

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

LUCAS CARNEIRO VESCOVI

IMPACTO DE UMA CHUVA DE GRANIZO NO ESTOQUE DE
CARBONO AÉREO E PRODUÇÃO PRIMÁRIA DE UM MANGUEZAL
TROPICAL, LESTE DO BRASIL

VITÓRIA

2019

LUCAS CARNEIRO VESCOVI

IMPACTO DE UMA CHUVA DE GRANIZO NO ESTOQUE DE
CARBONO AÉREO E PRODUÇÃO PRIMÁRIA DE UM MANGUEZAL
TROPICAL, LESTE DO BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Ciências biológicas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Ângelo Fraga Bernardino

VITÓRIA

2019

LUCAS CARNEIRO VESCOVI

IMPACTO DE UMA CHUVA DE GRANIZO NO ESTOQUE DE
CARBONO AÉREO E PRODUÇÃO PRIMÁRIA DE UM MANGUEZAL
TROPICAL, LESTE DO BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Departamento de Ciências biológicas da Universidade
Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção
do título de bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Ângelo Fraga Bernardino

Aprovada em _____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ângelo Fraga Bernardino

Universidade Federal do Espírito Santo

Orientador

Prof. Dr. Fabian Sá

Universidade Federal do Espírito Santo

Me. Luiz Eduardo de Oliveira Gomes

Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Orientador Ângelo Fraga Bernardino e meu grande amigo e mentor Luiz Eduardo Gomes, que foram as principais pessoas para realização deste trabalho, a todas as pessoas do laboratório (Bentos-Ufes), a CAPES/FAPES pelo financiamento que possibilitou as coletas e o estudo feito. A Universidade Federal do Espírito Santo que cedeu a estrutura para realização deste trabalho. Gostaria de agradecer a Deus, meus familiares e amigos pelo apoio neste período de pesquisa, pelas idas a campo comigo e por todos os momentos envolvendo esse estudo.

RESUMO

Resumo: Manguezais são capazes de estocar grandes quantidades de carbono por ser um ambiente anóxico e de baixa taxa de decomposição, ao longo de milhões de anos. Apesar disso estes ecossistemas são alvo de impactos humanos, onde atualmente os impactos climáticos tem sido mais frequentes a estes ecossistemas relacionado às mudanças climáticas ao longo do mundo. Neste trabalho comparamos regiões impactadas e não impactadas de um manguezal da Ecoregião Marinha Leste do Brasil que sofreu o impacto de uma tempestade de granizo em junho de 2016. Vimos que a perda vegetal dessas regiões por tempestades ou até mesmo pela ação antrópica muda o balanço de carbono, liberando CO² para atmosfera e contribuindo para o aquecimento global.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, carbono azul, manguezal, serapilheira, estuário.

ABSTRACT

Mangroves are capable of storing large amounts of carbon because it is an anoxic environment with a low decomposition rate over millions of years. Furthermore, these ecosystems are the target of human impacts, where currently the climate impacts have been more frequent to these ecosystems related to climate change throughout the world. In this work we compared the impacted and not impacted regions of a mangrove from the Eastern Marine Ecoregion of Brazil that suffered the impact of a hailstorm at June 2016. We have seen that the loss of vegetation in these regions by hailstorm or even by anthropic action changes the balance of carbon, releasing CO² into the atmosphere and contributing to global warming.

Key words: Climate change, blue carbon, mangrove, litterfall, estuary

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Área de estudo evidenciando as regiões impactadas e não impactadas onde a cor verde representa regiões preservadas, amarelo representa regiões levemente impactadas, vermelho representa regiões moderadamente impactadas e cinza severamente impactadas. Baseado em Servino et al. (2018).....13
- Figura 2 - Produção de serapilheira espacial em C g dw m² nas regiões estudadas, PM=Piraquê-Mirim; PA=Piraquê-açu e comparação entre as regiões impactadas e não impactadas.....16
- Figura 3 - Comparação na produção de serapilheira (C g dw M²) coletada em dois períodos, seco e chuvoso durante um ano nas regiões PM não impactadas e PA impactada e não impactada.....17

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Coordenadas geográficas das regiões impactadas e não impactadas da área de estudo no manguezal do rio Piraquê-Açu-Mirim..... | 13 |
| Tabela 2 - Média do estoque de carbono aéreo (TAGC) e da produção de serapilheira nas regiões PA e PM impactadas e não impactadas. PM=Piraquê-Mirim; PA=Piraquê-açu..... | 15 |
| Tabela 3 - ANOVA. Variância entre as regiões estudadas de TAGC. Dados médios (erro padrão). Seis locais foram amostrados e os valores de p em negrito evidenciam diferença significativa entre as regiões..... | 15 |
| Tabela 4 - ANOVA. Variância entre as regiões estudadas na análise espacial de produção de serapilheira média com erro padrão e p evidenciando dissimilaridade menor que 0,050 entre elas..... | 16 |
| Tabela 5 - ANOVA. Produção de serapilheira em escala temporal comparando o período seco com chuvoso. Valores de p em negrito evidenciam dissimilaridade entre as regiões..... | 18 |

SUMÁRIO

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | MATERIAIS E MÉTODOS | 12 |
| 2.1 | Área de estudo e desenho amostral..... | 12 |
| 2.2 | Cálculos de Carbono aéreo..... | 14 |
| 2.3 | Análises estatísticas..... | 14 |
| 3 | RESULTADOS | 14 |
| 3.1 | Estoque de carbono aéreo de árvores..... | 14 |
| 3.2 | Serapilheira..... | 16 |
| 4 | DISCUSSÃO | 19 |
| 5 | REFERÊNCIAS | 20 |

Impacto de uma chuva de granizo no estoque de carbono aéreo e produção primária de um manguezal tropical, Leste do Brasil

Lucas Carneiro Vescovi*, Luiz Eduardo de Oliveira Gomes, Angelo Fraga Bernardino

Grupo de Ecologia Bêntica, Departamento de Oceanografia e Ecologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, ES, 29055-460.

Autor correspondente: lucascvesc@gmail.com

Resumo: Manguezais são capazes de estocar grandes quantidades de carbono por ser um ambiente anóxico e de baixa taxa de decomposição, ao longo de milhões de anos. Apesar disso estes ecossistemas são alvo de impactos humanos, onde atualmente os impactos climáticos tem sido mais frequentes a estes ecossistemas relacionado às mudanças climáticas ao longo do mundo. Neste trabalho comparamos regiões impactadas e não impactadas de um manguezal da Ecoregião Marinha Leste do Brasil que sofreu o impacto de uma tempestade de granizo em junho de 2016. Vimos que a perda vegetal dessas regiões por tempestades ou até mesmo pela ação antrópica muda o balanço de carbono, liberando CO₂ para atmosfera e contribuindo para o aquecimento global.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, carbono azul, manguezal, serapilheira, estuário.

1. INTRODUÇÃO

Manguezais são encontrados ao longo das costas tropicais e subtropicais, sendo geralmente restritos à zona de maré (Kauffman e Donato 2012). Espécies de manguezais possuem uma série de adaptações únicas para facilitar a sobrevivência neste ambiente, como raízes aéreas e pneumatóforos para permitir a troca gasosa para os tecidos radiculares (Kauffman e Cole 2010). As florestas de manguezais, estão sujeitas a vários distúrbios que variam em sua natureza (por exemplo, geológica, física, química e biológica) no tempo e no espaço. Habitando uma zona entre terra e mar em baixas latitudes, os manguezais ocupam um ambiente severo, sendo sujeitos diariamente a mudanças de maré, com variações na salinidade e temperatura da água e por vezes anoxia. Com isso, os manguezais são altamente

adaptáveis, ou tolerantes a estas variações extremas (Alongi 2014).

Os manguezais fornecem uma ampla gama de serviços ecossistêmicos como, ciclagem de nutrientes, gênese de solo, produção de madeira, berçário para recursos pesqueiros importantes (ex. peixes e crustáceos) e armazenamento de carbono (Costanza et al. 2014). O grande armazenamento de carbono (aéreo e sedimentar), deve-se às taxas elevadas de crescimento de árvores e plantas, solos anaeróbicos e água que retardam a decomposição, resultam em grande armazenamento em C a longo prazo. (Murdiyarsa et al. 2015). Sendo estes depósitos de carbono em manguezais mais altas comparados a outras floresta (Kauffman e Donato 2012), como floresta amazônica e savana (Kauffman et al. 2018).

A serapilheira tem grande importância na manutenção dos fluxos de C, N e P no assoalho do mangue em decomposição com fitoplâncton, produção bacteriana e secundária nas águas estuarinas, além da importância principalmente para o orçamento de C dos estuários e na sustentação da cadeia microbiana e regeneração de nutrientes (Wafar et al. 1997).

Impactos climáticos em manguezal podem variar em escalas, sendo locais, afetando assim pequenas regiões (Houston 1999; Servino et al. 2018), a grandes escalas, onde múltiplas florestas ao longo de um continente podem ser afetados (Duke et al. 2017). Os manguezais podem ser afetados por um único evento, como no golfo de Exmouth (Austrália) que causou a morte de pelo menos 5700 ha de manguezais, uma redução na área de cerca de 44% (Paling et al. 2008), ou sofrer estresses cumulativos, por exemplo o ocorrido no estuário Piraquê Açú-Mirim, onde uma tempestade de granizo com fortes ventos associados a El-ñino causou grande mortandade e diferentes escalas de recuperação (Servino et al. 2018).

Devido aos serviços ecossistêmicos e grande ameaça oriunda das iminentes mudanças climáticas no século 21 (IPCC 2014; Kauffman e Donato 2012), entender como estes impactos irão influenciar o estoque de carbono do ecossistema é necessário para otimizar as mitigações climáticas (Kauffman e Donato 2012). Este trabalho objetiva identificar mudanças no estoque de carbono aéreo e produção de serapilheira em um estuário da Ecorregião Marinha Leste do Brasil e relacionar se essas mudanças, no caso a perda no estoque de carbono, teve influência direta ou não do evento climático.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e desenho amostral

A área de estudo está localizada no estuário Piraquê Açú-Mirim (PAM, 17°58'S, 40°00'W), dentro da Ecorregião Marinha do Leste do Brasil (Bernardino et al. 2018). O estuário PAM possui uma morfologia em forma de Y e cerca de 12 Km² de manguezais preservados compostos principalmente por *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana*. Em 1º de Junho de 2016 ocorreu o primeiro registro de evento climático extremo no estuário PAM, impactando a floresta de manguezal com chuva de granizo e ventos de 100 km.h⁻¹. Os quais causaram severos danos no manguezal, atingindo em torno de 400 ha, correspondendo a 24.8% da área total de floresta (Servino et al. 2018).

Em Agosto de 2017 foi realizada uma campanha amostral em seis transectos, dois localizados na área impactada pela tempestade de granizo (PA e PM impactados), e quatro em área não impactada (PA não impactados 1 e 2, PM não impactados 1 e 2; Figura 1; Tabela 1). Nesta campanha amostral a estrutura de floresta de mangue foi identificada para aferir os estoques de carbono e foi realizada a instalação dos amostradores de serapilheira. Cada transecto possui uma extensão de 120m, iniciando a 20m da franja de mangue, sendo dividido em seis parcelas, uma a cada 20m de distância entre sí, com angulação de 90° da margem do rio (Kauffman et al. 2016). Em cada parcela foram medidas as árvores vivas, mortas e troncos caídos. Em cada parcela foram instaladas duas armadilhas de coleta de folha, sendo monitoradas mensalmente durante um ano (1 un = 25cm²; Tabela 1; Kauffman e Donato 2012). Todo material coletado foi armazenados em sacolas de pano e processados em laboratório.

O estoque de carbono aéreo foi acessado a partir da estrutura das árvores de mangue e quantidade de serapilheira produzida. A estrutura do manguezal foi aferida a partir da identificação das espécies arbóreas. Estas foram classificadas em vivas, as quais tiveram o DAP aferido (DAP = 1,30m), ou mortas (Nível 1, 2 ou 3), onde Nível 1: Galhos pequenos dos ramos; parece uma árvore viva, mas não possui folhas; Nível 2: Não possui os pequenos galhos; pode ter perdido uma porção de grandes ramos; Nível 3: Apenas tronco principal com pouco ou nenhum galho; o tronco principal pode estar quebrado (Kauffman e Donato 2012). Para as árvores caídas foram aferidos o

diâmetro e sua classe (dura ou podre), recomendado para calcular o volume em vez do diâmetro médio das classes de madeira (Brown e Roussopolous 1974). A serapilheira foi coletada, tendo seu peso úmido aferido e posteriormente o peso seco, após 48h em estufa a 45°C.

Tabela 1. Coordenadas geográficas das regiões impactadas e não impactadas da área de estudo no manguezal do rio Piraquê-Açu-Mirim.

| | Parcela 1 | Parcela 2 | Parcela 3 | Parcela 4 | Parcela 5 | Parcela 6 |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| PM não impactado 1 | 19° 56' 59.4" S | 19° 56' 58.9" S | 19° 56' 58.5" S | 19° 56' 58" S | 19° 56' 57.4" S | 19° 56' 57" S |
| | 40° 11' 30.8" W | 40° 11' 30.2" W | 40° 11' 29.7" W | 40° 11' 29.4" W | 40° 11' 29" W | 40° 11' 28.6" W |
| PM não impactado 2 | 19° 56' 26.7" S | 19° 56' 27.1" S | 19° 56' 27.9" S | 19° 56' 28" S | 19° 56' 28.3" S | 19° 56' 28.8" S |
| | 40° 12' 20.7" W | 40° 12' 21.2" W | 40° 12' 21.9" W | 40° 12' 22" W | 40° 12' 22.9" W | 40° 12' 23.4" W |
| PM impactado | 19° 55' 57" S | 19° 55' 57" S | 19° 55' 57" S | 19° 55' 57.2" S | 19° 55' 57.3" S | 19° 55' 57.6" S |
| | 40° 15' 10.4" W | 40° 15' 11.1" W | 40° 15' 11.7" W | 40° 15' 12" W | 40° 15' 13" W | 40° 15' 13.6" W |
| PA não impactado 1 | 19° 56' 04.7" S | 19° 56' 04.7" S | 19° 56' 04.5" S | 19° 56' 04.5" S | 19° 56' 04.4" S | 19° 56' 04.1" S |
| | 40° 10' 36.5" W | 40° 10' 37.1" W | 40° 10' 38" W | 40° 10' 38.8" W | 40° 10' 39.7" W | 40° 10' 39.8" W |
| PA não impactado 2 | 19° 55' 23.5" S | 19° 55' 24" S | 19° 55' 24.6" S | 19° 55' 25.1" S | 19° 55' 25.7" S | 19° 55' 26.2" S |
| | 40° 12' 40.5" W | 40° 12' 40" W | 40° 12' 39.6" W | 40° 12' 39.3" W | 40° 12' 38.9" W | 40° 12' 38.5" W |
| PA impactado | 19° 54' 34" S | 19° 54' 33.3" S | 19° 54' 32.8" S | 19° 54' 32" S | 19° 54' 31.4" S | 19° 54' 30.9" S |
| | 40° 13' 58.1" W | 40° 13' 58.1" W | 40° 13' 58.3" W | 40° 13' 58.5" W | 40° 13' 58.6" W | 40° 13' 58.9" W |

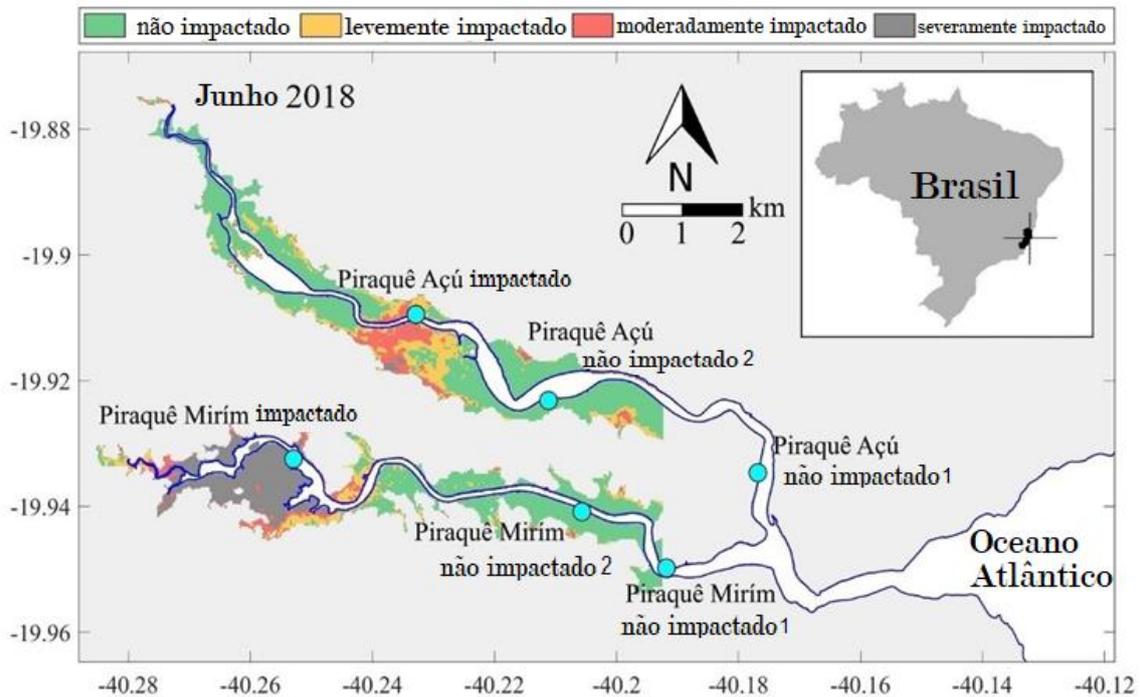


Figura 1. Área de estudo evidenciando as regiões impactadas e não impactadas onde a cor verde representa regiões preservadas, amarelo representa regiões levemente impactadas, vermelho representa regiões moderadamente impactadas e cinza severamente impactadas. Baseado em Servino et al. (2018).

2.2. Cálculos de Carbono aéreo

Para análise de estoque de carbono aéreo foram utilizadas as equações específicas para cada espécie arbórea. Para *L. racemosa* a equação selecionada foi desenvolvida na Flórida por Smith e Whelan (2006), enquanto para *R. mangle* e *A. germinans* usamos as equações desenvolvidas na Guiana Francesa por Fromard et al. (1998). Para análise de carbono das árvores mortas utilizamos as metodologias de Kauffman et al. (2016). Para determinar a massa de madeira, utilizamos dados de gravidade específica de madeira caídas de manguezais, sendo convertida em C usando o fator de 0,50 (Kauffman e Donato 2012).

2.3. Análises estatísticas

Análises espaciais foram realizadas para avaliar as semelhanças e diferenças entre os estoques de carbono e produção serapilheira entre as regiões impactadas e não impactadas pela chuva de granizo. Para testar mudanças significativas nos estoques de carbono aéreo e troncos caídos nas florestas, utilizou-se ANOVA univariada com 6 níveis (PA e PM impactados e PA e PM não impactados 1 e 2 na

estação seca). Para o carbono na serapilheira, os dados de setembro a dezembro de 2017 foram utilizados para testar diferenças espaciais entre as regiões impactadas e não impactadas (PA e PM impactadas, PA não impactadas 1 e 2 e PM não impactadas 1 e 2), enquanto uma univariada ANOVA com 10 níveis foi utilizada para a escala temporal (PA e PM impactados e PA e PM não impactados 1 e 2 na estação seca, PA e PM impactados e PA e PM não impactados 1 nas estações Chuvosas). A ANOVA univariada foi realizada utilizando o software SPSS v 20.0 (IBM SPSS Statistics Inc., Chicago, IL, EUA).

3. RESULTADOS

3.1. Estoque de carbono aéreo

A região PM impactada ($17,1 \pm 8,5$ Mg C/ha) apresenta menor estoque de carbono que todas as regiões não impactadas ($68,5 \pm 8,7$ Mg C/ha; $p < 0,003$; Tabela 2, 3) e PA impactada ($41,1 \pm 29$ Mg C/ha). A região PA impactada apresentou estoque de carbono menor que PA não impactada 1 ($59,5 \pm 15,9$ Mg C/ha) e 2 ($80,0 \pm 18,5$ Mg C/ha).

Tabela 2. Média do estoque de carbono aéreo (TAGC) e da produção de serapilheira nas regiões PA e PM impactadas e não impactadas. PM=Piraquê-Mirim; PA=Piraquê-açu

| Regiões | TAGC/ha (Mg C/ha) | | Produção serapilheira (C g dw m ²) | |
|--------------------|-------------------|------|--|------|
| | Média | DP | Média | DP |
| PM não impactado 1 | 69,9 | 11,3 | 52,7 | 24,5 |
| PM não impactado 2 | 65,1 | 16,0 | 26,3 | 14,7 |
| PM impactado | 17,1 | 8,5 | 1,8 | 8,2 |
| PA não impactado 1 | 59,5 | 15,9 | 37,9 | 20,4 |
| PA não impactado 2 | 80,0 | 18,5 | 38,4 | 24,3 |
| PA impactado | 41,1 | 29,0 | 3,7 | 5,8 |

Tabela 3. ANOVA. Variância entre as regiões estudadas de TAGC. Dados médios (erro padrão). Seis locais foram amostrados e os valores de p em negrito evidenciam diferença significativa entre as regiões.

| Regiões | Regiões | Diferença média | Erro Padrão | p |
|--------------------|--------------------|-----------------|-------------|-------|
| PM não impactado 1 | PM não impactado 2 | -7,538 | 9,539 | 0,967 |
| | PM impactado | -20,529 | 9,539 | 0,289 |
| | PA não impactado 1 | -7,574 | 9,539 | 0,966 |
| | PA não impactado 2 | -19,823 | 9,539 | 0,325 |
| | PA impactado | -11,734 | 9,539 | 0,819 |

| | | | | |
|--------------------|--------------------|---------|-------|-------|
| PM não impactado 2 | PM impactado | -12,990 | 9,539 | 0,749 |
| | PA não impactado 1 | -0,036 | 9,539 | 1,000 |
| | PA não impactado 2 | -12,285 | 9,539 | 0,789 |
| | PA impactado | -4,196 | 9,539 | 0,998 |
| PM impactado | PA não impactado 1 | 12,955 | 9,539 | 0,751 |
| | PA não impactado 2 | 0,706 | 9,539 | 1,000 |
| | PA impactado | 8,795 | 9,539 | 0,938 |
| PA não impactado 1 | PA não impactado 2 | -12,249 | 9,539 | 0,791 |
| | PA impactado | -4,160 | 9,539 | 0,998 |
| PA não impactado 2 | PA impactado | 8,089 | 9,539 | 0,956 |

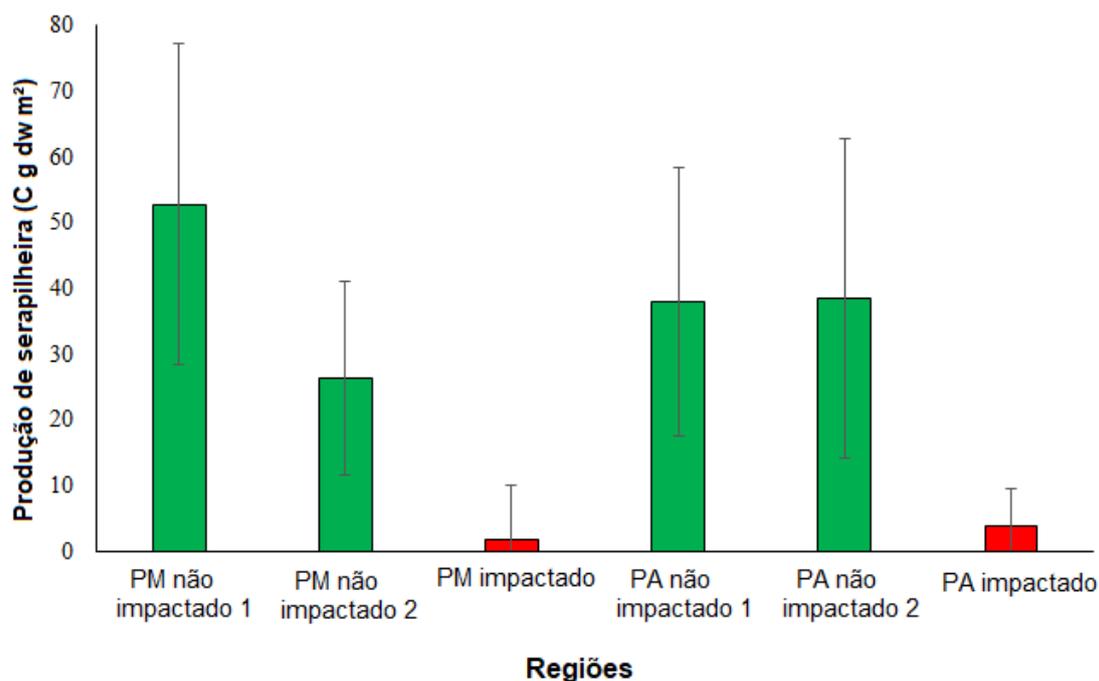


Figura 2. Produção de serapilheira espacial em C g dw m² nas regiões estudadas, PM=Piraquê-Mirim; PA=Piraquê-açu e comparação entre as regiões impactadas e não impactadas.

3.2. Serapilheira

Em geral, na análise espacial, a produção de serapilheira da região PM impactada foi menor ($1,8 \pm 8,2$ C g dw m²) em comparação com todas as regiões não impactadas em ambas as estações ($p < 0,005$; tabela 5; figura 3). Além disso, a produção de serapilheira de PM não impactada foi maior ($52,7 \pm 24,5$ C g dw m²) em comparação com todas as regiões impactadas e não impactadas.

Tabela 4. ANOVA. Variância entre as regiões estudadas na análise espacial de produção de serapilheira média com erro padrão e p evidenciando dissimilaridade menor que 0,050 entre elas.

| Regiões | Impactadas e não impactadas | p |
|--------------------|-----------------------------|--------------|
| PM não impactado 1 | PM não impactado 2 | 0,010 |
| | PM impactado | 0,000 |
| | PA não impactado 1 | 1,000 |
| | PA não impactado 2 | 1,000 |
| | PA impactado | 0,000 |
| PM não impactado 2 | PM impactado | 0,000 |
| | PA não impactado 1 | 0,015 |
| | PA não impactado 2 | 0,009 |
| | PA impactado | 0,000 |
| PM impactado | PA não impactado 1 | 0,000 |
| | PA não impactado 2 | 0,000 |
| | PA impactado | 0,995 |
| PA não impactado 1 | PA não impactado 2 | 1,000 |
| | PA impactado | 0,000 |
| PA não impactado 2 | PA não impactado | 0,000 |

Na análise sazonal de serapilheira, a produção no período seco (seco $58,4 \pm 23,3$ C g dw m²) foi maior que no período chuvoso (chuvoso $42,1 \pm 11,8$ C g dw m²). A área impactada PA mostrou um aumento na produção, comparando as duas estações, e apresentou uma recuperação da sua vegetação ao longo do tempo, já as áreas não impactadas PM e PA mostraram uma diminuição da produção de uma estação para a outra (de $68,8 \pm 74,3$ C g dw m² no período seco para $47,0 \pm 51,3$ C g dw m² no período chuvoso, Figura 3).

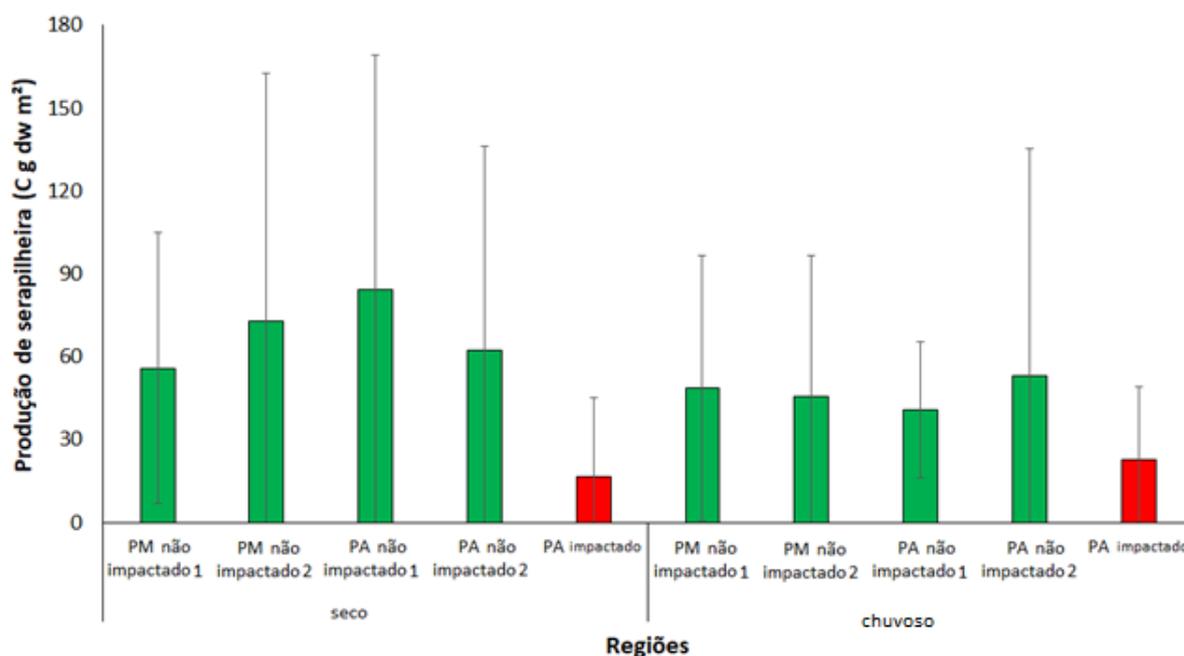


Figura 3. Comparação na produção de serapilheira (C g dw M²) coletada em dois períodos, seco e chuvoso durante um ano nas regiões PM não impactadas e PA impactada e não impactada.

Tabela 5. ANOVA. Produção de serapilheira em escala temporal comparando o período seco com chuvoso. Valores de p em negrito evidenciam dissimilaridade entre as regiões.

| Mudanças sazonais de cada região | impactadas e não impactada | p |
|----------------------------------|----------------------------|--------------|
| Seca PM não impactado 1 | Seca PM não impactado 2 | 0,840 |
| | Seca PA não impactado 1 | 0,164 |
| | Seca PA não impactado 2 | 1,000 |
| | Seca PA impactado | 0,011 |
| | Chuvoso PM não impactado 1 | 1,000 |
| | Chuvoso PM não impactado 2 | 0,996 |
| | Chuvoso PA não impactado 1 | 0,939 |
| | Chuvoso PA não impactado 2 | 1,000 |
| | Chuvoso PA impactado | 0,324 |
| Seca PM não impactado 2 | Seca PA não impactado 1 | 0,983 |
| | Seca PA não impactado 2 | 0,993 |
| | Seca PA impactado | 0,000 |
| | Chuvoso PM não impactado 1 | 0,461 |
| | Chuvoso PM não impactado 2 | 0,318 |
| | Chuvoso PA não impactado 1 | 0,117 |
| | Chuvoso PA não impactado 2 | 0,786 |
| | Chuvoso PA impactado | 0,011 |
| Seca PA não impactado 1 | Seca PA não impactado 2 | 0,538 |
| | Seca PA impactado | 0,000 |
| | Chuvoso PM não impactado 1 | 0,039 |
| | Chuvoso PM não impactado 2 | 0,021 |
| | Chuvoso PA não impactado 1 | 0,004 |
| | Chuvoso PA não impactado 2 | 0,166 |
| | Chuvoso PA impactado | 0,000 |
| Seca PA não impactado 2 | Seca PA impactado | 0,001 |
| | Chuvoso PM não impactado 1 | 0,968 |
| | Chuvoso PM não impactado 2 | 0,907 |
| | Chuvoso PA não impactado 1 | 0,665 |
| | Chuvoso PA não impactado 2 | 0,999 |
| | Chuvoso PA impactado | 0,124 |
| Seca PA impactado | Chuvoso PM não impactado 1 | 0,126 |
| | Chuvoso PM não impactado 2 | 0,253 |
| | Chuvoso PA não impactado 1 | 0,535 |
| | Chuvoso PA não impactado 2 | 0,069 |
| | Chuvoso PA impactado | 1,000 |
| Chuvoso PM não impactado 1 | Chuvoso PM não impactado 2 | 1,000 |
| | Chuvoso PA não impactado 1 | 1,000 |
| | Chuvoso PA não impactado 2 | 1,000 |
| | Chuvoso PA impactado | 0,714 |
| Chuvoso PM não impactado 2 | Chuvoso PA não impactado 1 | 1,000 |

| | | |
|----------------------------|----------------------------|-------|
| | Chuvoso PA não impactado 2 | 1,000 |
| | Chuvoso PA impactado | 0,844 |
| Chuvoso PA não impactado 1 | Chuvoso PA não impactado 2 | 0,992 |
| | Chuvoso PA impactado | 0,963 |
| Chuvoso PA não impactado 2 | Chuvoso PA impactado | 0,552 |

4. DISCUSSÃO

Os manguezais são áreas úmidas florestadas que representam um elo funcional entre os ciclos de carbono terrestre e oceânico (McLeod et al. 2011). Os manguezais contribuem com cerca de 10–15% do armazenamento global de carbono no oceano costeiro, com aproximadamente 50% da produção de serapilheira de mangue sendo transportada para zonas costeiras adjacentes e representando 10–11% da exportação global de carbono terrestre particulado para o oceano. (Alongi 2014; Bouillon et al. 2008) Apesar disso, os manguezais são impactados por perturbações antropogênicas, como desmatamento, conversão em aquicultura e desenvolvimento urbano (Polidoro et al. 2010; Richards e Friess 2015). A área mundial de manguezais foi reduzida em cerca de 35% desde a década de 1980, e 2,1% da área de mangue mundial existente é perdido a cada ano (Valiela et al. 2001), sendo que o aumento de intensidade e frequência de eventos extremos faz das mudanças climáticas um problema atual e futuro a ser enfrentado (IPCC 2014).

Manguezais estocam grandes quantidades de carbono em seus solos profundos e ricos em matéria orgânica, além disso o C aéreo é estocado em forma de biomassa vegetal, juntos estocam mais C por “ha” que a maioria dos ecossistemas terrestres vegetados, como a floresta amazônica (Kauffman e Donato, 2001; Kauffman et al. 2018). Quando o manguezal apresenta impactos em sua cobertura vegetal, as perdas de C são altas porque grandes quantidades de C anteriormente armazenadas em solos subóxicos e biomassa aérea são perdidas, resultando em emissões potencialmente grandes de gases de efeito estufa e transporte lateral via água subterrânea (Kauffman et al. 2014, Sippo et al. 2019).

Por sua vez, troncos caídos, não apresentaram nenhuma diferença entre regiões impactadas e não impactadas. Durante a tempestade de granizo de junho de 2016 muitas árvores foram derrubadas e já tiveram seus galhos quebrados pelos ventos fortes. Como nossas amostragens ocorreram 1,5 anos depois do desastre, os

troncos caídos foram decompostos por teredos e outros organismos bentônicos (ex. bactérias), lavados do manguezal para o canal do estuário e / ou transportados para regiões próximas (Robertson 1991; Ong et al. 1995), assim servindo de fonte orgânica para estes ambientes.

As regiões impactadas apresentaram um decréscimo drástico de mais de 90% na produção de serapilheira (PA impactado = 90,3%; PM impactado = 95,4%) comparado com as regiões não impactadas. Enquanto a região PM impactada somente possui árvores mortas, com produção de serapilheira próxima de zero, a região PA impactada apresentou recuperação na produção de serapilheira ao longo do tempo (campanha 1 - $16,7 \pm 28,2$; campanha 2 - $22,6 \pm 26,5$), porém abaixo da produção das regiões não impactadas. A perda de produção de serapilheira acarreta prejuízo pela importância na manutenção dos fluxos de C, N e P no assoalho do mangue e principalmente para o orçamento de C dos estuários e na sustentação da cadeia microbiana e ciclagem de nutrientes (Wafar et al. 1997).

Regiões impactadas pela tempestade de granizo reduziram drasticamente o estoque de C aéreo (região PA impactado = 41%, região PM impactado = 74,8%) comparado às regiões não impactadas. Além disso, a drástica perda na produção de serapilheira (>90%) pode causar efeitos cascata drásticos, por ser importante fonte de alimento e C para o ecossistema. A perda da cobertura aérea vegetal pode acarretar na liberação do carbono estocado via emissão de gases do efeito estufa (Kauffman et al. 2014), além de serem transportados por fluxos subterrâneos via água intersticial (Sippo et al. 2019). Devido aos grandes danos ambiental, social e econômico oriundo da perda dos manguezais, é de suma importância que estratégias de mitigação ou recuperação sejam aplicadas em manguezais ao longo do globo (ex. REDD+, Murdiyarso et al. 2015), buscando uma maior resiliência às mudanças climáticas.

5. REFERÊNCIAS

- Alongi, D. M. 2014. Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests. *Annual Review of Marine Science*, 6(1), 195–219. doi:10.1146/annurev-marine-010213-135020
- Bernardino, A. F., Gomes, L. E. O., Hadlich, H. L., Andrades, R., Correa, L. B. 2018. Mangrove clearing impacts on macrofaunal assemblages 1 and benthic food webs in a tropical estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 126:228-235. Doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.11.008.

Bouillon, S., Borges, A. V., Castañeda-Moya, E., Diele, K., Dittmar, T., Duke, N. C., Kristensen, E., Lee, S. Y., Marchand, C., Middelburg, J. J., Rivera-Monroy V. H., Smith III T. J., Twilley, R. R. 2008. Mangrove production and carbon sinks: A revision of global budget estimates. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(2), n/a–n/a. doi:10.1029/2007gb003052

Brown, J. K., and P. J. Roussopoulos. 1974. Eliminating biases in the planar intersect method for estimating volumes of small fuels. *Forest Science*, v. 20, no. 4, p. 350-356.

Costanza, R., de Groot, P., Sutton, S., van der Ploeg, S.J., Anderson, I., Kubiszewski, S., Farber, R. K. Turner Changes in the global value of ecosystem services *Glob. Environ. Chang.*, 26, 2014, pp. 152-158, 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002

Duke, N. C., Kovacs, J. M., Griffiths, A. D., Preece, L., Hill, D. J. E., van Oosterzee, P., Mackenzie, J., Morning, H. S., Burrows, D. 2017. Large-scale dieback of mangroves in Australia's Gulf of Carpentaria: a severe ecosystem response, coincidental with an unusually extreme weather event. *Marine and Freshwater Research*, 68(10):1816-1829. Doi: 10.1071/MF16322

Fromard, F., Puig, H., Mougín, E., Marty, E., Betoulle, J.L., Cadamuro L. 1998. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia* 115:39–53

Houston, W. A. 1999. Severe hail damage to mangroves at Port Curtis, Australia. *Mangroves and Salt Marshes*, 3:29–40. Doi: 10.1023/A:1009946809787

IPCC 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Kauffman, J. B., Arifanti, V. B., Basuki, I., Kurnianto, S., Novita, N., Murdiyarso, D., Donato, D. C., Warren, M. W. 2016. Protocols for the measurement, monitoring, and reporting of structure, biomass, carbon stocks and greenhouse gas emissions in tropical peat swamp forests. Working Paper 221. Bogor, Indonesia: CIFOR.

Kauffman, J. B., Bernardino, A. F., Ferreira, T. O., Giovannoni, L. R., de O. Gomes, L. E., Romero, D. J., Ruiz, F. 2018. Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. *Biology Letters*, 14(9), 20180208. doi:10.1098/rsbl.2018.0208

Kauffman, J. B., Cole, T. G. 2010. Micronesian Mangrove Forest Structure and Tree Responses to a Severe Typhoon. *Wetlands*, 30(6):1077-1084. Doi: 10.1007/s13157-010-0114-y

Kauffman, J. B., Donato, D. C. 2012 Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. Working Paper 86. CIFOR, Bogor, Indonesia.

Kauffman, J. B., Heider, C., Norfolk, J., & Payton, F. 2014. Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. *Ecological Applications*, 24(3), 518–527. Doi:10.1890/13-0640.1

McLeod, E. et al. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Front. Ecol. Environ.* 9, 552–560. 2011

Murdiyarmo, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S. Kurnianto, S. 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5, 1089–1092.

Ong, J. E., Khoon, G. W., Clough, B. F. 1995 Structure and productivity of a 20-year-old stand of *Rhizophora apiculata* Bl. mangrove forest. *Journal of Biogeography*, 22, 417–424. Doi: 10.2307/2845938

Paling, E., Kobryn, H., Humphreys, G. 2008. Assessing the extent of mangrove change caused by Cyclone Vance in the eastern Exmouth Gulf, northwestern Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77(4): 603–613. Doi 10.1016/j.ecss.2007.10.019

Polidoro, B. A., Carpenter, K. E., Collins, L., Duke, N. C., Ellison, A. M., Ellison, J. C., Farnsworth, E. J., Fernando, E. S., Kathiresan, K., Koedam, N. E., Livingstone, S. R., Miyagi, T., Moore, G. E., Nam V. N., Ong J. E., Primavera J. H., Salmo, III S. G., Sanciangco J. C., Sukardjo S., Wang Y., Yong J. W. H. The Loss of Species: Mangrove Extinction Risk and Geographic Areas of Global Concern. *PLoS ONE*, 2010, 5, e10095.

Richards, D. R., & Friess, D. A. 2015. Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000–2012. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(2), 344–349. doi:10.1073/pnas.1510272113

Robertson, A. I. 1991. Plant-animal interactions and the structure and function of mangrove forest ecosystems. *Australian Journal of Ecology*, 16, 433–443. Doi: 10.1111/j.1442-9993.1991.tb01073.x

Servino, R. N., Gomes, L. E. de O., & Bernardino, A. F. 2018. Extreme weather impacts on tropical mangrove forests in the Eastern Brazil Marine Ecoregion. *Science of The Total Environment*, 628–629, 233–240. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.02.068

Sippo, J. Z., Maher, D. T., Schulz, K. G., Sanders, C. J., McMahon, A., Tucker, J., & Santos, I. R. 2019. Carbon outwelling across the shelf following a massive mangrove dieback in Australia: Insights from radium isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. doi:10.1016/j.gca.2019.03.003

Smith, T. J., Whelan, K. R. T. 2006. Development of allometric relations for three mangrove species in South Florida for use in the Greater Everglades Ecosystem restoration. *Wetlands Ecology and Management*, [S.l.], 16-22.

Valiela, I., Bowen, J. L., & York, J. K. 2001. Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments. *BioScience*, 51(10), 807. doi:10.1641/0006-3568(2001)051[0807:mfootw]2.0.co;2

Wafar, S., Untawale, A. G., & Wafar, M. 1997. Litter Fall and Energy Flux in a Mangrove Ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44(1), 111–124. doi:10.1006/ecss.1996.0152