteriores, o indivíduo se encontrava com poucas folhas, presença leve de cipó em sua copa e pouco cupim no tronco. Outra questão que não pode ser descartada é a senescência, já que o indivíduo era uma árvore de dossel e possuía um DAP de 48 cm. Provavelmente a causa da morte deste indivíduo foi uma interação entre estresse/fatores bióticos e vento.

Morta 13 – Árvore n° 2383: Na mesma região foram detectados outros três indivíduos mortos (n° 2384, 2394, 2391) além de mais duas palmeiras. A árvore apesar de ter morrido quebrada, não chegou a sofrer uma ruptura completa, ela cisalhou bem próximo à base. Sua base assim como sua copa estava embaixo do indivíduo n° 2384. As medições anteriores indicam que a árvore se encontrava em bom estado antes de sua morte, não sendo possível notar nenhuma infestação por cipó, insetos ou fungos. Isto sugere que o agente causal inicial e final da sua morte foi o vento.

Morta 14 – Árvore n° 2391: Na mesma região foram detectados outros três indivíduos mortos (n° 2383, 2384, 2394) além de mais duas palmeiras. A árvore morreu desenraizada, sendo que sua copa estava embaixo do indivíduo n°2384. As medições anteriores indicam que a árvore se encontrava em bom estado antes da sua morte, não sendo possível notar nenhuma infestação por cipó, insetos ou fungos. Isto sugere que o agente causal inicial e final da sua morte foi o vento.

Morta 15 – Árvore n° 2394: Na mesma região foram detectados outros três indivíduos mortos (n° 2383, 2384, 2391) além de mais duas palmeiras. A árvore morreu desenraizada, sendo que sua copa estava embaixo do indivíduo n°2384. As medições anteriores indicam que a árvore se encontrava em bom estado antes da sua morte, não sendo possível notar nenhuma infestação por cipó, insetos ou fungos. Isto sugere que o agente causal inicial e final da sua morte foi o vento.

Morta 16 – Árvore n° 1770: Indivíduo morreu em pé e estava localizado próximo à clareira, ocupando uma posição no dossel florestal. Os galhos secos ainda estavam

presentes. Foi observada uma infestação moderada de cupim em seu tronco que pode ter deixado a árvore mais susceptível, porém essa infestação não parece ter sido a causa principal da sua morte. As medições anteriores sugerem que o indivíduo já estava em um logo processo de definhamento, o que indica que a causa da sua morte foi devido a algum estresse ou a fatores bióticos.

Morta 17 – Árvore n° 743: As medições anteriores indicam que as copas dos indivíduos n° 743 e 744 estavam enroscadas, estando unidas por uma grande quantidade de cipó. Próximo a essas duas árvore estava o indivíduo n° 745, um Cardeiro com cerca de 50 cm de DAP e que já se encontrava morto desde a primeira medição, estando em estado avançado de decomposição. Por algum motivo (vento, chuva ou apodrecimento) esse Cardeiro caiu e acabou quebrando a copa da árvore n° 744. Esta queda também acarretou na quebrada da copa do indivíduo n° 743, pois a copa do mesmo se encontrava enroscado com a copa da 744. Até a última medição feita em setembro de 2011 a árvore n° 744 ainda não tinha morrido, enquanto a n° 743 acabou morrendo, sendo que a causa da sua morte foi devido a queda de um indivíduo morto.

Morta 18 – Árvore n° 172: Indivíduo pertencia ao dossel da floresta e estava com os galhos secos ainda presentes. Morreu em pé e não foi detectada nenhuma infestação por cipó, fungo ou inseto no seu tronco ou na sua copa. Nenhum sinal aparente do que pode ter causado a sua morte, de forma que pode ter morrido devido a estresse como seca ou mesmo por algum fator biótico como senescência.

Morta 19 – Árvore n° 1843: Na região foi detectada a morte de mais uma árvore (n° 1845). O indivíduo morreu desenraizado, mas já estava com a copa quebrada desde a primeira medição feita em setembro de 2010. Tudo indica que a causa inicial e final da sua morte foi o vento.

Morta 20 – Árvore n° 1845: Na região foi detectada a morte de mais uma árvore (n° 1843). O indivíduo morreu quebrado, sendo que foi detectado restos do tronco da árvore n° 1847 em cima do seu tronco quebrado. A árvore n° 1847 tem cerca de 90 cm de DAP e já se encontrava ocada e estava sofrendo uma alta infestação por fungos patogênicos do tipo Orelha de Pau, mas até a última medição (setembro de 2011) ela continuava viva. Esta árvore (n° 1847) sofreu uma quebra e parte do seu tronco caiu em cima da 1845, porém como a sua madeira estava podre provavelmente a causa de morte da árvore n° 1845 foi devido a tempestades de vento e não à queda da 1847.

Morta 21 – Árvore nº 1498B: O indivíduo estava com a copa quebrada desde a primeira medição realizada em setembro de 2010. Ela chegou a lançar alguns brotos, mas não resistiu e acabou morrendo. Provavelmente a causa da sua morte foi uma interação entre a injúria por vento e algum estresse proveniente dessa quebra.

Morta 22 – Árvore nº 1656: Árvore morreu em pé e estava localizada próxima a uma clareira. Os galhos secos ainda estavam presentes. A sua morte foi lenta e gradual. Foi observado a presença do fungo patogênico *Ganoderma* sp. próximo a sua base. A parte do tronco que continha o fungo estava podre. Provavelmente a causa da sua morte foi o ataque do fungo, já que não foi observado sinais de infestação por lianas ou insetos.

Morta 23 – Árvore nº 1799: Morreu em pé e sem causa aparente do que pode ter causado a sua morte, já que não foi possível detectar nenhum tipo de injúria ou de infestação por cipó, inseto ou fungo. Ao longo do monitoramento foi perdendo suas folhas e seu tronco foi ficando sem seiva até a completa morte da árvore. A causa da morte do indivíduo pode ter sido devido a algum estresse como déficit hídrico ou mesmo a algum fator biótico como senescência.

Morta 24 – Árvore nº 461: Morreu em pé e fazia parte do sub-bosque florestal. Os galhos secos ainda estavam presentes. Continha poucas folhas desde a primeira medição e não foi observado sinais de infestação por lianas ou insetos. Na sua base foi detectado alta incidência do fungo patogênico *Ganoderma* sp. e ele, provavelmente, foi a causa da sua morte.

Morta 25 – Árvore nº 165: Morreu em pé e sem causa aparente do que pode ter causado a sua morte, já que não foi possível detectar nenhum tipo injúria ou de infestação por cipó, inseto ou fungo. Ao longo do monitoramento foi perdendo suas folhas e seu tronco foi ficando sem seiva até a completa morte da árvore. A causa da morte do indivíduo pode ter sido devido a algum estresse como déficit hídrico ou mesmo a algum fator biótico como senescência.

APÊNDICE B - Breve descrição das características pré e pós-morte de cada indivíduo morto no transecto Leste-Oeste da E.E.S.T/INPA, Manaus.

Morta 1 – Árvore n° 2333: Indivíduo localizado próximo à área de clareira. Morreu em pé e sem causa aparente do que pode ter causado a sua morte, já que não foi possível detectar nenhum tipo injúria ou de infestação por cipó, inseto ou fungo. Ao longo do monitoramento foi perdendo suas folhas e seu tronco ficou sem seiva até a completa morte da árvore. A causa da morte do indivíduo provavelmente está ligada a algum tipo de estresse como o déficit hídrico. Porém não se pode descartar a possibilidade da causa está ligada a algum fator biótico como senescência, apesar da árvore ter apenas 16 cm de DAP.

Morta 2 – Árvore n° 105: Indivíduo morto em pé com alta incidência de cipó na sua copa e pouco cupim em seu tronco. Devido à infestação por cipó, sua copa estava bastante inclinada, porém sem sinal de injúria. A causa da sua morte, provavelmente está relacionada com o estresse causado pela grande quantidade de liana em sua copa. Entretanto fatores bióticos como senescência podem ter influenciado já que era uma árvore de dossel e seu DAP era de 37 cm.

Morta 3 – Árvore n° 2339: O indivíduo já estava com a copa quebrada desde a primeira medição feita em outubro de 2010, porém ele apresentava uma grande quantidade de brotos, sugerindo que a árvore tinha se recuperado a quebra. Entretanto a região em que ela estava foi atingida novamente por uma tempestade de vento, acarretando na morte de mais três indivíduos, um de fora da parcela e outros dois de dentro (n°2358 e 2359). Importante salientar que os quatro indivíduos mortos nesse evento, morreram de fato em meses distintos, já que todos morreram quebrados. Provavelmente a causa da sua morte, assim como das demais árvores nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 4 – Árvore n° 2482: Desde a primeira medição realizada em outubro de 2010 o indivíduo já estava com poucas folhas na copa e com um dos seus galhos quebrado, sugerindo que ele vinha passando por um processo de definhamento. Também foi observada uma injúria antiga em seu tronco. A causa da sua morte foi provavelmente devido a algum tipo de estresse ou mesmo a algum fator biótico.

Morta 5 – Árvore nº 2058B: Desde a primeira medição realizada em outubro de 2010 o indivíduo já se encontrava em uma situação precária, com poucas folhas e parte do seu tronco estava sem seiva. Ao longo do monitoramento sua copa e seu tronco foram apodrecendo até que a árvore acabou morrendo. Não foi possível detectar nenhuma infestação por cipó, insetos ou fungos. A causa da sua morte provavelmente foi devido a algum estresse ou fator biótico.

Morta 6 – Árvore 1402: O indivíduo fazia parte do dossel florestal e estava localizado próximo a uma área de clareira. Desde a primeira medição a árvore já estava com pouca folha e com uma presença leve de cipó em seu tronco. Essa espécie, *Tachigali* cf. *myrmecophila* também conhecida como Tachi Preto, é conhecida por ser monocárpica, ou seja, floresce apenas uma vez na vida e logo depois morre. Isto indica que muito provavelmente a causa da sua morte foi devido ao fim do seu ciclo biológico (senescência).

Morta 7 – Árvore nº 1150: O indivíduo morreu em pé e fazia parte do dossel florestal. A árvore estava completamente sem folha desde a primeira medição mais ainda apresentava seiva em seu tronco. Ao longo do monitoramento seu tronco foi secando até a completa morte do indivíduo, indicando que a árvore passou por um processo de definhamento. Foi observada uma presença média de cupim e um desprendimento de casca ao longo de todo seu tronco. A causa da sua morte foi provavelmente devido a algum estresse ou mesmo a algum fator biótico.

Morta 8 – Árvore nº 934: Sua copa estava quebrada desde a primeira medição realizada em outubro de 2010, porém foi observada a presença de pequenos brotos. Essa injúria antiga na copa provavelmente foi causada por uma tempestade de vento. Ao longo do monitoramento os brotos foram secando, de forma que árvore não resistiu e acabou morrendo. A causa da sua morte foi provavelmente devido a uma interação entre fatores: uma injúria por vento e posteriormente estresse ou algum fator biótico.

Morta 9 – Árvore nº 671: O indivíduo morreu desenraizado e o seu monitoramento indica que ele se encontrava em um bom estado de conservação antes da sua morte. Não foi observado nenhum tipo de infestação por cipó, insetos ou fungo, porém a árvore se encontrava em um solo bastante arenoso (baixio) e moderadamente encharcado, o que pode ter favorecido a sua queda. Entretanto, tudo indica que o principal agente causal da sua morte foi o vento.

Morta 10 – Árvore n° 330: Na região foi detectada a morte de mais dois indivíduos (n° 333 e 334) no mesmo período. A árvore possuía sapopema de cerca de 1,5m de altura e acabou sofrendo uma quebra bem rente ao chão. O indivíduo se encontrava em um terreno bem íngreme e estava em um bom estado de conservação antes da sua morte, de forma que foi observada apenas uma pequena quantidade de cipó e cupim em sua copa. Tudo indica que o principal agente causador da sua morte foi o vento.

Morta 11 – Árvore n° 333: Na mesma região e no mesmo período, foi detectada a morte de mais dois indivíduos (n° 330 e 334) no mesmo período. A árvore morreu desenraizada e o seu monitoramento indicou que ela se encontrava em bom estado de conservação antes da sua morte, de forma que não foi observado nenhum tipo de infestação por cipó, inseto ou fungo. Tudo indica que o principal agente causador da sua morte foi o vento.

Morta 12 – Árvore n° 334: Na mesma região e no mesmo período, foi detectada a morte de mais dois indivíduos (n° 330 e 333). A árvore morreu desenraizada e o seu monitoramento indicou que ela se encontrava em bom estado de conservação antes da sua morte, de forma que não foi observado nenhum tipo de infestação por cipó, inseto ou fungo. Tudo indica que o principal agente causador da sua morte foi o vento.

Morta 13 – Árvore n° 298: Desde a primeira medição, o indivíduo já se encontrava em uma situação precária, com poucas folhas na copa e com ausência de seiva em uma parte do tronco. Também foi observada uma injúria leve no seu tronco devido à queda de uma árvore vizinha. O indivíduo morreu em pé e pertencia ao sub-dossel florestal. Não foi detectada a presença de cipó, insetos ou fungos. Provavelmente a causa da sua morte foi devido a estresse como supressão/competição ou a algum fator biótico.

Morta 14 – Árvore n° 329: O indivíduo se encontrava na mesma região que as árvores mortas n° 330, 333 e 334, porém o seu azimute de queda foi diferente das outras árvores além de ter caído (morta desenraizada) em um período distinto do das outras três. Entretanto, a abertura da clareira ocasionada pela morte das árvores n° 330, 333 e 334 pode tê-la deixado mais susceptível às tempestades de vento, já nas medições anteriores o indivíduo se encontrava em perfeito estado, sem sinal de cipó, insetos ou fungos. Tudo indica que o vento foi o agente causador da sua morte.

Morta 15 – Árvore n° 348: O indivíduo se encontrava na mesma região que as árvores mortas n° 330, 333 e 334, porém ele morreu em pé e dois meses após a morte das outras três árvores. Segundo as medições realizadas, antes da queda das árvores n° 330, 333 e 334 o indivíduo n° 348 estava em bom estado de conservação, sem cipó, inseto ou fungo, entretanto após a queda das três árvores, o indivíduo perdeu as folhas e parte do seu tronco ficou sem seiva. Uma das árvores, quando caiu, ocasionou uma injúria grande no tronco da n° 348 o que pode ter influenciado na sua morte. Outro fator que pode ter levado à morte do indivíduo foi a abertura da clareira ocasionada pela queda das árvores n° 330, 333 e 334, já que o indivíduo estava localizado bem no centro da mesma. De uma forma ou de outra, o que causou a morte da árvore foi provavelmente algum estresse, seja pela injúria que ela sofreu ou pela abertura da clareira.

Morta 16 – Árvore n° 2600: Na mesma região foram encontradas mais uma árvore morta quebrada (n° 2585F) e duas mortas desenraizadas (n° 2588 e 2566) O indivíduo também morreu desenraizado e segundo as medições anteriores ele se encontrava em um bom estado de conservação antes da sua morte apresentando apenas um galho quebrado. Tudo indica que a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 17 – Árvore n° 2588: Na mesma região foram encontradas mais uma árvore morta quebrada (n° 2585F) e duas mortas desenraizadas (n° 2600 e 2566). O indivíduo também morreu desenraizado e segundo as medições anteriores ele se encontrava em um bom estado de conservação antes da sua morte apresentando apenas uma pequena injúria no seu tronco. Tudo indica que a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 18 – Árvore n° 2585F: Na mesma região foram encontradas mais três árvores mortas desenraizadas (n° 2600, 2566 e 2588). O indivíduo morreu quebrado e era recruta do inventário realizado em julho de 2010. Os monitoramentos anteriores indicam que a árvore não apresentava nenhum problema aparente como infestação por cipó, isentos, fungos ou qualquer tipo de injúria. Tudo indica que a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 19 – Árvore n° 2566: Na mesma região foram encontradas mais uma árvore morta quebrada (n° 2585F) e duas mortas desenraizadas (n° 2600 e 2588). O indivíduo

também morreu desenraizado e segundo as medições anteriores ele se encontrava em um bom estado de conservação antes da sua morte não apresentando qualquer sinal de injúria ou de infestação por cipó, fungo ou isentos. Tudo indica que a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 20 – Árvore n° 2090: O indivíduo morreu em pé e pertencia ao sub-dossel da floresta. Não foi detectado infestação por cipó, insetos ou fungos e nem sinal de injúrias no tronco ou na copa. As medições anteriores indicam que o indivíduo foi perdendo suas folhas gradualmente ao longo dos meses até morrer. A causa da sua morte provavelmente foi devido a algum estresse como déficit hídrico ou mesmo a algum fator biótico.

Morta 21 – Árvore n° 1647F3: Desde a primeira medição o indivíduo já se encontrava com a copa quebrada além de estar bastante inclinado, sugerindo que no passado ele foi atingido por alguma tempestade de vento. Porém foi observada a presença de um broto em avançado estágio de desenvolvimento, indicando que a árvore tinha se recuperado ao dano em sua copa. Entretanto ao longo do monitoramento o broto foi perdendo as suas folhas e o indivíduo acabou morrendo. Tudo indica que a causa da sua morte foi devido a uma interação entre fatores: injúria por vento e algum estresse ou fator biótico acabaram influenciando posteriormente.

Morta 22 – Árvore n° 1466: Na região foram detectados mais nove indivíduos mortos (n° 1467, 1455, 1454, 1440, 1438, 1437, 1435, 1434, 1436), que quando caíram foram responsáveis pela abertura de uma grande clareira. A árvore morreu desenraizada, porém parte da sua sapopema permaneceu no solo florestal. O indivíduo estava em uma região de declividade média e possuía um DAP de 87 cm. As medições anteriores indicam que ela se encontrava em bom estado de conservação, tendo sido observado apenas uma pequena quantidade de cipó em sua copa. Tudo indica que a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 23 – Árvore n° 1467: Na região foram detectados mais nove indivíduos mortos (n° 1466, 1455, 1454, 1440, 1438, 1437, 1435, 1434, 1436), que quando caíram foram responsáveis pela abertura de uma grande clareira. A árvore morreu desenraizada sendo que seu tronco ficou bem embaixo da árvore n° 1466. As medições anteriores indicam

que ela estava levemente inclinada e que apresentava uma quantidade média de cipó em sua copa antes de morrer. Tudo indica que a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 24 – Árvore n° 1455: Na região foram detectados mais nove indivíduos mortos (n° 1467, 1466, 1454, 1440, 1438, 1437, 1435, 1434, 1436), que quando caíram foram responsáveis pela abertura de uma grande clareira. A árvore morreu desenraizada sendo que sua copa estava enroscada com as copas dos demais indivíduos. As medições anteriores indicam que ela estava em bom estado de conservação antes de sua morte, estando apenas levemente inclinada. Provavelmente a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 25 – Árvore n° 1454: Na região foram detectados mais nove indivíduos mortos (n° 1467, 1455, 1466, 1440, 1438, 1437, 1435, 1434, 1436), que quando caíram foram responsáveis pela abertura de uma grande clareira. A árvore morreu desenraizada sendo que a base do seu tronco ficou bem embaixo da árvore n° 1455. As medições anteriores indicam que ela estava levemente inclinada e que apresentava uma quantidade média de cipó em sua copa antes de morrer. Tudo indica que a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 26 – Árvore n° 1440: Na região foram detectados mais nove indivíduos mortos (n° 1467, 1455, 1454, 1466, 1438, 1437, 1435, 1434, 1436), que quando caíram foram responsáveis pela abertura de uma grande clareira. A árvore morreu quebrada, porém o seu tronco não sofreu uma ruptura completa, ele cisalhou na base. O seu monitoramento indicou que o indivíduo não apresentava nenhum problema antes de morrer, como infestação por cipó, inseto, fungos ou algum tipo de injúria. Tudo indica que a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 27 – Árvore n° 1438: Na região foram detectados mais nove indivíduos mortos (n° 1467, 1455, 1454, 1440, 1466, 1437, 1435, 1434, 1436), que quando caíram foram responsáveis pela abertura de uma grande clareira. A árvore morreu desenraizada, sendo que sua copa estava enroscada com a copa das demais árvores. As medições anteriores indicam que ela estava em perfeito estado de conservação antes de morrer, sem nenhum sinal de inseto, fungo, cipó ou injúria. Tudo indica que a causa da sua

morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 28 – Árvore n° 1437: Na região foram detectados mais nove indivíduos mortos (n° 1467, 1455, 1454, 1440, 1438, 1466, 1435, 1434, 1436), que quando caíram foram responsáveis pela abertura de uma grande clareira. A árvore morreu desenraizada sendo que seu tronco e sua copa ficaram bem embaixo do indivíduo n° 1438. As medições anteriores indicam que ela estava em perfeito estado de conservação antes de morrer, sem nenhum sinal de inseto, fungo, cipó ou injúria. Tudo indica que a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 29 – Árvore n° 1435: Na região foram detectados mais nove indivíduos mortos (n° 1467, 1455, 1454, 1440, 1438, 1437, 1466, 1434, 1436), que quando caíram foram responsáveis pela abertura de uma grande clareira. A árvore morreu desenraizada e se encontrava embaixo da galhada das outras árvores, de forma que só foi possível observar a base do seu tronco. As medições anteriores indicam que ela estava em perfeito estado de conservação antes de morrer, sem nenhum sinal de inseto, fungo, cipó ou injúria. Tudo indica que a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 30 – Árvore n° 1434: Na região foram detectados mais nove indivíduos mortos (n° 1467, 1455, 1454, 1440, 1438, 1437, 1435, 1466, 1436), que quando caíram foram responsáveis pela abertura de uma grande clareira. A árvore morreu desenraizada e se encontrava embaixo da galhada das outras árvores, de forma que só foi possível observar a base do seu tronco. As medições anteriores indicam que ela estava em perfeito estado de conservação antes de morrer, sem nenhum sinal de inseto, fungo, cipó ou injúria. Tudo indica que a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 31 – Árvore n° 1436: Na região foram detectados mais nove indivíduos mortos (n° 1467, 1455, 1454, 1440, 1438, 1437, 1435, 1434, 1466), que quando caíram foram responsáveis pela abertura de uma grande clareira. A árvore morreu desenraizada e se encontrava embaixo da galhada das outras árvores, de forma que só foi possível observar a base do seu tronco. As medições anteriores indicam que ela estava em perfeito estado de conservação antes de morrer, sem nenhum sinal de inseto, fungo, cipó

ou injúria. Tudo indica que a causa da sua morte, assim como das demais mortes observadas nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 32 – Árvore n° 1171: No local ainda foi observado mais dois indivíduos mortos desenraizados, porém eles não se encontravam dentro do transecto. A árvore também morreu desenraizada e segundo as medições realizadas anteriormente, ela estava em perfeito estado, sem cipó, fungos, insetos ou injúrias. A causa da sua morte, assim como das outras duas de fora da parcela, provavelmente foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 33 – Árvore n° 2358: Nas proximidades também foi detectado mais três indivíduos mortos, sendo que um era de fora da parcela e os outros dois era o n° 2359 e 2339. O evento aconteceu durante a primeira medição, em outubro de 2010, de forma que a árvore já se encontrava quebrada e sem broto desde esse período. Ao longo dos meses o seu tronco foi perdendo a seiva até a completa morte do indivíduo em junho de 2011. Provavelmente a causa da sua morte, assim como das demais árvores nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 34 – Árvore n° 580: O indivíduo morreu desenraizado e não foi observada mais nenhuma árvore morta no local. O seu monitoramento indica que ela estava em perfeito estado, sem sinal de isentos, lianas ou fungos. Ela era uma árvore de dossel e se encontrava no baixio em um solo arenoso, isso pode ter facilitado a sua queda. A causa da sua morte provavelmente foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 35 – Árvore n° 2854D: A sua copa estava quebrada desde a primeira medição realizada em outubro de 2010, porém ela possuía um grande número de brotos, sugerindo que o indivíduo tinha conseguido se recuperar da injúria. Entretanto ao longo do monitoramento suas folhas foram caindo e a seiva do seu tronco foi secando, até a completa morte da árvore. Foi observada apenas uma pequena quantidade de cupim em seu tronco. A causa da sua morte parece ter sido uma interação entre fatores: injúria por vento seguida de algum estresse ou fator biótico.

Morta 36 – Árvore n° 2022B: A sua copa estava quebrada desde a primeira medição realizada em outubro de 2010, porém ela possuía um grande número de brotos, sugerindo que o indivíduo tinha conseguido se recuperar da injúria. Entretanto ao longo do monitoramento suas folhas foram caindo e a seiva do seu tronco foi secando, até a

completa morte da árvore. Estava próxima a uma área de clareira e pertencia ao sub-bosque da floresta. A causa da sua morte parece ter sido uma interação entre fatores: injúria por vento seguida de algum estresse ou fator biótico.

Morta 37 – Árvore n° 2359: Nas proximidades também foi detectado mais três indivíduos mortos, sendo que um era de fora da parcela e os outros dois era o n° 2358 e 2339. O evento aconteceu durante a primeira medição, em outubro de 2010, de forma que a árvore já se encontrava quebrada e sem broto desde esse período. Ao longo dos meses o seu tronco foi perdendo a seiva até a completa morte do indivíduo um ano depois (outubro de 2011). Provavelmente a causa da sua morte, assim como das demais árvores nas proximidades, foi devido a uma tempestade de vento.

Morta 38 – Árvore n° 1979: Desde a primeira medição o indivíduo se encontrava “abraçado” por um grande cipó Apuí (*Coussapoa trinervia* Spruce ex Mildbr.), tanto no seu tronco como na sua copa. A árvore foi perdendo as folhas ao longo dos meses e a seiva do seu tronco foi secando até a completa morte do indivíduo em outubro de 2011. A árvore fazia parte do dossel florestal e não foi observado nenhum sinal de fungo ou inseto em seu tronco ou copa. A causa da sua morte foi provavelmente devido ao estresse causado pelo estrangulamento do cipó.

Morta 39 – Árvore n° 1524: Morreu em pé e estava localizada em área de declive. Sua morte foi lenta e gradual. Os galhos secos ainda estavam presentes e não foi observado sinais de infestação por lianas ou insetos. Entretanto um lado do seu tronco estava coberto pelo fungo patogênico *Auricularia delicata* Fries. e estava completamente podre. O agente causal da sua morte provavelmente foi o fungo.

Morta 40 – Árvore n° 2472: No local foram observados mais três indivíduos mortos, todos os três estavam fora da parcela. A árvore n° 2472, assim como os outros indivíduos que morreram, morreu desenraizada e o seu monitoramento indicou que ela estava em perfeito estado antes de morrer, sem sinal de cipó, injúria, insetos ou fungos. Tudo indica que a sua morte, assim como dos demais indivíduos, foi causada por uma tempestade de vento.

Morta 41 – Árvore n° 721: O indivíduo pertencia ao dossel florestal e segundo o monitoramento realizado, ela não apresentava nenhum sinal de cipó, injúria, inseto ou fungo. A única coisa constatada foi a queda das suas folhas ao longo dos meses até a

sua completa morte. A causa da sua morte pode ter sido algum estresse como déficit hídrico ou mesmo senescência (54 cm de DAP).

Morta 42 – Árvore nº 706: Desde a primeira medição, realizada em outubro de 2010, ela já apresentava uma quantidade média a alta de cipó em sua copa. Ao longo dos meses de monitoramento ela foi perdendo as suas folhas até morrer. A causa da sua morte pode ter sido o estresse causado pelo estrangulamento do cipó em algum de seus galhos, porém fatores bióticos também podem ter influenciado.

Apêndice C: Lista das características dos indivíduos arbóreos que morreram no transecto Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO) da E.E.S.T/INPA, Manaus.

(Tran = transecto; DAP = diâmetro a altura do peito; AZ = azimute da queda; DT = declividade do terreno).

Mês/Ano	Tran.	Parcela	Nº Árvore	Espécie	DAP	Forma de Morte	Causa da Morte	AZ (°)	DT. (°)
Nov./2010	NS	13	318	<i>Protium hebetatum</i> D.C. Daly	14	Quebrada	Injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos	-	0,2
Nov./2010	NS	94	2243	<i>Swartzia lamellata</i> Ducke	19	Quebrada	Injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos	-	2,9
Nov./2010	NS	96	2303	<i>Chamaecrista adiantifolia</i> (Spruce ex Benth.) H.S. Irwin & Barneby	36	Quebrada	Injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos	-	0,2
Dez./2010	LO	104	2333	<i>Protium apiculatum</i> Swart	16	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	1,1
Jan./2011	NS	24	612	<i>Eschweilera wachenheimii</i> (Benoist) Sandwith	18	Em pé	Raio	-	2,2
Jan./2011	NS	24	609	<i>Mabea speciosa</i> Müll. Arg.	16	Em pé	Raio	-	0,7
Jan./2011	NS	24	613	<i>Micrandropsis scleroxylon</i> (W.A. Rodrigues) W.A. Rodrigues	35	Em pé	Raio	-	2,2
Jan./2011	NS	32	808	<i>Pouteria campanulata</i> Baehni	18	Quebrada	Injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos	-	1,6
Jan./2011	NS	39	936C	Não Identificada	14	Quebrada	Estresse/fatores bióticos e tempestades	318	2,7
Jan./2011	NS	65	1565	<i>Ocotea subterminalis</i> van der Werff	17	Desenraizada	Estresse/fatores bióticos e tempestades	80	3,3
Jan./2011	NS	81	1978	<i>Protium opacum</i> Swart	19	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	1,3
Jan./2011	NS	90	2163	<i>Licaria cannella</i> ssp. <i>Tenuicarpa</i> (Kostermans ex Rodrigues) Kurz	11	Quebrada	Injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos	-	2,3
Fev./2011	LO	5	105	<i>Pouteria aff. Ambelaniifolia</i> (Sandwith) T.D. Penn.	35	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	1,3
Fev./2011	LO	14	330	<i>Pouteria filipes</i> Eyma	48	Quebrada	Tempestade	263	30
Fev./2011	LO	14	333	<i>Minquaria gualanensis</i> Aubl.	17	Desenraizada	Tempestade	264	30
Fev./2011	LO	14	334	<i>Eschweilera laevicarpa</i> S.A. Mori	15	Desenraizada	Tempestade	263	30
Fev./2011	LO	32	671	<i>Eperua duckeana</i> R.S. Cowan	38	Desenraizada	Tempestade	214	1,1
Fev./2011	LO	43	934	<i>Bocoa viridiflora</i> (Ducke) R.S. Cowan	11	Quebrada	Injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos	-	3,2
Fev./2011	LO	51	1150	<i>Virola venosa</i> (Benth.) Warb.	20	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	16,2
Fev./2011	LO	62	1402	<i>Tachigali cf. myrmecophila</i> (Ducke) Ducke	28	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	3,4

Apêndice C: Lista das características dos indivíduos arbóreos que morreram no transecto Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO) da E.E.S.T/INPA, Manaus.

(Tran = transecto; DAP = diâmetro a altura do peito; AZ = azimute da queda; DT = declividade do terreno).

Mês/Ano	Tran.	Parcela	Nº Árvore	Espécie	DAP	Forma de Morte	Causa da Morte	AZ (°)	DT. (°)
Fev./2011	LO	105	2339	<i>Duguetia stelechantha</i> (Diels) R.E. Fr.	12	Quebrada	Tempestade	93	0.7
Fev./2011	LO	110	2482	<i>Protium apiculatum</i> Swart	21	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	5
Fev./2011	LO	92	2058B	<i>Rhodostemonodaphne negrensis</i> Madriñán	10	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	16.3
Mar./2011	NS	7	172	<i>Virola calophylla</i> var. <i>calophylla</i> (Spruce) Warb.	23	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	2
Mar./2011	NS	29	743	<i>Tovomita caloneura</i> A.C. Sm.	24	Quebrada	Queda de um indivíduo morto	281	11.3
Mar./2011	NS	72	1770	<i>Protium hebetatum</i> D.C. Daly	20	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	0.2
Mar./2011	NS	100	2384	<i>Abarema adenophora</i> (Ducke) Bameby & J.W. Grimes	48	Desenraizada	Estresse/fatores bióticos e tempestades	223	1.8
Mar./2011	NS	100	2383	<i>Protium hebetatum</i> D.C. Daly	12	Quebrada	Tempestade	209	3.3
Mar./2011	NS	101	2394	<i>Inga paraensis</i> Ducke	16	Desenraizada	Tempestade	248	2.3
Mar./2011	NS	101	2391	<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	20	Desenraizada	Tempestade	247	2.1
Abr./2011	LO	13	298	<i>Anaxagorea manausensis</i> Timmerman	12	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	16.8
Abr./2011	LO	14	329	<i>Rhodognaphalopsis duckei</i> A. Robyns	22	Desenraizada	Tempestade	331	28.6
Abr./2011	LO	14	348	<i>Mabea speciosa</i> Müll. Arg.	16	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	29
Abr./2011	LO	52	1171	<i>Mabea speciosa</i> Müll. Arg.	14	Desenraizada	Tempestade	59	14.5
Abr./2011	LO	63	1434	<i>Pourouma ovata</i> Trécul	12	Desenraizada	Tempestade	110	11.8
Abr./2011	LO	64	1435	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	47	Desenraizada	Tempestade	110	11.8
Abr./2011	LO	64	1436	<i>Andira unifoliolata</i> Ducke	14	Desenraizada	Tempestade	110	11.8
Abr./2011	LO	64	1437	<i>Neea ovalifolia</i> Spruce ex J.A. Schmidt	32	Desenraizada	Tempestade	110	11.8
Abr./2011	LO	64	1438	<i>Protium strumosum</i> D.C. Daly	12	Desenraizada	Tempestade	110	11.8
Abr./2011	LO	64	1440	<i>Mabea angularis</i> Hollander	13	Quebrada	Tempestade	110	11.8
Abr./2011	LO	64	1454	<i>Eschweilera wachenheimii</i> (Benoist) Sandwith	27	Desenraizada	Tempestade	80	18.2
Abr./2011	LO	64	1455	<i>Mouriri nigra</i> (DC.) Morley	30	Desenraizada	Tempestade	80	18.2

Apêndice C: Lista das características dos indivíduos arbóreos que morreram no transecto Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO) da E.E.S.T/INPA, Manaus.

(Tran = transecto; DAP = diâmetro a altura do peito; AZ = azimute da queda; DT = declividade do terreno).

Mês/Ano	Tran.	Parcela	Nº Árvore	Espécie	DAP	Forma de Morte	Causa da Morte	AZ (°)	DT. (°)
Abr./2011	LO	65	1466	<i>Andira sp.</i>	87	Desenraizada	Tempestade	110	20.3
Abr./2011	LO	65	1467	<i>Micrandropsis scleroxylon</i> (W.A. Rodrigues) W.A. Rodrigues	43	Desenraizada	Tempestade	110	20.3
Abr./2011	LO	93	2090	<i>Protium apiculatum</i> Swart	11	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	9.6
Abr./2011	LO	113	2566	<i>Helicostylis tomentosa</i> (Poepp. & Endl.) Rusby	31	Desenraizada	Tempestade	48	1
Abr./2011	LO	114	2588	<i>Mouriri duckeana</i> Morley	39	Desenraizada	Tempestade	53	3
Abr./2011	LO	114	2600	<i>Licania oblongifolia</i> Standl.	36	Desenraizada	Tempestade	44	0.4
Abr./2011	LO	73	1647F3	CACAURANA	12	Quebrada	Injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos	-	4.1
Abr./2011	LO	114	2585F	<i>Pouteria erythrochrysa</i> T.D. Penn.	11	Quebrada	Tempestade	38	0.4
Mai./2011	NS	75	1843	<i>Protium opacum</i> Swart	16	Desenraizada	Tempestade	21	2.1
Mai./2011	NS	76	1845	<i>Protium opacum</i> Swart	15	Quebrada	Tempestade	21	2.2
Jun./2011	LO	28	580	<i>Eperua glabriflora</i> (Ducke) R.S. Cowan	50	Desenraizada	Tempestade	341	5.4
Jun./2011	LO	105	2358	<i>Sclerolobium melanocarpum</i> Ducke	14	Quebrada	Tempestade	321	1.3
Jul./2011	NS	63	1498B	Não Identificada	11	Quebrada	Injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos	-	2.3
Jul./2011	NS	67	1656	<i>Protium sp.</i>	13	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	20
Ago./2011	LO	91	2022B	<i>Ocotea subterminalis</i> van der Werff	10	Quebrada	Injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos	-	12.8
Ago./2011	LO	125	2854D	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> (Pierre) Baehni	10	Quebrada	Injúria por tempestade e estresse/fatores bióticos	-	2.6
Set./2011	NS	7	165	<i>Rinorea guianensis</i> Aubl.	26	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	2
Set./2011	NS	18	461	<i>Duroia macrophylla</i> Huber	18	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	1.7
Set./2011	NS	73	1799	<i>Scleronema micranthum</i> (Ducke) Ducke	49	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	0.1
Out./2011	LO	34	706	<i>Myrcia sp.</i>	14	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	7.2
Out./2011	LO	35	721	<i>Sclerolobium melanocarpum</i> Ducke	54	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	0.2

Apêndice C: Lista das características dos indivíduos arbóreos que morreram no transecto Norte-Sul (NS) e Leste-Oeste (LO) da E.E.S.T/INPA, Manaus.

(Tran = transecto; DAP = diâmetro a altura do peito; AZ = azimute da queda; DT = declividade do terreno).

Mês/Ano	Tran.	Parcela	Nº Árvore	Espécie	DAP	Forma de Morte	Causa da Morte	AZ (°)	DT. (°)
Out./2011	LO	67	1524	<i>Licania sp.</i>	19	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	21.2
Out./2011	LO	89	1979	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori	32	Em pé	Estresse e fatores bióticos	-	1.7
Out./2011	LO	105	2359	<i>Licania pallida</i> Spruce ex Sagot	20	Quebrada	Tempestade	318	1.3
Out./2011	LO	109	2472	<i>Pouteria durlandii</i> (Standl.) Baehni	14	Desenraizada	Tempestade	54	1.1