



MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**ANTONIO SÉRGIO CUNHA FREIRE**

**ANÁLISE DOS FLUXOS TURBULENTOS DE CO<sub>2</sub> E ENERGIA,  
ASSOCIADA A PERCEPÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM  
UM MANGUEZAL AMAZÔNICO**

**BELÉM – PA**

**2018**

**ANTONIO SÉRGIO CUNHA FREIRE**

**ANÁLISE DOS FLUXOS TURBULENTOS DE CO<sub>2</sub> E ENERGIA,  
ASSOCIADA A PERCEPÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM  
UM MANGUEZAL AMAZÔNICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA-Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do grau de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia  
Linha de pesquisa: Física do clima.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>.Dr<sup>ª</sup>. Maria Isabel Vitorino.

**BELÉM – PA**

**2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo FICAT, mediante os dados fornecidos pelo autor

---

F866a FREIRE, ANTONIO SÉRGIO CUNHA

ANÁLISE DOS FLUXOS TURBULENTOS DE CO<sub>2</sub> E ENERGIA, ASSOCIADA A PERCEPÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM UM MANGUEZAL AMAZÔNICO / ANTONIO SÉRGIO CUNHA FREIRE. — 2018

141 f.: il. color

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

Orientação: Profa. Dra. MARIA ISABEL VITORINO

1. MICROMETEOROLOGIA. 2. MANGUEZAL. 3. FLUXO TURBULENTO. 4. AMAZÔNIA.  
5. SERVIÇO ECOSSISTÊMICO. I. VITORINO, MARIA ISABEL, *orient.* II. Título

CDD 551.6609811

---

ANTONIO SÉRGIO CUNHA FREIRE

**ANÁLISE DOS FLUXOS TURBULENTOS DE CO<sub>2</sub> E ENERGIA,  
ASSOCIADA A PERCEPÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM  
UM MANGUEZAL AMAZÔNICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA-Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do grau de Doutor em Ciências Ambientais.

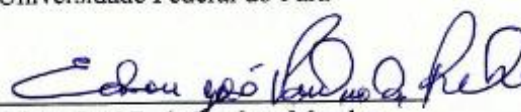
Área de Concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia  
Linha de pesquisa: Física do clima.

Belém, 30 de Abril de 2018

Banca Examinadora:



Maria Isabel Vitorino - Orientadora  
Doutora em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará



Edson José P. da Rocha - Membro  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará



Aline Maria Meiguins de Lima - Membro  
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido  
Universidade Federal do Pará



Marcelo C. Lisboa Cohen - Membro  
Doutor em Biologia Química  
Universidade Federal do Pará

## **DEDICO**

Ao meu pai e minha mãe que sempre me apoiaram em todos os momentos de minha vida e encheram minha existência e a de meus irmãos de amor e bons exemplos de luta;

Aos meus filhos que foram pacientes e compreensivos com meus desafios e estiveram comigo em todas as idas e vindas;

Aos amigos que foram pacientes e amorosos durante esses anos de grandes desafios;

A minha esposa, que me fortaleceu, incentivou e esteve sempre ao meu lado. “O toque de sua mão sempre foi muito especial em minha vida – Te amo! ”

Ao meu Pai Celestial, que me ensinou o valor do princípio da paciência e a entender um pouco a obra de suas mãos. Ensinou-me a ser resiliente e ter que trabalhar, e produzir em meios as dificuldades, pois nem tudo é simples e nem todos os caminhos são fáceis. Sei que fui amparado pela sua mão!

## **AGRADECIMENTOS**

Ao concluir este trabalho, expresso meu reconhecimento e gratidão àqueles que tiveram envolvimento e que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste projeto de pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), na figura de seus coordenadores, secretários e professores que sempre foram atenciosos em todas as ocasiões;

À Prof<sup>a</sup> Dra. Maria Isabel Vitorino pela orientação e apoio neste projeto e pela parceria científica nos últimos anos; no início na várzea, hoje no mangue;

Ao Dr. Adriano Marlison L. de Souza, pela contribuição nas atividades de campo, coleta de dados e manutenção na torre;

Ao prof. Dr. Alessandro Carioca, pelas aulas do curso de micrometeorologia e as muitas horas de conversa, ensino e discussão dos dados;

A profa. Dra. Norma Ely Beltrão, pelas contribuições para a elaboração do questionário, as discussões sobre serviços ecossistêmicos culminando na construção do artigo sobre o tema;

A profa. Dra. Joyce Ferreira, por suas contribuições no redirecionamento dos trabalhos sobre as análises sociais na área de estudo;

A todos os Professores, colegas e funcionários do PPGCA, que me proporcionaram momentos de crescimento pessoal e apoio para concluir este trabalho;

Aos colegas Nelson Castellón, Yago Souza que contribuíram na atividade de campo e aos amigos da Embrapa Carlos Dias, Barbara Oliveira, Marcelo Favacho e Leyla Leal que foram atenciosos no esclarecimento de muitas dúvidas;

Aos secretários municipais do município de Salinópolis pela disposição em responder a pesquisa e contribuições para efetivação dos objetivos de pesquisa;

Aos moradores da vila de Cuiarana, que se disponibilizaram para conversar, compartilhar seu dia a dia, a rotina de seu trabalho e de bom grado responderam ao questionário.

*Houveram ocasiões em que a única coisa que eu tinha era fé em Deus, e assim tive que dar passos na escuridão acreditando que Ele colocaria terreno sólido sob a planta de meus pés. E assim caminhei!*

## RESUMO

Esta proposta de trabalho interdisciplinar para o doutoramento em ciências ambientais, na linha de pesquisa física do clima, investigou prioritariamente os fluxos turbulentos de CO<sub>2</sub> e energia, na floresta de mangue no sítio experimental de Cuiarana, no município de Salinópolis, Pará, sob influência da variabilidade atmosférica local, durante o ano de 2015. Outrossim, estudou-se também, dentro desta perspectiva interdisciplinar a relação da comunidade local com a floresta do entorno da área de estudo. Para a coleta dos dados turbulentos, instalou-se uma torre micrometeorológica no mangue, com sensores de alta frequência que coletaram os dados das variáveis atmosféricas acima do dossel da floresta. Os dados meteorológicos foram coletados a partir da torre da UFRA, localizada a 400 m da torre do mangue. Para as investigações sociais, realizou-se um estudo de caso a partir da percepção dos tomadores de decisão, que ocupam cargos de liderança em diversas estruturas organizacionais no município de Salinópolis e na vila de Cuiarana, sobre a percepção dos serviços ecossistêmicos gerados pelo ecossistema de manguezal. Verificou-se que no manguezal de Cuiarana, no ano de 2015, sob efeito do ENOS, houve considerada redução de precipitação na região onde choveu apenas 63,7% do esperado climatológico. Quanto ao fluxo de calor sensível (H) e latente (LE) no manguezal, notou-se que os valores máximos para ambas variáveis foram registrados às 14 h, com pico de LE no período chuvoso e de H no período menos chuvoso. Na análise do fluxo sazonal do CO<sub>2</sub>, verificou-se que as maiores magnitudes de absorção ocorreram no período chuvoso, com pico de absorção às 13h com  $-13,56 \mu\text{mol.m}^2$ , enquanto que no período menos chuvoso, registrou-se pico de absorção de CO<sub>2</sub> às 13h com  $-8,95 \mu\text{mol.m}^2$ . Quanto a percepção da liderança local sobre os serviços ecossistêmicos gerados pelo manguezal, notou-se considerada valorização de tais bens e serviços pelos entrevistados, onde os serviços de uso direto como habitação, pesca e geração de trabalho e renda, são mencionados como fundamentais para o bem-estar da população ribeirinha. Percebeu-se a partir dos relatos de pescadores e marisqueiros que ocorre a transmissão de conhecimento intergerações no sentido de manter as práticas laborais tradicionais e conservação do manguezal.

Palavras chaves: Fluxo de CO<sub>2</sub>. Energia. Armazenamento de CO<sub>2</sub>. Manguezal. Serviço ecossistêmico.



## ABSTRACT

This interdisciplinary work proposal for the PhD in environmental sciences, in the field of physical climate research, investigated the turbulent flows of CO<sub>2</sub> and energy in the mangrove forest at the Cuiarana experimental site, in the city of Salinópolis, Pará, under the influence of local atmospheric variability during the year 2015. Also, within this interdisciplinary perspective, the relationship between the local community and the forest surrounding the study area was also studied. In order to collect the turbulent data, a micrometeorological tower was installed in the mangrove, with high frequency sensors that collected the data of the atmospheric variables above the forest canopy. The meteorological data was collected from the UFRA tower, located 400m from the mangrove tower. For the social investigations, a case study was carried out based on the perception of the decision-makers, who occupy leadership positions in several organizational structures in the city of Salinópolis and in the town of Cuiarana, on the perception of the ecosystem services generated by the ecosystem of mangrove. It was verified that in the Cuiarana mangrove, in the year 2015, under ENOS, there was a reduction of precipitation in the region where it rained only 63.7% of the expected climatological variable. As for the sensible (H) and latent (LE) heat flux in the mangrove, it was observed that the maximum values for both variables were recorded at 14h, with LE peak in the rainy season and H in the less rainy season. In the analysis of the seasonal CO<sub>2</sub> flow, it was verified that the highest magnitudes of absorption occurred in the rainy season, with a peak of absorption at 13h with  $-13.56 \mu\text{mol.m}^2$ , whereas in the less rainy period, absorption peak was recorded of CO<sub>2</sub> at 13h with  $-8.95 \mu\text{mol.m}^2$ . Regarding the perception of the local leadership within the ecosystem services generated by the mangrove, it was noted that the valuation of these goods and services was considered by the interviewees, where direct use services such as habitation, fishing, generation of work, and income are mentioned as fundamental factors for the well-being of the riverside population. It was noticed from accounts of the fishermen that the transmission of knowledge occurs generation to generation with the purpose of maintaining the traditional labor practices and conservation of the mangrove.

Keywords: CO<sub>2</sub> flow. Energy. CO<sub>2</sub> storage. Mangrove. Ecosystem Service.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### Figuras do Capítulo I

- Figura 1- Serviços Ecossistêmicos. ....50
- Figura 2- Valor econômico total aplicado aos serviços de ecossistema de manguezal, demonstrando os valores de uso e os valores de não uso. .... 51

### Figuras do Capítulo II

- Figura 1- Localização da área de estudo na costa nordeste do Estado do Pará, com destaque para o município de Salinópolis, onde se localiza o sítio experimental de Cuiarana. ....61
- Figura 2- Marcha diária da temperatura e umidade relativa do ar (A) e ciclo diário da temperatura e umidade do ar (B)..... 66
- Figura 3- Gráfico da climatologia de 33 anos (1978 a 2010), acompanhado do cálculo da anomalia mensal para o ano de 2015 sob influência do IOS).....68
- Figura 4- Caracterização da velocidade e direção do vento Sazonal: Período chuvoso (A) e Período menos chuvoso (B). .... 69
- Figura 5- Ciclo diurno da  $R_g$ ,  $R_n$ ,  $LE$  e  $H$ , durante os meses do período chuvoso (A) e menos chuvoso (B) para o ano de 2015..... 73
- Figura 6- Relação entre a energia disponível no sistema ( $R_n-G$ ) e a soma dos fluxos de calor sensível e calor latente ( $H + LE$ )..... 75
- Figura 7- Ciclo diurno do fluxo de carbono para os meses do período chuvoso e menos chuvoso no ano de 2015, no sítio experimental de Cuiarana, Pará. .... 78

### **Figuras do Capítulo III**

Figura 1- Análise da Sazonalidade do ciclo diário do fluxo turbulento de CO<sub>2</sub> do manguezal de Cuiarana, (A), associado a análise da climatologia e precipitação para o ano de 2015 e a salinidade do solo (B), a velocidade sazonal do vento (C) e a produção de serrapilheira (D).....95

Figura 2- Perfil vertical da concentração de CO<sub>2</sub> no manguezal, durante o dia 14 de outubro, entre os horários das 9 h às 17 h, sob influência do ciclo da maré. ....97

### **Figuras do Capítulo IV**

Figura 1- Dados percentuais sobre a percepção dos Serviços Ecossistêmicos gerados pelo manguezal de Cuiarana, a partir das respostas da liderança local. .... 115

## LISTA DE TABELAS

### Tabelas do Capítulo I

Tabela 1- Dados da vulnerabilidade social do município de Salinópolis, Estado do Pará, para o ano de 2010. ....	48
---	----

### Tabelas do Capítulo II

Tabela 1- Valores máximos e mínimos da média da radiação e energia para o período chuvoso e menos chuvoso do ano de 2015, no sítio experimental de Cuiarana, Pará. ....	71
---	----

Tabela 2- Valores médios (com erro padrão) para os horários de maior irradiância (11h–14h) para os fluxos de calor sensível (H), latente (LE), taxa líquida da irradiância solar ( $R_{net}/K_{in}$ ), $H/R_{net}$ , fração evaporativa ( $LE/R_{net}$ ), fluxo de calor no solo (G) e fechamento do balanço de energia $(H+LE)/(R_{net}-G)$ , para os períodos chuvoso e menos chuvoso de 2015 no sítio experimental de Cuiarana/PA. ....	74
--	----

Tabela 3- Média dos fluxos de energia para quatro dias do mês de abril (com maré alta/baixa) e quatro dias do mês de novembro (com maré alta/baixa) nos horários de maior irradiância (11h às 14h), como os respectivos particionamento da energia e erros padrão. ....	76
---	----

### Tabela do Capítulo III

Tabela 1- Dados do perfil vertical da concentração de CO <sub>2</sub> (ppm), com o erro padrão, em função do ciclo da maré durante o dia 14 de outubro de 2017. ....	96
--	----

### Tabelas do Capítulo IV

Tabela 1- Caracteriz. das modalidades de renda anual por chefe de família em Cuiarana. ...	112
--	-----

Tabela 2- Caracterização dos serviços ecossistêmicos do manguezal de Cuiarana, segundo a percepção da liderança local, formada por pescadores e marisqueiros (respostas ajustadas pelo autor) .....	117
---	-----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACB	Análise do Método de Custo-Benefício
BM	Brisa Marítima
BT	Brisa Terrestre
CE	Camada de Entranhamento
CLA	Camada Limite atmosférica
CLC	Camada Limite Convectiva
CLE	Camada Limite Estável
CLAT	Cama limite Atmosférica em regiões tropicais
CLN	Camada Limite Noturna
CLP	Camada Limite Planetária
CLR	Camada Limite Residual
CLS	Camada Limite Superficial
CM	Camada de Mistura
CMR	Camada de Mistura Residual
EC	Eddy Covariance
ENOS	El Niño Oscilação Sul
$F_C^{sto}$	Armazenamento de Carbono na atmosfera abaixo do plano horizontal
$F_C^{EC}$	Fluxo Turbulento líquido de CO <sub>2</sub> através de um plano horizontal acima do dossel
GPP	Gross Primary Production - (Produção Primária Bruta)
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IOS	Índice de Oscilação Sul
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAC	Método da Avaliação Contingente
M-O	Teoria da Similaridade de Monin e Obukhov
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction

NEE	Saldo da troca de CO <sub>2</sub> do ecossistema
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
R <sub>eco</sub>	Respiração do Ecossistema
SCR	Sub Camada Rugosa
SE	Serviço Ecossistêmico
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
TEEB	The Economics of Ecosystems and Biodiversity
MEA	Multilateral Environmental Agreements

## LISTA DE SÍMBOLOS

$C_p$	Calor específico do ar à pressão constante	$[\text{m}^2.\text{s}^{-2}.\text{K}^{-1}]$
$d$	Deslocamento do plano-zero	
$e$	Energia cinética turbulenta	$[\text{w}/\text{m}^2]$
$E$	Fluxo turbulento de calor latente	$[\text{w}/\text{m}^2]$
$f$	Frequência	$[\text{Hz}]$
$f_c$	Força de Coriolis	$[\text{rad}.\text{s}^{-1}]$
$g$	Aceleração da gravidade	$[\text{m}.\text{s}^{-2}]$
$k$	Constante de Von Karman	[adimensional]
$k_1$	Número de onda	$[\text{m}^{-1}]$
$k_T$	Difusividade térmica molecular do ar	
$k_w$	Difusividade molecular do vapor d'água	
$K_h$	Difusividade Turbulenta de Calor	
$K_m$	Difusividade Turbulenta de Momentum	
$L$	Comprimento de Monin e Obukhov	[m]
$n$	Frequência adimensional	
$N_\theta$	Taxa de semi-destruição da variância	
$p$	Pressão	[hPa]
$q$	Umidade relativa	$[\text{g}.\text{kg}^{-1}]$
$Q_0$	Fluxo turbulento de calor sensível	$[\text{w}/\text{m}^2]$
$R_d$	Constante do gás para o ar seco	
$R_i$	Número de Richardson	[adimensional]

$R_j$	Fluxo radiativo de calor	[W.m <sup>-2</sup> ]
$S_i$	Função de densidade espectral da componente $i$ de velocidade do vento ( $i=u,v,w$ )	
$T$	Temperatura do ar seco	[°C]
$T_v$	Temperatura virtual	[°C]
$T_*$	Escala de temperatura para a CLS	
$u$	Componente longitudinal de velocidade do vento	[m/s]
$u_*$	Velocidade de fricção	[m/s]
$v$	Componente transversal de velocidade do vento	[m/s]
$w$	Componente vertical de velocidade do vento	[m/s]
$w_*$	Escala de velocidade para a Camada de Mistura	
$z$	Altura de medida	[m]
$z_i$	Altura da camada de mistura	[m]
$z_0$	Comprimento de rugosidade	[m]
$z_*$	Altura da subcamada de transição	[m]
$\varepsilon$	Taxa de dissipação de energia cinética turbulenta	
$\phi_h$	Função adimensional do gradiente vertical de temperatura potencial	
$\phi_m$	Função adimensional do gradiente vertical de velocidade média do vento	
$\phi_i$	Função adimensional do desvio padrão da componente $i$ de velocidade do vento ( $i=u,v,w$ )	
$\mu$	Viscosidade dinâmica	
$\zeta$	Parâmetro de flutuabilidade	
$\rho$	Densidade absoluta	
$\sigma_i$	Desvio padrão da variável $i$	



$\sigma_i^2$	Variância da variável $i$	
$\tau$	Fluxo turbulento de momentum	$[\text{m}^{-2}\text{s}^{-2}]$
$\theta$	Temperatura potencial	[K]
$\theta_v$	Temperatura potencial virtual	[K]
$\theta_*$	Escala de temperatura para a camada de mistura	
$\zeta$	Parâmetro de flutuabilidade de Monin e obukov	
CO <sub>2</sub>	Gás Carbônico	
II	Teorema Pi de Buckingham	

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>19</b>
1.1 EPISTEMOLOGIA INTERDISCIPLINAR DA PESQUISA AMBIENTAL .....	20
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO ECOSISTEMA AMAZÔNICO .....	22
1.3 INFLUÊNCIA DOS FATORES ABIÓTICOS NA FENOLOGIA DOS MANGUES .....	23
1.4 FLUXOS TURBULENTOS NA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA .....	27
<b>1.4.1 Evolução da Camada Limite Atmosférica em Latitudes Médias.....</b>	<b>29</b>
<b>1.4.2 Teoria da Similaridade dentro da Camada Limite Planetária .....</b>	<b>30</b>
<b>1.4.3 Equações que Caracterizam o Escoamento Próximo ao Solo .....</b>	<b>33</b>
<b>1.4.4 Método para estimar os Fluxos Turbulentos na CLA por Eddy Covariance.....</b>	<b>42</b>
1.5 SALDO DA TROCA DE CO <sub>2</sub> ENTRE O ECOSISTEMA DE MANGUEZAL E A BAIXA TROPOSFERA - NEE .....	43
1.6 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DE MANGUEZAL .....	46
<b>1.6.1 Histórico do município de Salinópolis .....</b>	<b>46</b>
<b>1.6.2 Caracterização política, social e econômica do Município .....</b>	<b>47</b>
<b>1.6.3 Conceito de Serviço Ecossistêmico.....</b>	<b>49</b>
1.7 OBJETIVOS .....	55
<b>1.7.1 Geral.....</b>	<b>55</b>
<b>1.7.2 Específicos .....</b>	<b>55</b>
1.8 ESTRUTURA DA TESE .....	56
<b>CAPÍTULO II ANÁLISE DO BALANÇO DE ENERGIA E DO FLUXO DE CO<sub>2</sub> SOB INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS EM UM ECOSSISTEMA DE MANGUEZAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL.....</b>	<b>57</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	58
2.2 METODOLOGIA .....	59
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	66
<b>2.3.1 Análise dos dados meteorológicos para o ano de 2015.....</b>	<b>66</b>
<b>2.3.2 Estudos da Radiação global e líquida e dos fluxos de energia acompanhado do ciclo diurno para o período chuvoso e menos chuvoso.....</b>	<b>70</b>
<b>2.3.3 Estudo da Irradiância Solar incidente, dos fluxos e Balanço de energia no manguezal .....</b>	<b>73</b>
<b>2.3.4 Estudo Sazonal do efeito do ciclo da maré no Balanço de energia do manguezal .....</b>	<b>75</b>
<b>2.3.5 Estudo do ciclo diurno do Carbono .....</b>	<b>77</b>
2.4 CONCLUSÃO .....	80
2.5 REFERÊNCIAS .....	82

<b>CAPÍTULO III CARACTERIZAÇÃO DIÁRIA E SAZONAL DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA BRUTA, DA RESPIRAÇÃO E A TROCA LÍQUIDA DE CO<sub>2</sub> NUM ECOSISTEMA DE MANGUEZAL NA COSTA LESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA .....</b>	<b>85</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	86
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	89
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	92
3.3.1 Características Meteorológicas e Energéticas do manguezal .....	92
3.3.2 Sazonalidade do Fluxo de CO <sub>2</sub> e sua relação com os Fatores ambientais .....	93
3.3.3 Perfil vertical da concentração de CO <sub>2</sub> sob efeito do ciclo diurno da maré .....	96
3.4 CONCLUSÃO .....	98
3.5 REFERÊNCIAS .....	99
<b>CAPÍTULO IV CARACTERIZAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM UM MANGUEZAL AMAZÔNICO A PARTIR DA PERCEPÇÃO DA LIDERANÇA LOCAL .....</b>	<b>103</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	104
4.2 METODOLOGIA .....	106
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	109
4.4 CONCLUSÃO .....	118
4.5 REFERÊNCIAS .....	119
<b>CAPÍTULO V DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>123</b>
5.1 RESULTADOS CHAVES .....	123
5.2 PRIORIDADES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	123
5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	124
REFERÊNCIAS .....	128
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>134</b>

## CAPÍTULO I INTRODUÇÃO GERAL

Os manguezais constituem a terceira maior formação florestal da Amazônia, apresentando considerada variedade biológica e extensão geográfica (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000). A dinâmica fisiológica das populações de mangue na Amazônia, ainda é pouco compreendida no que se refere às interações solo-biosfera-atmosfera (MENEZES; BERGER; MEHLIG, 2008), portanto, a proposta desta pesquisa para o doutoramento em ciências ambientais, é compreender o papel desempenhado pelo ecossistema de manguezal na função fonte/sumidouro de CO<sub>2</sub>, na localidade do sítio experimental de Cuiarana, Salinópolis - PA, sob a influência das variabilidades atmosféricas, dos pulsos de maré e como esse carbono na forma de biomassa, retorna em serviços ecossistêmicos para a comunidade pesqueira local.

Pesquisas que visam compreender a interface biosfera – atmosfera na Amazônia tem sido implantada preferencialmente em florestas de terra firme (ARAÚJO et al. 2010), de onde vêm as principais contribuições científicas. Contudo há lacunas no entendimento das respostas que as populações vegetais características do manguezal dão às flutuações das variáveis climáticas; uma destas lacunas de compreensão é sobre a função dreno/fonte de carbono no manguezal em anos que ocorrem anomalias atmosféricas de escala global.

Este trabalho então lançou alguma compreensão teórico-científica dentro da temática física do clima e suas implicações na biosfera, buscando compreender a seguinte problematização: Como a radiação solar, o balanço de energia, a velocidade do vento, a precipitação e o efeito da maré no manguezal, influenciam nos fluxos turbulentos de CO<sub>2</sub> e energia? De igual modo, quais efeitos ambientais influenciam no armazenamento de CO<sub>2</sub> dentro da floresta e a relação deste armazenamento na troca líquida entre a biosfera e a baixa troposfera.

Da mesma forma, buscou-se compreender as relações da comunidade pesqueira da vila de Cuiarana, através de suas representações organizadas, de como ocorre o processo de reconhecimento, valorização e transmissão do conhecimento tradicional entre as gerações sobre os serviços ecossistêmicos e como estes serviços agregam recursos financeiros a comunidade pesqueira. As respostas para as questões norteadoras estabelecidas nesta tese, possibilitaram uma agregação de conhecimento, favorecendo um passo a mais nas análises das interações solo – biosfera – atmosfera dentro do contexto amazônico, visto que a extensão geográfica e a diversidade deste ecossistema e os serviços ecossistêmicos retornados para as populações nativas da costa nordeste paraense, carecem de um melhor entendimento atualizado.

## 1.1 EPISTEMOLOGIA INTERDISCIPLINAR DA PESQUISA AMBIENTAL

Os trabalhos de Creswell, (2007) e Vidal, (2006), afirmam que a elaboração do trabalho científico passa inicialmente pela estruturação geral que norteia todas as possibilidades de estudo, desde a avaliação das ideias filosóficas gerais que fundamentam a pesquisa, até a coleta de dados e os procedimentos de análise. Como passo fundamental para a estruturação da pesquisa científica, é necessário fazer “*alegações de conhecimento*”, onde essas alegações podem ser denominadas de paradigmas, suposições filosóficas, epistemologias, ontologias ou metodologia de pesquisa amplamente concebida. Em qualquer uma das escolas de pensamento apresentadas pelos autores, coube a abordagem segundo o olhar da interdisciplinaridade.

O conceito de interdisciplinaridade pressupõe a existência de disciplinas, que são as unidades burocráticas em torno da qual a educação e as pesquisas, constituem entidades estruturantes de integração e organização do conhecimento. As estruturas das disciplinas estão em permanente fluxo, onde há momentos em que surgem novas disciplinas, no espaço em que outras desaparecem ou até mesmo perdem suas dimensões pela reestruturação com outras, pela necessidade de especialidades independentes (MATTHEW; HERBERT, 2004; ØSTRENG, 2010).

Como método para a reintegração do conhecimento no campo ambiental, a interdisciplinaridade fundamenta-se na Ecologia, como ciência por excelência das inter-relações, e inspira-se no pensamento da complexidade – de uma ecologia generalizada – dentro de uma visão objetivista da ciência. Assim, o projeto interdisciplinar conserva a proposta teórica de unificar as ciências pela via da articulação de diversos campos do conhecimento, sem olhar para os obstáculos epistemológicos e para os interesses disciplinares que resistem e impedem tal via de completude (LEFF, 2012; URTEGA, 2010).

Leff (2012), afirma que não se compreende a interdisciplinaridade do ponto de vista ambiental como a articulação das ciências existentes, tendo a colaboração de especialistas portadores de diferentes disciplinas que buscam a integração de recortes selecionados da realidade, para um estudo dos sistemas socioambientais complexos. Portanto a conexão das ciências não leva a incorporar uma “dimensão ambiental” dentro de um sistema de paradigmas estabelecidos, mas espera-se que haja um processo de reconstrução social mediante uma revalorização dos saberes, especialmente os “não científicos”.

O ambiente, como centro de articulação de ordens ontológicas e epistemológicas diferenciadas, questiona algumas ciências que trazem para si um enfoque de “ciência das ciências”, num pensamento holístico integrador da realidade fragmentada e dos diferentes

processos que a constituem, mas que desconhece a diferença entre o real e o simbólico, entre a ordem do desejo e as estratégias do poder no saber. A epistemologia ambiental não é a ecologização do pensamento: porque o desejo e o poder não seguem uma lei ecológica; o ser humano, como ser simbólico, afasta-se de todas as normas de comportamento que relacionam os seres vivos com seu ambiente; pois não podemos fugir à natureza humana – ao nosso ser simbólico, à nossa condição de existência (LEFF, 2012; ØSTRENG, 2010; VIDAL, 2012).

Nas pesquisas da filósofa portuguesa Pombo (2008), há a afirmação que não há nada de absoluto sobre as fronteiras disciplinares. Elas não foram estabelecidas por consenso intelectual entre representantes de disciplinas adjacentes, e simplesmente não há um critério único que determina a definição de tais fronteiras. Assim, as delimitações são, em certa medida, arbitrárias, indescritível, constantemente disputadas e artificial.

Estudos de Bruun, Hukkinen e Huutoniemi (2005), mostraram que ao se cruzar as fronteiras científicas por meio das disciplinas, considerando que, tais disciplinas constituem um "conjunto de especialidades", em que é difícil identificar um núcleo puro que é independente de outras disciplinas, os estudos disciplinares são, segundo esses autores, sistemas conectados horizontalmente por meio das respectivas especialidades. Isso quer dizer que as especialidades disciplinares, que fornecem a profundidade com a pesquisa, são a espinha dorsal da interdisciplinaridade, que fornece amplitude para a pesquisa.

A busca da categorização das teorias baseia-se em identificar um denominador comum, onde o sistema, é uma característica de ambos os mundos – a citar, o social e o natural. Partindo-se da concepção do holismo, onde o todo é mais do que a soma de suas partes, portanto na teoria da redução dos sistemas complexos em seus componentes individuais pelo método do reducionismo, este método se constitui numa primeira aproximação da verdade, e embora possa possibilitar muitas inspirações úteis, cabe ao pesquisador colocar cada componente do todo junto novamente pela concepção do holismo (ØSTRENG, 2010; TRINDADE, 2008; URTEGA, 2010; VIDAL, 2006).

Dentro das perspectivas teóricas apresentadas, esta tese foi estruturada em três grandes eixos descritos nos capítulos chaves - II, III e IV, tendo como tema central o Estudo dos fluxos turbulentos, o saldo da troca de CO<sub>2</sub> entre o ecossistema e a baixa atmosfera e os serviços ecossistêmicos de manguezal reconhecidos e valorizados pela comunidade pesqueira, respectivamente.

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO ECOSISTEMA AMAZÔNICO

A Amazônia é a maior floresta tropical úmida da terra com uma área total de aproximadamente 7 milhões de Km<sup>2</sup>, o que representa cerca de 56% das florestas tropicais do planeta. A floresta abriga a bacia do rio Amazonas que corresponde a 20% do total de água doce do mundo. A região está posicionada nos trópicos, onde as trocas de energia entre a superfície continental e a atmosfera são bastante intensas (CORREIA; ALVALÁ; MANZI, 2006; MARENGO, 2007).

O papel da floresta na manutenção do equilíbrio dinâmico entre o clima e a vegetação é vital na estocagem e sequestro de carbono, assim como na reciclagem do vapor d'água. Como regulador climático em escala global, existe a hipótese de que a floresta amazônica seja um importante regulador dos balanços energéticos e hídricos; conseqüentemente, a floresta pode exercer influência sobre a circulação atmosférica e a precipitação (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998).

Sobre as florestas inundáveis da região, estas ocupam cerca de 300.000 km<sup>2</sup>, o que representa cerca de 5 a 10% da bacia Amazônica e 6% da superfície da Amazônia Legal. Tais florestas estão divididas em cinco ecossistemas: os manguezais, a várzea de maré, os pântanos ou tabocais, os igapós e as várzeas. No estado Pará, a planície de inundação representa aproximadamente 2,7% do território estadual (ALONGI, 2002; GAMA, 2005; JUNK et al., 1993; MENEZES; BERGER; MEHLIG, 2008; PASCOALINI et al., 2014; SALOMÃO, 2007).

Os manguezais são ambientes costeiros, de transição entre os ecossistemas terrestre e marinho, caracterizado por inundações periódicas pela água do mar, com variações de salinidade, escassez de oxigênio e solos instáveis e lodosos. Ocorre em regiões de estuários, nas margens de baías, lagunas e enseadas protegidos contra a ação das ondas, que poderiam impedir a fixação e o desenvolvimento adequado das plântulas, considerando-se a mobilidade do substrato onde o manguezal se instala (ANGULO, 1990; PORTILLO; LONDE; MOREIRA, 2017; SOUZA FILHO, 2005).

O ecossistema de manguezal desempenha função primordial na produção de biomassa, onde esta é convertida em nutrientes ou matéria orgânica, também, é considerado um dos ecossistemas mais produtivos do mundo, por apresentar importante papel ecológico, funcionando como berçário natural para várias espécies de moluscos, crustáceos e peixes de interesse econômico (BERGER et al., 2008; MENEZES; BERGER; MEHLIG, 2008).

No Brasil, os manguezais localizam-se desde o extremo norte no estado do Amapá até o estado de Santa Catarina, ocupando uma área de 25.000 Km<sup>2</sup>. A composição florística é caracterizada pela presença de espécies pertencentes apenas a quatro gêneros de plantas lenhosas: *Rhizophora*, *Avicennia*, *Laguncularia* e *Conocarpus*, às quais se associam a espécies herbáceas, epífitas, hemiparasitas e aquáticas típicas (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000; SOUZA FILHO, 2005; KAMPEL; AMARAL; SOARES, 2005; LOVELOCK; FELLER, 2003).

As plantas de manguezais são bons exemplos de espécies tolerantes a solos permanentemente hidromórficos. Tais plantas dos citados gêneros, caracterizam-se pela habilidade de crescer em solos salinos, anóxicos e onde as condições climáticas fornecem uma combinação de altas temperaturas e radiação solar (DE LIMA; GALVANI, 2013; MENEZES; BERGER; MEHLIG, 2008; PEREIRA; RODRIGUES, 2013).

Atividades antrópicas como uso-ocupação das regiões costeiras, desmatamento, expansão urbana e industrial, contaminação por hidrocarbonetos e metais pesados, são os principais impactos que comprometem a integridade destes biomas. As alterações ocorridas nos manguezais podem incluir mudanças em sua estrutura e composição, bem como no seu recrutamento (KRUG; LEÃO; AMARAL, 2007; LANA, 2004).

### 1.3 INFLUÊNCIA DOS FATORES ABIÓTICOS NA FENOLOGIA DOS MANGUES

Os fatores abióticos, representados pelas variáveis meteorológicas, radiação solar, precipitação, temperatura e umidade do ar, salinidade, direção e velocidade do vento e o pulso da maré, constituem os principais elementos que têm relação com a floresta de mangue. Tais variáveis são os elementos, assim como as características do solo, que influenciam de forma significativa na dinâmica fenológica das florestas em áreas costeiras.

#### a) Radiação Solar

A radiação global é a fonte essencial e direta de energia para o desenvolvimento de todos os vegetais, desempenhando importante papel no funcionamento, na estrutura e na sobrevivência de qualquer ecossistema florestal. A distribuição das espécies vegetais e a eficiência fotossintética que as plantas desempenham em uma comunidade florestal, está diretamente relacionada pelas diferenças na disponibilidade de radiação e arquitetura do dossel,



que condiciona direta e indiretamente os processos de crescimento e estabelecimento dos bosques (BARR, 2013; MACIEL et al., 2002; RESSEL et al., 2004).

Os principais fatores que afetam o regime de luz no interior de uma floresta são o ângulo zenital do sol, as condições atmosféricas e a estrutura da vegetação. A complexa interação desses fatores produz um padrão heterogêneo de microclima luminoso que influencia o caráter dinâmico da vegetação. A grande parte da radiação que atinge a camada mais baixa da floresta sob a forma de radiação difusa, penetra através de espaços no dossel - os sunflecks, os quais são importante fonte de iluminação para o sub-bosque (MACIEL et al., 2002).

Estudos de Querino et al., (2011), sobre o índice de transmissividade da radiação global ( $R_g$ ) no manguezal no estado de Alagoas, verificaram uma grande variação sazonal sobre os valores máximos alcançados pela  $R_g$ , devido às variações das condições de transmissividade atmosférica. Estes autores verificaram uma redução de até 66% na  $R_g$  entre os períodos seco e chuvoso, onde até 35% da radiação incidente no dossel, atingiu a superfície interna do mangue, e que esse valor teve redução para 15% no período chuvoso.

#### b) Precipitação

O nordeste do estado do Pará, apresenta máximos pluviométricos no primeiro semestre do ano, com registros de chuva superior a 2000 mm/ano. O sistema de tempo mais importante na Amazônia que contribui para esta elevada precipitação é posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), seguido de outro processo importante para a precipitação que é o aquecimento radiativo diferencial da superfície (terra-mar). A atividade convectiva local também contribui para o desenvolvimento das linhas de instabilidades (LI) e dos Complexos Convectivos de mesoescala (CCM) tropicais, que causam intensa precipitação (COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1995; DE SOUZA; KAYANO; AMBRIZZI, 2004; KOUSKY, 1980; REBOITA et al., 2010).

Devido a região compreender uma grande zona litorânea, nota-se a atuação de brisa marítima (BM), onde este sistema transporta considerada quantidade de umidade para o interior do continente contribuindo para a precipitação. A convecção induzida pela BM e a interação dos alísios com a circulação de brisa geram linhas de instabilidade tropical que adentram o continente (MARENGO; NOBRE, 2009; REBOITA et al., 2010; SILVA DIAS, 1987).

Observações de mesoescala, demonstraram que as LI contribuem com 45% da precipitação durante o período chuvoso no leste do Pará. Este volume precipitante sobre a floresta é fundamental para a manutenção das atividades fisiológicas mais fundamentais, como a fotossíntese, a germinação e consequente emergência de plântulas (COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1989; LARCHER, 2000; NUNES, 2008; PEREIRA et al., 2008).

### c) Temperatura e Umidade do ar

Nos vegetais, a ação da temperatura do ar está diretamente relacionada às atividades fotossintéticas e respiratórias. As reações fisiológicas vegetais são realizadas por enzimas, como a RUBISCO, que aceleram a obtenção de subprodutos e produtos orgânicos. Tais enzimas atuam numa determinada faixa ótima de temperatura para cumprirem sua função biológica. A perda da atividade de algumas destas enzimas, está associada à intolerância das plantas ao calor (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009).

Estudos de Salvucci e Crafts-Brandner (2004), mostraram que quando a temperatura do ar se eleva acima de níveis ótimos, a fotossíntese começa a decrescer gradual e reversivelmente, no início, e paulatina e irreversivelmente, a partir de certa temperatura crítica. A inativação reversível da fotossíntese é um reflexo de danos nas reações dos cloroplastos, o qual persiste por algum tempo após o retorno às condições de temperaturas favoráveis.

Estudos com plântulas de mangue, expostas à luz solar plena e considerada salinidade, pode levar a queda do potencial hídrico das folhas, ocasionada por alta demanda evaporativa provocada pela elevada incidência de radiação, este fato é responsável pelo aumento da temperatura foliar e pela restrição estomática à transpiração que, eventualmente, intensifica os efeitos da fotoinibição (KRAUSS et al., 2008).

As temperaturas consideradas moderadamente altas, entre 35°C a 42°C podem causar danos diretos ao aparato fotossintético, por provocar mudanças na membrana dos tilacóides dos cloroplastos, alterando as propriedades físico-químicas e também, a organização funcional dessas estruturas celulares. Em elevadas temperaturas, a taxa máxima de assimilação de carbono pode ser inibida por diminuir a condutância estomática, além disso, altas temperaturas podem produzir um aumento na respiração mitocondrial e da fotorrespiração (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009; SALVUCCI; CRAFTS-BRANDNER, 2004).

Quanto a umidade do ar, estudos de Correia, Alvalá e Manzi (2006), sobre o balanço anual de umidade sobre a região norte, demonstram que a Amazônia é uma grande importadora de vapor de água, especialmente do oceano Atlântico. O transporte de vapor do oceano contribui

com aproximadamente 3/4 da umidade que circula anualmente na região. O outro componente é resultado do processo de evapotranspiração da floresta, onde as chuvas anuais são de aproximadamente duas vezes a evapotranspiração total. Isso significa que a Amazônia exporta, uma quantidade anual de umidade que é de aproximadamente duas vezes o total da precipitação regional ou, ainda, quatro vezes a sua evapotranspiração (CORREIA et al., 2006).

#### d) Salinidade e influência da maré

As características fisionômicas e estruturais da floresta de mangue são determinadas pela localização biogeográfica, pela geomorfologia, a influência da salinidade e dos pulsos de maré. Tais fatores associados a influência do clima da região, aos fatores edáficos e a interação com os fatores bióticos, como a atividade dos predadores, determinam a capacidade adaptativa das populações vegetais neste ambiente (BARR et al., 2013; DE LIMA; GALVANI, 2013; KRAUSE et al., 2001; SILVA JUNIOR et al., 2006).

Estudos sobre a estrutura de mangue no nordeste do estado do Pará, constataram que a distribuição dos gêneros predominantes como a *Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*, estão diretamente influenciados por fatores abióticos como a salinidade, inundação periódica e a dinâmica costeira da região, onde a espécie *Laguncularia racemosa* geralmente aparece nas bordas e canais de clareiras, sendo a espécie pioneira na recolonização de clareiras de manguezais, seja por distúrbios naturais ou antrópicos (MEHLIG, 2006; MENEZES; BERGER; MEHLIG, 2008).

Trabalhos de Abreu et al., (2006), Hogarth (2007), Menezes, Berger e Mehlig, (2008), destacam que a distribuição da *Rhizophora mangle* e a *Avicennia germinans*, estão mais condicionadas aos fatores de salinidade e substrato, ressaltando que a *R. mangle* é encontrada em zonas lodosas e de água salobra, enquanto que a *A. germinans* ocupa ambientes hipersalinos, pouco inundados e menos lodosos.

#### e) Efeito do vento

Observações sobre a direção e velocidade do vento na costa nordeste do Estado do Pará, demonstraram que a circulação de brisa apresenta um máximo de nordeste, com velocidade média de 1,51 m/s entre 11h e 16h, caracterizando a ocorrência da brisa marítima (BM) na mesma direção dos ventos alísios, onde a BM é mais frequente durante o período de 9 h às 18 h local. Observou-se também que a brisa terrestre (BT) ocorre na direção do vento de Sudeste/Sul, sendo a hora mais frequente da circulação entre às 00 h e 6 h local. Portanto, a

circulação da BT é menos intensa quando comparada a BM, uma vez que se opõe à direção do fluxo médio (GERMANO et al., 2017).

Constatou-se que a velocidade do vento horizontal aumenta durante o dia, com a ocorrência da turbulência térmica associado a BM, e também por este escoamento se localizar no mesmo quadrante do fluxo médio dos ventos alísios. O aumento da velocidade do vento horizontal, a partir de  $1\text{m/s}^{-1}$ , tem um efeito fisiológico fundamental, pois remove a parcela de ar saturada, diminuindo a concentração de  $\text{CO}_2$  sobre o dossel (RODRIGES et al., 2011; SILVA JUNIOR et al., 2006).

#### 1.4 FLUXOS TURBULENTOS NA CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA

Estudos micrometeorológicos tratam das investigações dos fenômenos que se desenvolvem na baixa troposfera numa escala espaço-temporal da ordem de alguns minutos e alguns metros de distância. Assim, um dos principais conceitos a se considerar é o de Camada Limite Atmosférica (CLA) ou Camada limite Planetária (CLP), definida como a porção inferior da troposfera diretamente influenciada pela superfície terrestre e que responde as suas forçantes em uma escala temporal inferior a uma hora. Fatores como a taxa de aquecimento ou resfriamento da superfície, a intensidade dos ventos, a rugosidade e as características topográficas da superfície, dentre outros, determinam a espessura da CLA sobre o continente (ARYA, 2001; STULL, 1988).

A região inferior da CLA, onde a extensão vertical pode variar de poucos centímetros até dezenas de metros e os fluxos verticais turbulentos variam menos de 10% de sua magnitude com a altura, é chamada Camada Limite Superficial (CLS). Devido o contato direto com a superfície, a CLS responde mais rapidamente as suas variações, logo as propriedades médias do escoamento na CLA, como velocidade do vento, temperatura e umidade, experimentam gradientes mais intensos na CLS (ARYA, 2001).

Estudos de campo realizados em superfícies com considerável heterogeneidade, onde os elementos de rugosidade são proeminentes, a parte mais baixa da CLS recebe a denominação de subcamada rugosa (SCR). Nesta camada a influência dos elementos individuais da rugosidade podem ser observadas, porém há dificuldades consideráveis, particularmente acima das florestas, para a obtenção de relações de similaridade com validade universal (RAUPACH; FINNIGAN; BRUNET, 1996; THOM et al., 1975).

Neste tópico, será apresentado os principais conceitos que descrevem a evolução da CLA continental dentro de um ciclo diurno, onde os principais elementos são: Camada de Mistura (CM), também denominada de Camada Limite Convectiva, Camada Limite Noturna (CLN) ou Camada Limite Estável e Camada Limite Residual (CLR). A definição de CLS e Subcamada Rugosa foram apresentadas anteriormente. Contudo o início dessas considerações será introduzido com uma breve abordagem sobre o saldo de radiação e balanço de energia na superfície.

Ao amanhecer em uma região, em que há condições para que a energia radiante chegue a superfície terrestre, esta superfície começa a se aquecer e transferir calor a camada de ar adjacente, ocorrendo o desenvolvimento da camada convectiva, que se desenvolve pela manhã atingindo alturas de 1 a 2 km no meio da tarde. A CLS assume suas características diurnas típicas, e como consequência a intensa mistura turbulenta, de origens térmica (convecção térmica) e mecânica (cisalhamento do vento), desenvolve-se, acima desta CLS, uma Camada de Mistura (CM) na qual a velocidade e direção do vento, e temperatura potencial são praticamente constantes com a altura (KAIMAL; FINNIGAN, 1994).

A CM é considerada a região da atmosfera mais diretamente afetada pelo aquecimento da superfície, com forte variação diurna. Sua altura,  $z_i$  é definida como a altura da primeira inversão do perfil de temperatura potencial e pode alcançar até 2 km em latitudes médias. Nessa camada, os movimentos convectivos de grande escala são dirigidos pelas forças de flutuabilidade, e, as escalas propostas pela Teoria da Similaridade de M-O não são válidas, pois o termo de produção mecânica é desprezível nesta região.

Na região compreendida entre a CM e a atmosfera livre, ocorre uma região de transição, caracterizada por gradientes verticais das propriedades médias bastante intensos, onde destaca-se a acentuada inversão de temperatura. Esta região é denominada Camada de Entranhamento (CE), pois é aí que se dá o entranhamento de ar proveniente da atmosfera livre na CM. No final da tarde, antes do pôr do sol, tem início o resfriamento radiativo da superfície.

Com o pôr do sol, a turbulência perde sua fonte de energia térmica e sua intensidade passa a decair devido à dissipação molecular. A camada de entranhamento, apresenta-se enfraquecida dando lugar a uma ou mais camadas de inversão abaixo dela. O ar imediatamente acima da superfície resfria-se e vai sendo progressivamente misturado na direção vertical devido à ação da turbulência gerada pelo cisalhamento do vento.

O resfriamento radiativo da superfície tem como consequência uma progressiva estabilização da atmosfera. A partir desta inversão térmica de superfície, tem início o desenvolvimento e propagação vertical que pode atingir alturas de 100 a 200 metros próximo à meia-noite. Esta região de inversão é ocupada por um escoamento turbulento denominado CLA estável ou noturna, merecendo ser destacada, em sua porção inferior, a presença de uma CLS estável, onde o escoamento mostra-se mais sensível aos efeitos da superfície.

Pesquisas de Kaimal e Finnigan, (1994), caracterizaram esse escoamento na CLA noturna por forte cisalhamento do vento, pequenos turbilhões e ocasional atividade de ondas. A região da atmosfera originalmente ocupada pela CM no período convectivo dá origem, durante a noite, a uma camada de estabilidade neutra chamada Camada de Mistura Residual (CMR). Essa camada não faz parte da CLA estável, pois não se trata de uma região turbulenta da atmosfera, porém, devido as suas características, ela participa ativamente da evolução da CLA, tanto no regime estável como no convectivo.

#### **1.4.1 Evolução da Camada Limite Atmosférica em Latitudes Médias**

Estudos de Garstang e Fitzjarrald, (1999) e Strong et al., (2005), afirmam que as características da atmosfera sobre a Amazônia estão sob influência de características como, a circulação de grande escala, a proximidade do oceano Atlântico, a presença de grandes rios ao longo de toda a bacia, além de regiões montanhosas. Tais fatores criam variabilidades espaciais e temporais específicas sobre a região. Portanto a CLAT merece atenção especial, principalmente, por causa de suas características particulares na estação úmida.

A estrutura espacial e temporal da CLA depende em parte das características radiativas, térmicas e aerodinâmicas da superfície, assim como da evolução da atmosfera livre. Na ausência de perturbações de escala sinótica, a estrutura da CLA sobre regiões continentais apresenta um ciclo diurno associado ao ciclo diurno de aquecimento e resfriamento da superfície.

Trabalhos de Garstang e Fitzjarrald (1999), estudando o desenvolvimento da CLA em regiões tropicais (CLAT), introduziram uma discussão que é fundamental levar em conta devido as profundas diferenças entre a CLA em latitudes médias e a camada CLAT, particularmente na estação úmida. Segundo esses autores a introdução do conceito de “atmosfera perturbada”, se deve a processos associados à grande concentração de umidade na atmosfera tropical e a

formação de nuvens convectivas, que são qualitativamente diferentes daquelas da CLA de latitudes médias, e da “atmosfera não-perturbada”.

A CLA da Amazônia possui características diferentes das regiões de latitudes médias, ou seja, a CLAT pode apresentar um “estado perturbado”, resultante principalmente da grande concentração de vapor d’água existente na região. Essa grande concentração de vapor d’água e a intensa quantidade de energia que a região recebe, favorecem a forte atividade convectiva. (GARSTANG; FITZJARRALD, 1999).

Fisch et al., (2004), demonstram que o fluxo de calor sensível na CLAT, aumenta consideravelmente a atividade convectiva na CLAT e o seu papel é muito importante na definição da profundidade da CM na Amazônia. Molion (1987), cita que o fluxo de calor latente tem uma considerável relevância no aquecimento da atmosfera, devido ao processo de liberação de calor na média troposfera, quando da condensação do vapor d’água. Estudos deste autor em Manaus mostraram que 48% da precipitação retorna para a atmosfera através da evapotranspiração.

Pesquisas observacionais e de modelagem realizadas na Amazônia, objetivando compreender os processos que ocorrem na CLAT, tem apontado para cenários preocupantes, onde, de modo geral, a substituição em larga escala de floresta por pastagem, e consequente savanização destas áreas, tem efeitos relevantes na alteração do clima regional e global (CORREIA et al., 2006; VALE; ALVES; LORINI, 2009; ZERI et al., 2014).

Portanto, as atividades antropogênicas têm promovido modificações ambientais consideráveis na perda de bancos genéticos, na diminuição dos serviços ambientais florestais, como no sequestro de carbono, no ciclo hidrológico e no balanço de energia na superfície. Verifica-se então que, a substituição da floresta do bioma Amazônia por modelos alternativos, modifica as interações estabelecidas entre o complexo solo-planta-atmosfera (BECERRA; SHIMABUKURO; ALVALÁ, 2009; FEARNSSIDE, 2004, 2006).

#### **1.4.2 Teoria da Similaridade dentro da Camada Limite Planetária**

A Teoria da Similaridade proposta por A. S. Monin e A. M. Obukhov, simplificada denominada por Monin-Obukhov (M-O) é uma das mais bem-sucedidas tentativas de exprimir os fenômenos que ocorrem na CLS através de leis universais propostas por Monin e Yaglom (1971). As hipóteses de similaridade assumem que o escoamento é horizontalmente

homogêneo, quase-estacionário e os fluxos turbulentos de momentum e calor são constantes, independentes da altura. Na procura de um parâmetro de comprimento que permita adimensionalizar as grandezas da CLS, M-O recorreram à análise dimensional e definiram um comprimento  $L$  determinado através dos parâmetros fisicamente relevantes, tais como  $u_*$ , e  $z$  (FOKEN, 2006).

Na hipótese de similaridade de M-O, as variáveis independentes envolvem três dimensões fundamentais, que são – o comprimento, o tempo e a temperatura. De acordo com o Teorema Pi de Buckingham (II), pode-se formular somente uma combinação adimensional independente delas. A combinação tradicionalmente escolhida na Teoria da Similaridade de M-O é a do parâmetro de flutuabilidade representado pela equação 1:

$$\zeta = \frac{z}{L} \quad \text{eq. 1}$$

Onde:

$$L = - \frac{u_*^3}{k \frac{g}{\theta_v} \frac{Q_0}{\rho c_p}} \quad \text{eq. 2}$$

e  $L$  é conhecido como escala de comprimento de M-O e  $k$  é a constante de von Karman (ARYA, 2001).

A escala de comprimento de M-O possui a grande vantagem de não variar com a altura na CLS. Fisicamente, o parâmetro  $L$  fornece informações sobre até que altura os mecanismos de geração mecânica de turbulência desempenham um papel importante, comparativamente aos térmicos. Assim, quando ocorrer  $z > |L|$ , assume-se fundamentalmente, que a convecção está sendo mantida termicamente. Quando ocorrer  $z < |L|$ , a convecção está sendo mantida também por processos mecânicos.

A Teoria de Similaridade de M-O auxilia o entendimento dos principais processos físicos associados ao escoamento na CLS. De acordo com essa teoria, todas as grandezas físicas e seus respectivos momentos estatísticos poderiam ser expressas adimensionalmente em termos de funções universais de  $z$ , daí resultando em uma série de equações adimensionais de validade geral na CLS. Dentre estas, é importante mencionar as seguintes:



a) a do gradiente vertical de velocidade média do vento:

$$\phi_m(\zeta) = \frac{kz}{u_*} \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) \quad \text{eq. 3}$$

b) a do gradiente vertical de temperatura potencial virtual:

$$\phi_h(\zeta) = \frac{kz}{T_*} \left( \frac{\partial \bar{\theta}_v}{\partial z} \right) \quad \text{eq. 4}$$

Logo, as funções  $\phi_m(\zeta)$  e  $\phi_h(\zeta)$ , são universais que relacionam os fluxos constantes da CLS aos gradientes médios. Considerando as equações do movimento e do fluxo térmico para a CLA, representadas nas equações  $K_m = \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = u_*^2$  e  $k_h \frac{\partial \bar{\theta}_v}{\partial z} = \frac{Q_0}{\rho c_p}$  respectivamente, pode-se determinar os coeficientes de difusividade turbulenta para momentum e calor sensível, respectivamente:

$$K_m = \frac{ku_*z}{\phi_m(\zeta)} \quad \text{eq. 5}$$

$$K_h = \frac{ku_*z}{\phi_h(\zeta)} \quad \text{eq. 6}$$

Uma vez que as funções  $\phi_m(\zeta)$  e  $\phi_h(\zeta)$  sejam conhecidas, a relação entre  $R_i$  e o parâmetro de estabilidade  $\zeta$  é estabelecida:

$$R_i = \zeta \frac{\phi_h(\zeta)}{\phi_m^2(\zeta)} \quad \text{eq. 7}$$

Estritamente falando,  $K_m$  e  $K_h$  não são considerados iguais, mas sob condições próximas da neutralidade a diferença entre eles é muito pequena (BUSINGER et al., 1971), logo:

$$K_m \approx K_h \implies \phi_m \approx \phi_h$$

A teoria da Similaridade universal permite descrever a variação de grandezas turbulentas médias adimensionais da CLS com a altura, por meio de funções universais de  $\zeta$ . Ela leva em consideração apenas forçantes do contorno inferior da atmosfera e admite que os processos físicos que ocorrem no topo da CLA (na região de entranhamento) não interferem diretamente nas parametrizações da turbulência na CLS. Muitos dados atmosféricos mostraram-se condizentes com essa teoria.

Todavia, acima de superfícies extremamente rugosas, próximo a coberturas vegetais, dentro da chamada subcamada de transição, a Teoria da Similaridade tem sido questionada. Assim, salvo exceções, a Teoria da Similaridade de M-O fornece uma base adequada para uma melhor compreensão das relações fluxo-perfil na CLS, em diferentes condições de estabilidade (GARRATT, 1980; GARRATT et al., 1996; KAIMAL; WYNGAARD, 1990; MONIN; YAGLOM, 1971; RAUPACH; FINNIGAN; BRUNET, 1996).

### 1.4.3 Equações que Caracterizam o Escoamento Próximo ao Solo

Garratt (1992), descreve o tratamento matemático do escoamento do ar baseado nas leis fundamentais de conservação de massa, momentum e energia, além da lei dos gases, e cujas equações governantes são respectivamente:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j} = 0 \quad \text{eq. 8}$$

$$\frac{du_i}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} - \delta_{13} g - f_c \varepsilon_{ij3} u_j + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} = 0 \quad \text{eq. 9}$$

$$\frac{d(c_p \theta)}{dt} = k_T \frac{\partial^2 (c_p \theta)}{\partial x_j^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial R_j}{\partial x_j} \quad \text{eq. 10}$$

$$\frac{dq}{dt} = k_w \frac{\partial^2 q}{\partial x_j^2} \quad \text{eq. 11}$$

$$p = \rho R_d T_v \quad \text{eq. 12}$$

Onde  $\rho$  é a densidade absoluta do ar,  $q$  é a umidade específica do ar,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $u_i$  é a componente da velocidade do vento na direção  $i$ ,  $\theta$  é a temperatura potencial,  $p$  é a pressão,  $T_v$  é a temperatura virtual,  $f_c$  é a força de Coriolis,  $\nu$  é a viscosidade cinemática do ar,  $K_t$  é difusividade térmica molecular do ar,  $K_w$  é a difusividade molecular do vapor d'água,  $C_p$  é o calor específico a pressão constante do ar,  $R_j$  é o fluxo radiativo de calor e  $R_d$  é a constante do gás para o ar seco.

Pesquisas de Garratt (1992), Mahrt (1986) e Stull (1988), sobre os escoamentos na camada limite planetária, admitindo-se a existência de falha espectral, as variáveis das equações governantes, podem ser decompostas em parte média e parte perturbada  $\mathbf{s} = \bar{\mathbf{s}} + \mathbf{s}'$ , o que juntamente com algumas regras de eliminação constitui a chamada **decomposição de Reynolds**. As médias representam os aspectos determinísticos do escoamento, enquanto que as flutuações representam o efeito da turbulência que se sobrepõem às grandezas médias. Após a decomposição, aplicam-se às equações governantes a média de Reynolds e as seguintes aproximações de Boussinesq, onde:

a) A viscosidade dinâmica ( $\mu = \rho\nu$ ) e a condutividade térmica molecular  $K_t$  são constantes por toda CLA, onde as propriedades moleculares associadas com a pressão e a temperatura podem ser desprezadas;

b) O calor gerado pela tensão de viscosidade é desprezado na equação termodinâmica;

c) O escoamento é tratado como incompressível, salvo em situações previstas pela aproximação de Boussinesq (MAHRT, 1986; STULL, 1988);

d) Flutuações em propriedades do fluido são muito menores que as quantidades de referência ou médias  $\left(\frac{p'}{p_0}, \frac{T'}{T_0}, \frac{\rho'}{\rho_0} \ll 1\right)$  assim, pode-se desprezar as flutuações da pressão estática na lei do gás ideal;

e) Flutuações na temperatura, que estão associadas às flutuações de densidade, tornam-se importantes somente quando ocorrem em associação com a aceleração da gravidade.

Aplicando o conjunto de aproximações às equações governantes, tem-se que as equações médias do movimento, temperatura potencial virtual e umidade específica em uma CLA horizontalmente homogênea é dada por:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + f_c \varepsilon_{ij3} \bar{u}_j - \frac{\partial (\overline{u'_i w'})}{\partial z} \quad \text{eq. 13}$$

$$\frac{\partial \bar{\theta}_v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho c_p} \frac{\partial \bar{R}_N}{\partial z} - \frac{\partial (\overline{w' \theta'_v})}{\partial z} \quad \text{eq. 14}$$

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = -\frac{\partial (\overline{w' q'})}{\partial z} \quad \text{eq. 15}$$

Onde por análise de escalas pode-se mostrar que na CLS as forças turbulentas dominam as forças do gradiente de pressão e de Coriolis. Considerando o escoamento ao longo do eixo x (representando a direção do vento médio) e estacionário a equação 16, torna-se:

$$-\frac{\partial (\overline{u' w'})}{\partial z} = 0 \quad \text{eq. 16}$$

Em analogia com a difusão molecular, a teoria da difusão turbulenta na CLS permite, sob certas condições, expressar os fluxos de momentum ( $\overline{u' w'}$ ), calor sensível ( $\overline{w' \theta'_v}$ ) e calor latente ( $\overline{w' q'}$ ) em termos de gradientes na direção vertical (GARRATT,1992):

$$\overline{u' w'} = -K_m \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad \text{eq. 17}$$

$$\overline{w' \theta'_v} = -K_h \frac{\partial \bar{\theta}_v}{\partial z} \quad \text{eq. 18}$$

$$\overline{w' q'} = -K_w \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} \quad \text{eq. 19}$$

Onde  $K_m$ ,  $K_h$  e  $K_w$  são os coeficientes de difusividade turbulenta para momentum, calor sensível e calor latente, respectivamente. Substituindo a relação, representada pelas equações 17, 18 e 19 na equação (16):

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( K_m \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) = 0 \quad \text{eq. 20}$$

Integrando em  $z$ , da superfície ( $z = 0$ ) até uma altura arbitrária dentro da CLS ( $z = h$ ), e utilizando a definição de velocidade de fricção (escala de velocidade turbulenta para a CLS):

$$u_* = \left( \frac{\tau}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{eq. 21}$$

onde  $\tau = -\rho \cdot \overline{u'w'}$  é a tensão de Reynolds (ou fluxo turbulento de momentum), temos:

$$K_m \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = u_*^2 \quad \text{eq. 22}$$

que é a equação do movimento para CLS.

Similarmente, as equações do fluxo de calor sensível e do fluxo de calor latente para CLS podem ser expressas por:

$$K_h \frac{\partial \bar{\theta}_v}{\partial z} = - \frac{Q_0}{\rho c_p} \quad \text{eq. 23}$$

$$K_w \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} = - \frac{E}{\rho c} \quad \text{eq. 24}$$

Onde  $Q_0$  é o fluxo turbulento de calor sensível e  $E$  é o fluxo turbulento de calor latente, ambos à superfície. Devido à analogia entre as flutuações de temperatura e de umidade na CLS, não serão expressas posteriormente as relações para umidade (HILL, 1989; LIU et al., 1998).

Utilizando-se a equação (9) e aplicando-se as regras de Reynolds na decomposição da velocidade do vento, pode-se definir a energia cinética turbulenta média por unidade de massa:

$$\bar{e} = \frac{1}{2} \overline{(u_i')^2} \quad \text{eq. 25}$$

Esta é uma das mais importantes variáveis micrometeorológicas pois, fornece a intensidade da turbulência atmosférica e está diretamente relacionada aos transportes turbulentos na CLS. A equação do balanço da energia cinética turbulenta exprime as relações que existem entre a produção, o transporte e a dissipação desta grandeza, caracterizando a estrutura da turbulência atmosférica através de um “fechamento” de segunda ordem da mesma.

Segundo Stull (1988), que, considerando um sistema de coordenadas alinhado com o vento médio, assumindo a homogeneidade horizontal e desprezando a subsidência, pode-se definir a equação do balanço da energia cinética turbulenta  $\bar{e}$  para a CLS como:

$$\frac{\partial \bar{e}}{\partial t} = \frac{g}{\theta_v} \overline{(w'\theta'_v)} - \overline{(u'w')} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \frac{\partial \overline{(w'e)}}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{(w'p')}}{\partial z} - \varepsilon \quad \text{eq. 26}$$

I            II            III            IV            V            VI

onde os termos representam:

- I) Variação temporal de  $\bar{e}$  (sob condições estacionárias este termo se anula);
- II) Produção/Destruição por flutuabilidade. Expressa o trabalho efetuado pelas forças de flutuabilidade;
- III) Produção mecânica de  $\bar{e}$  devido a interação da tensão de Reynolds com o gradiente vertical do vento médio;
- IV) Transporte turbulento de  $\bar{e}$ ;
- V) Termo de correlação de pressão. Exprime a transferência de energia de um ponto a outro do espaço por causa das flutuações de pressão;
- VI) Dissipação de  $\bar{e}$ . É a taxa de conversão de energia turbulenta em calor.

Na CLS o termo de produção de  $\bar{e}$  desempenha um papel fundamental na alimentação das flutuações turbulentas devido ao forte cisalhamento vertical do vento aí existente e também devido à flutuabilidade. Há muitos fatores que podem causar instabilidade em um escoamento laminar e outros que tendem a estabilizar o escoamento. O balanço entre esses fatores é o responsável pela geração, ou não, da turbulência e definem a estabilidade atmosférica. A melhor caracterização da estabilidade atmosférica é proporcionada à partir dos termos (II) e (III) da equação do balanço de  $\bar{e}$  (BLACKADAR, 1997).

#### 1.4.3.1 Análise da Estabilidade Atmosférica

Stull (1988), afirma que a estabilidade atmosférica pode ser caracterizada como estática ou dinâmica, contudo tais classificações fornecem parâmetros incompletos da existência de turbulência em uma dada região, pois as equações que analisam a estabilidade estática não

incluem os efeitos de cisalhamento do vento, enquanto, que as equações que avaliam a estabilidade dinâmica, não incluem o processo não-local.

Há estudos que definem, que, para se determinar se o fluido é turbulento, deve-se avaliar as duas classificações, pois os critérios do gradiente vertical de temperatura potencial e da temperatura do ar, quando isolados, não são considerados bons indicadores para a turbulência. Contudo, estas equações podem ser usadas na caracterização da estabilidade estática. Por isso, estudos observacionais e numéricos utilizam o número de Richardson, que por sua vez pode ser associados a outros parâmetros como o de Monin-Obhukov, na avaliação da qualidade do ar na região em estudo (KAIMAL; FINNIGAN, 1994).

Arya, (2001), descreve que a turbulência em um determinado fluido ocorre em resposta a ação de um mecanismo de desestabilização, que pode ocorrer estática ou dinamicamente; portanto, na atmosfera, quando não há dependência do vento no processo de desestabilização, diz-se então que há uma situação de instabilidade estática. Quando este fato é caracterizado, a convecção é a principal componente na geração da turbulência, onde a diferença de temperatura entre camadas adjacentes na atmosfera gera uma força de empuxo no sentido de homogeneizar, tipicamente quando as parcelas de ar mais quentes e menos densas se formam próximo à superfície e tendem a subir.

Assim, este autor indica a utilização do perfil vertical da temperatura virtual média do ar úmido ou a temperatura potencial virtual média, como um indicador das condições de estabilidade atmosférica para um determinado instante e local, através da componente vertical do gradiente de temperatura, que pode ser definida como:

Para  $\frac{\partial T_v}{\partial z} > 0$ , ou  $\frac{\partial \theta_v}{\partial z} > 0$ ; a atmosfera é estaticamente estável;

Para  $\frac{\partial T_v}{\partial z} = 0$ , ou  $\frac{\partial \theta_v}{\partial z} = 0$ ; a atmosfera é estaticamente neutra e

Para  $\frac{\partial T_v}{\partial z} < 0$ , ou  $\frac{\partial \theta_v}{\partial z} < 0$ ; a atmosfera é estaticamente instável.

Caracteristicamente, durante o dia, devido a predominância dos processos convectivos, a atmosfera é em geral instável. As condições de estabilidade atmosférica são observadas durante a noite, devido à ausência dos processos convectivos. A condição de atmosfera neutra é geralmente caracterizada nos períodos de transição, nas primeiras horas do dia ou da noite.

A instabilidade dinâmica se caracteriza à noite sob influência do vento, sendo este o principal mecanismo gerador de turbulência. A quebra da estabilidade atmosférica noturna, promovendo uma instabilidade dinâmica, é o principal mecanismo gerador de turbulência noturna. Este mecanismo também se estabelece durante o período diurno, de tal forma que há uma contribuição adicional da produção mecânica, na geração dos vórtices turbulentos.

Um indicador utilizado para se avaliar a predominância de tais contribuições é o número de Richardson, que descreve a razão da componente de empuxo (associada ao fluxo de calor sensível ou ao gradiente vertical de temperatura) em relação à contribuição do cisalhamento do vento (relacionada à turbulência mecânica). Para uma atmosfera horizontalmente homogênea, e com  $w = 0$ , é expresso como:

$$R_f = \frac{\left(\frac{g}{T_v}\right)\overline{(w'T')}}{\overline{(u'w')} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \overline{(v'w')} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z}} \quad \text{eq. 27}$$

Que é a forma conhecida como número de Richardson-fluxo, onde numerador é o termo de empuxo e o denominador é o termo de cisalhamento. Tipicamente, para uma condição estaticamente instável,  $R_f$  é negativo; igual a zero em condições neutras, e positivo quando estaticamente estável (STULL, 1988).

O número de Richardson também pode ser calculado apenas em função de gradientes verticais, aplicando-se as seguintes aproximações:

$$\overline{w'T'_v} \approx \frac{\partial \bar{T}_v}{\partial z}, \quad \overline{u'w'} \approx \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad \text{e} \quad \overline{v'w'} \approx \frac{\partial \bar{v}}{\partial z}$$

resultando em:

$$Ri = \frac{\frac{g}{T_v} \frac{\partial \bar{T}_v}{\partial z}}{\left[ \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right)^2 \right]} \quad \text{eq. 28}$$

que é a forma conhecida como número de Richardson-gradiente.



#### 1.4.3.2 Troca de CO<sub>2</sub> entre a Floresta e a Atmosfera

Estudos micrometeorológicos com objetivos de compreender a ecofisiologia das florestas, tem demonstrado que a condutância estomática responde diretamente à taxa de assimilação de carbono pelo aparelho fotossintético vegetal, como estratégia de maximizar a assimilação de carbono e reduzir as perdas do vapor d'água pelos estômatos. A troca gasosa no interior do dossel é dependente da condutância estomática, que possibilita a estimativa de assimilação de CO<sub>2</sub> (ALLEN et al., 2011; RODDA et al., 2016; SOUZA FILHO et al., 2005).

A taxa líquida de assimilação local de CO<sub>2</sub> é determinada pelo conjunto das reações bioquímicas e pela difusão do ar atmosférico para o interior dos cloroplastos, onde essas reações bioquímicas são potencializadas pela quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (BARR; DELONGE; FUENTES, 2014).

A arquitetura do dossel e a estrutura vertical da copa exerce um grande controle sobre a penetração da radiação e a mistura entre as concentrações de CO<sub>2</sub>, vapor d'água e calor no interior e acima da copa da floresta, portanto, sabe-se que existem interações complexas entre a geometria do dossel, o transporte turbulento e os mecanismos biofísicos, que se manifestam com uma variabilidade significativa na função fonte/sumidouro de escalares em florestas heterogêneas (ARYA, 2001; DE LIMA; GALVANI, 2013; QUERINO et al., 2011; ZHONG et al., 2016).

Os fluxos turbulentos de carbono medidos acima da copa da floresta representam a estimativa das atividades básicas de dois processos fisiológicos vegetal – a fotossíntese e a respiração autotrófica e heterotrófica, que ocorrem no ecossistema. Considera-se também nessas medições as alterações na concentração de CO<sub>2</sub> que se acumulam dentro e abaixo da copa por variações na ventilação, a produção primária bruta e a troca líquida do ecossistema (HUTYRA et al., 2007; RODDA et al., 2016; ZHONG et al., 2016).

O acoplamento entre a floresta e atmosfera ocorre de forma diferenciada entre o dia e a noite, devido as mudanças na estabilidade estática da atmosfera. Verifica-se que o perfil médio de velocidade do vento possui um forte ponto de inflexão logo acima da copa. Este ponto se aproxima do topo da copa durante o dia, afastando-se durante a noite. A existência deste ponto de inflexão cria um tipo peculiar de instabilidade, que contribui para a formação de vórtices na forma de “rolos”, cujo eixo de simetria horizontal é perpendicular à direção do escoamento. Abaixo da copa, as velocidades do vento médio horizontal estão geralmente entre 0 e 1 m/s

(ARYA, 2001; FITZJARRALD; GARSTANG, 1981; KUTSCH et al., 2008; MOLION, 1987; ZERI; SÁ, 2011).

A estabilidade atmosférica noturna promove uma rara ventilação do dossel florestal, favorecendo com que o fluxo de carbono ao nível das folhas seja afetado pela velocidade do vento. Velocidades do vento mais elevadas aumentam a eficiência da remoção da massa de ar na superfície laminar das folhas, acentuando, assim, as diferenças de concentração entre essas superfícies foliares e as câmeras subestomáticas (ARAÚJO et al., 2010; DOUGHTY; GOULDEN, 2008; KUTSCH et al., 2008).

A respiração do solo é um dos componentes a se considerar no balanço de carbono na floresta, estando a variação da concentração deste gás em função da variação da temperatura do ar e do solo. A decomposição da matéria orgânica - a serrapilheira, tem papel fundamental na emissão de CO<sub>2</sub>, sendo esta decomposição realizada por uma variada biota microscópica, facilitada pelo calor e pela umidade. A serrapilheira se constitui num banco de nutrientes para as comunidades vegetais, funcionando também como proteção para a cobertura e proteção e manutenção da porosidade do solo (CATTANIO et al., 2004; LUIZÃO; NOBRE; DIAS, 2004)

Trabalhos sobre a camada limite noturna na Amazônia tem verificado que as concentrações de carbono apresentam variação sazonal em função da ecofisiologia da floresta e a concentração aumenta com a altura a partir do início da noite. Durante esse período, o CO<sub>2</sub> produzido pela respiração do solo fica aprisionado abaixo da copa. Ao amanhecer, com o aquecimento da CLS, ocorre a destruição da CLE e uma rasa CS instável cresce rapidamente, devido a uma forte mistura vertical. Em poucas horas, o CO<sub>2</sub> acumulado durante a noite abaixo da copa, é liberado com um pico acentuado da concentração de CO<sub>2</sub> durante o amanhecer (CULF et al., 1999; MAFRA et al., 2016).

Outro exemplo acerca da concentração de CO<sub>2</sub> dentro da copa é dado por Kruijt et al., (1996). Eles mostram evidências de mistura noturna dentro da copa, mesmo quando as condições atmosféricas são estáveis. Segundo este autor, as diferenças na concentração vertical de CO<sub>2</sub> surgem a partir das diferenças no balanço entre o suprimento e a demanda de carbono pelos componentes do ecossistema (plantas, solo, matéria orgânica em decomposição) e a partir do transporte turbulento do ar nas camadas de vegetação.

#### 1.4.4 Método para estimar os Fluxos Turbulentos na CLA por Eddy Covariance

A técnica da correlação dos vórtices turbulentos, consiste na medição dos fluxos de massa e energia na superfície, tendo como objetivo principal estimar o transporte turbulento que ocorre entre a superfície terrestre e a troposfera. O monitoramento da turbulência através de um único ponto de observação baseia-se na hipótese do "congelamento" da turbulência, conhecida como hipótese de Taylor, significando que os vórtices não sofrerão mudanças enquanto estiverem sendo medidos (ARYA, 2001).

Moncrieff et al., (1997) e Stull, (1988) propõem a descrição matemática da técnica, considerando que os valores de uma variável  $s$  varie com o tempo, segundo a equação:

$$s = \bar{s} + s' \quad \text{eq. 29}$$

onde:

$\bar{s}$  é o valor médio de  $s$  no intervalo de tempo  $t$ ;

$s'$  é o valor do desvio (componente turbulento) em relação à média um dado instante  $t$ , uma vez que:

$$s' = \bar{s} - s \quad \text{eq. 30}$$

Segundo estes autores o método (EC), consiste em se calcular matematicamente a covariância entre as flutuações da velocidade vertical do vento ( $w'$ ), em relação as flutuações de uma grandeza turbulenta escalar, denominada genericamente de ( $s'$ ). Em termos absolutos, este método necessitaria da determinação das flutuações sobre uma superfície  $S$ , para calcular o fluxo através da equação 31:

$$\overline{(w's')} = \frac{1}{S} \oint w's' dS \quad \text{eq. 31}$$

Na prática, em áreas florestadas, as medidas são efetuadas segundo o modelo euleriano a partir de um ponto fixo, em função do tempo; portanto, utiliza-se a seguinte aproximação, sob a hipótese de que a covariância assim calculada seja estatisticamente representativa do fluxo através de uma superfície horizontal, conforme a equação (32) descrita por McBean (1972):

$$\text{eq. 32} \quad \overline{(w's')} = \frac{1}{T} \int_0^T w's' dS = \int_0^\infty Co_{ws}(f) df \quad \text{eq. 32}$$

onde  $f$  é a frequência,  $T$  é o período sobre o qual a média é efetuada e  $Co_{ws}$  é o coespectro de  $w'$  e  $s'$ .

A técnica da covariância apresenta algumas limitações de medidas que tornam o cálculo dos coespectros difícil, segundo os seguintes aspectos:

Os coespectros apresentam elevada possibilidade de erros que introduzem interferências entre as flutuações como por exemplo a contaminação de dados turbulentos de  $w'$  por dados de  $u'$  e vice-versa; os efeitos de distorção do escoamento em torno dos obstáculos instrumentais podem conduzir a sérios erros nas estimações estatísticas das grandezas turbulentas e a eventual não estacionariedade do sinal turbulento, pode induzir a obtenção de dados pretensamente médios, sem uma representação estatística ( FARGE, 1972; WYNGAARD, 1984; 1988).

### 1.5 SALDO DA TROCA DE CO<sub>2</sub> ENTRE O ECOSISTEMA DE MANGUEZAL E A BAIXA TROPOSFERA - NEE

Baldocchi, Hicks e Meyers, (1988) e Zhong et al., (2016), ressaltam que a técnica da EC é utilizada também para estimar o saldo da troca de matéria entre o ecossistema e a atmosfera (NEE), representando a fisiologia de dois grandes fluxos, que por convenção assumem sinais opostos, sendo a absorção ou o sequestro de CO<sub>2</sub> caracterizado pelo total da fotossíntese de um período, a produtividade primária bruta do ecossistema (GPP), que por convenção assume sinal (- ou ↓), e a liberação de CO<sub>2</sub>, representa a estimativa da respiração autotrófica e heterotrófica ( $R_{eco}$ ), com sinal (+ ou ↑). Tais fluxos podem ser expressos pela equação (33):

$$NEE = R_{eco} + GPP \quad \text{eq. 33}$$

O NEE fornece consideráveis medidas dos papéis fisiológicos do ecossistema, contudo, não descreve os processos responsáveis pelo particionamento de cada um desses fluxos. Medições ou estimativas detalhadas sobre a  $R_{eco}$  e GPP são necessárias para obter informações sobre os diferentes processos que integram a equação da troca líquida do ecossistema (BARR et al., 2009; CHEN; TAM; YE, 2012; LASSLOP et al., 2010)

As variáveis de uma observação de NEE pode resultar em um número indefinido de combinações de  $R_{eco}$  e GPP se ambos estão ocorrendo simultaneamente ou ocorrem ao longo do intervalo da média temporal usado para descrever esta troca líquida. A maioria das estratégias de particionamento do fluxo baseia-se na noção de que apenas o  $R_{eco}$  ocorre à noite

em ecossistemas dominados pela fotossíntese de plantas C<sub>3</sub>, enquanto que o GPP neste período, é praticamente zero (BARR et al., 2009; REICHSTEIN et al., 2005; SAN-JOSÉ; MONTES; NOKONOVA, 2007).

O desafio nessas medições está na extrapolação destas medições de R<sub>eco</sub> noturnas para condições diurnas objetivando estimar GPP por diferença, usando os parâmetros da equação 33. Essas dificuldades são agravadas pelo fato de que as medidas do fluxo noturno são muitas vezes comprometidas por condições atmosféricas estáveis com turbulência insuficiente para satisfazer os pressupostos do sistema de medição diurnos (IWATA; MALHI; VON RANDOW, 2005; REICHSTEIN et al., 2005).

a) *Considerações sobre a Respiração do Ecossistema*

A respiração do ecossistema (R<sub>eco</sub>) é dada pela combinação das fontes respiratórias autotróficas, predominantemente de organismos cuja fonte de energia primária é o sol; enquanto que, a respiração heterotrófica, é a resposta fisiológica de fontes de energia com origens variadas (KOWALSKI, 2008; MIELNICK et al., 2005; WERE et al., 2010).

Finnigan et al., (2003), propõe a matematização deste processo fisiológico (equação 34), onde o termo I desta equação, representa a mudança do armazenamento de carbono na atmosfera abaixo do plano horizontal (F<sub>C</sub><sup>sto</sup>); o termo II representa a advecção vertical na parte superior do volume controle, resultante da mudança do ar seco em função do tempo, portanto esse termo geralmente é negligenciado; o termo III, representa o fluxo turbulento líquido de CO<sub>2</sub> através de um plano horizontal acima do dossel (F<sub>C</sub><sup>EC</sup>) e o termo IV da equação, corresponde ao NEE (F<sub>s</sub>).

$$\underbrace{\int_0^{h_m} \overline{\rho_d \frac{\partial x_s}{\partial t}} dz}_{\text{I}} + \underbrace{\int_0^{h_m} \overline{\rho_d w \frac{\partial x_s}{\partial z}} dz}_{\text{II}} + \underbrace{\overline{\rho d w' x'_s}}_{\text{III}} \Big|_{h_m} = \underbrace{F_s}_{\text{IV}} \quad \text{eq. 34}$$

Esta equação 34 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$F_s = F_C^{EC} + F_C^{sto} \quad \text{ou} \quad \text{NEE} = F_C^{EC} + F_C^{sto} \quad \text{eq. 35}$$

Que pode também ser expressa por:

$$NEE = F_C^{EC} + F_C^{sto} = R_{eco} + GPP \quad \text{eq. 36}$$

Considerando-se que a fotossíntese bruta do ecossistema (GPP) representa o fluxo de CO<sub>2</sub> proveniente da produção primária, o método EC fornece estimativas de  $F_C^{EC}$ ; além disso, o termo de armazenamento  $F_C^{sto}$  pode ser estimado pela integração de um perfil vertical da concentração de CO<sub>2</sub>. Quanto a respiração, há afirmativas de que este fenômeno do ecossistema pode também ser particionado funcionalmente em respiração entre os organismos autotróficos e heterotróficos, ou espacialmente na respiração acima e abaixo do solo, onde esta  $R_{solo}$  consiste na respiração do sistema radicular e da população microbiana (REICHSTEIN et al., 2005)

Um outro componente a se considerar nestes fluxos é a evapotranspiração acima do dossel ( $F_V^{EC}$ ) ou evapotranspiração total ( $E_{tot}$ ), definida como o fluxo de vapor d'água através de um plano horizontal acima do dossel originada da atividade estomática e a evaporação do sistema. Esta função pode ser dada pela soma da transpiração ( $E_{planta}$ ), a evaporação da água interceptada pelas folhas ( $E_{int}$ ) e evaporação da superfície do solo ( $E_{solo}$ ) representada pela equação (37).

$$F_V^{EC} = E_{tot} = E_{planta} + E_{int} + E_{solo} \quad \text{eq. 37}$$

Em dias com boas condições turbulentas, o método da EC pode estimar o fluxo total ( $F_V^{EC} = E_{tot}$ ), onde o componente a ser considerado é o vapor d'água, em substituição ao termo ( $S$ ), que representa o carbono estocado no dossel e no sub-bosque.

A fisiologia da respiração é uma resposta a um conjunto de reações biológicas mediadas por enzimas e, depende da temperatura do ar e da disponibilidade de substratos para o processamento das reações. Portanto, o modelo matemático mais simples possível para a respiração do ecossistema é uma equação elaborada em função da temperatura do ar, chamada de respiração base.

Fierer et al., (2005), Janssens e Pilegaard (2003), chamam atenção para o desafio de se estimar a respiração de ecossistemas diferentes com uma única equação, devido à variedade de temperaturas, principalmente do solo, através das quais ocorrem processos respiratórios no solo, raízes, caules, folhas e em outros organismos.

Uma abordagem comum ao modelo da  $R_{eco}$  tendo como base a temperatura do ar como parâmetro dominante chamado de  $Q_{10}$ , representado na equação (38):

$$R_{eco} = R_{10} \cdot Q_{10}^{\frac{Q-10}{10}} \quad \text{eq. 38}$$

Onde  $R_{10}$  é a respiração da base do ecossistema a 10°C e  $Q_{10}$  é o parâmetro de sensibilidade à temperatura, descrevendo a quantidade de mudança na  $R_{eco}$  para uma mudança de temperatura de 10° C (RYAN, 1991).

## 1.6 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE MANGUEZAL

### 1.6.1 Histórico do município de Salinópolis

Os relatos que tratam da fundação do município, mencionam uma aldeia dos índios Tupinambá que, historicamente, povoaram a costa da região antes da chegada dos europeus, onde a primeira designação dada a esta localidade foi Virianduba, que significa em Tupi abundância de pássaros, fato que ainda é verificável nos dias atuais (DE SOUZA, 2004).

A cidade de Salinópolis, está localizada na zona fisiográfica do Salgado do estado do Pará, banhada pelo Oceano Atlântico. Teve seu início, sob influência dos domínios europeus, no ano de 1656, no governo do Capitão-General dos Estados do Maranhão e Pará André Vidal de Negreiros. Neste ano o Capitão Negreiros incumbiu o Capitão-Mor do estado do Pará, de estabelecer uma atalaia para indicar a estrada da Barra de Belém, por meio de tiros de canhão. Essa iniciativa tinha o objetivo de prevenir possíveis sinistros nas embarcações nos recifes da costa paraense (IBGE, 2010).

O projeto foi implantado numa ilha contígua à baía de Virianduba, trazendo com isso o desenvolvimento da região, e conseqüente formação do povoado que se denominou Salinas. Esta denominação, deu-se pela existência de uma salina no litoral desse território, cuja exploração datou do período colonial. No ano de 1781, a localidade adquiriu categoria de Freguesia com o nome de Nossa Senhora do Socorro de Salinas e também de Vila, que foi extinta em 1833.

Em 1882, Salinas foi elevada a município, cuja instalação ocorreu em 1884. Obteve ainda foro de Cidade, em 1901. Pelo decreto-lei estadual nº 4505, de 30/12/1943, o município de Salinas passou a ser denominado de Salinópolis, cujo topônimo é de origem portuguesa,

significando cidade de Salinas.

O turismo de veraneio em Salinópolis, fomentou o processo de uso e ocupação do município, onde as edificações ocorreram prioritariamente ao longo da costa, com supressão da floresta de mangue e conseqüente diminuição do manguezal. A área urbana do município no ano de 2011 era de aproximadamente 473 Km<sup>2</sup>, concentrando os principais atrativos turísticos. O centro urbano apresenta uma infraestrutura comercial com rede hoteleira, bancos, farmácias, etc. Salinópolis é considerada um dos principais balneários paraenses, principalmente da classe média da capital, onde muitos visitantes possuem casa de segunda residência (SOUZA, 2014).

### **1.6.2 Caracterização política, social e econômica do Município**

A partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento (PNUD) e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), fez-se os levantamentos dos dados socioeconômicos e políticos para o município de Salinópolis, priorizando sempre as informações mais recentes.

Dados do IBGE (2010), demonstraram que o índice de Desenvolvimento Humano (IDH) para Salinópolis foi de 0,647, para uma população de 37.421 habitantes, com estimativa para o ano de 2015 de 39.078 habitantes. Informações deste instituto para o ano de 2012, relatam que o PIB do município foi de R\$ 392.093.997,00.

A renda per capita média do município cresceu 141,39% nas últimas duas décadas, passando de R\$ 165,12, no ano de 1991, para R\$ 398,58 em 2010. Isso equivale a uma taxa média anual de crescimento nesse período de 4,75%. A proporção de pessoas pobres (com renda domiciliar per capita inferior a R\$ 140,00), passou de 61,20%, em 1991, para 27,12%, em 2010. A evolução da desigualdade de renda analisada através do Índice de Gini<sup>1</sup> passou de 0,47 em 1991, para 0,52 em 2010.

Entre os anos de 2000 e 2010, a taxa de atividade da população economicamente ativa, de 18 anos ou mais, passou de 69,13% em 2000 para 68,78% em 2010. Ainda em 2010, das pessoas ocupadas na faixa etária de 18 anos em diante do município, 9,64% trabalhavam no

---

<sup>1</sup>*Definição do índice GINI:*

*Instrumento usado para medir o grau de concentração de renda. Ele aponta a diferença entre os rendimentos dos mais pobres e dos mais ricos. Numericamente, varia de 0 a 1, sendo que 0 representa a situação de total igualdade, ou seja, todos têm a mesma renda, e o valor 1 significa completa desigualdade de renda.*



setor agropecuário, 2,73% na indústria de transformação, 10,27% no setor de construção, 1,70% nos setores de utilidade pública, 20,42% no comércio e 51,62% no setor de serviços.

Os dados de vulnerabilidade social, que retratam as condições das crianças, jovens, famílias, as condições de trabalho e renda, assim como as condições de moradia da população, são retratadas na tabela 1 a seguir, e demonstram uma considerada melhora nos últimos vinte anos, para os moradores do município dentro da maioria dos quesitos analisados.

Tabela 1- Dados da vulnerabilidade Social do município de Salinópolis, estado do Pará, para o ano de 2010.

<b>Crianças e Jovens</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
Mortalidade infantil	43,83	26,37	19,00
% de crianças de 0 a 5 anos fora da escola	-	73,23	61,00
% de crianças de 6 a 14 fora da escola	27,69	7,05	2,74
% de pessoas de 15 a 24 anos que não estudam, não trabalham e são vulneráveis, na população dessa faixa	-	20,16	13,66
% de mulheres de 10 a 17 anos que tiveram filhos	3,21	6,54	6,10
Taxa de atividade - 10 a 14 anos	31,68	25,73	14,92
<b>Família</b>			
% de mães chefes de família sem fundamental e com filho menor, do total de mães chefes de família	24,72	33,65	32,18
% de vulneráveis e dependentes de idosos	3,40	4,26	3,76
% de crianças com até 14 anos de idade que têm renda domiciliar per capita igual ou inferior a R\$ 70,00 mensais	31,68	25,73	14,92
<b>Trabalho e Renda</b>			
% de vulneráveis à pobreza	84,41	72,37	53,20
% de pessoas de 18 anos ou mais sem fundamental completo e em ocupação informal	-	63,97	50,27
<b>Condição de Moradia</b>			
% da população em domicílios com banheiro e água encanada	57,13	42,45	65,15

Fonte: PNUD, IPEA /2010

### 1.6.3 Conceito de Serviço Ecossistêmico

Estudos de Helliwell (1969) e King (1966), introduziram pela primeira vez na década de 1960 o conceito de serviço ecossistêmico (SE), que definiram como sendo a função da natureza em servir as sociedades humanas. Portanto, a definição mais amplamente publicada de SE é dada como o conjunto de benefícios proporcionados pelos ecossistemas, contribuindo para tornar a vida humana viável.

Estudos recentes definem os SE como benefícios às populações humanas, que podem ser obtidos a partir dos processos ecossistêmicos, incluindo o fornecimento de alimentos, forragem, madeira, fibras naturais, produtos farmacêuticos, recursos geológicos, religiosidade e valores culturais (BOEREMA et al., 2014; MEA, 2005; VO et al., 2012).

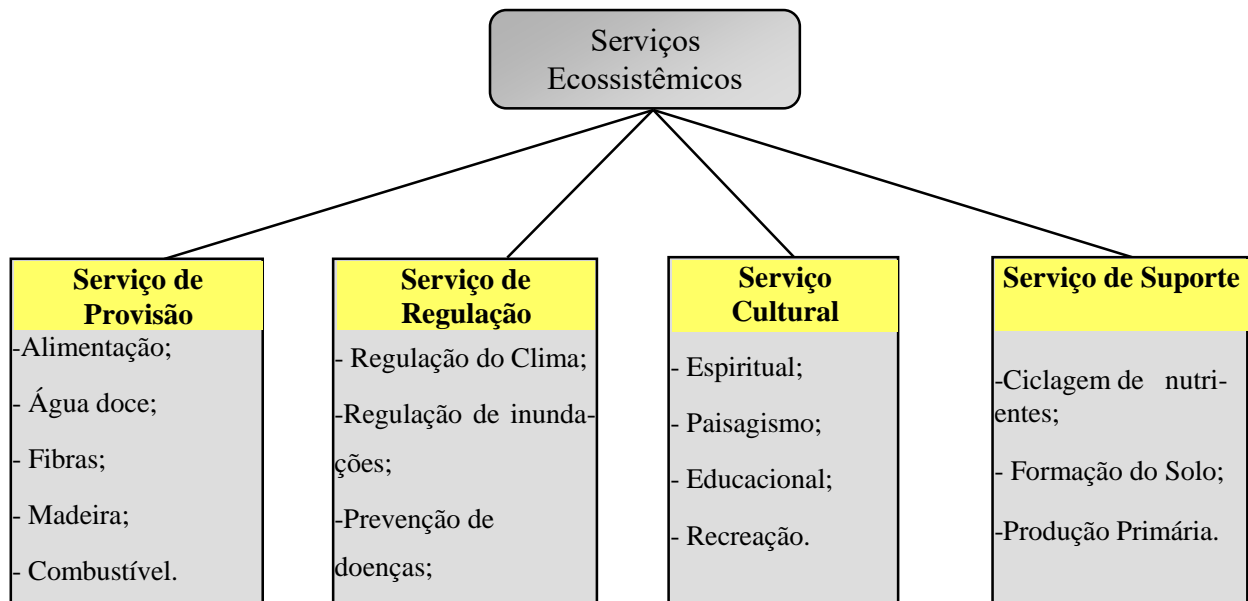
Contudo, publicações em periódicos especializados, algumas vezes tratam o tema SE como objeto de interpretação contraditória, onde alguns pesquisadores e redes de pesquisas usam o termo para descrever a função do SE, como ciclagem de nutrientes, fluxo de energia, sumidouro de CO<sub>2</sub>, manutenção da biodiversidade, suporte à vida, assimilação de resíduos, reciclagem e renovação da matéria orgânica (BARR et al., 2010; FEARNSIDE, 1995, 2009; FISHER; TURNER; MORLING, 2009).

Dentro de uma concepção interdisciplinar, Pesquisas de Aguiar et al., (2006) e Vilani et al., (2006), descreveram que as funções desempenhadas pelos ecossistemas florestais, como fonte e sumidouro de carbono, são geradas por uma complexa interação biofísica, onde o input inicial é gerado pela energia solar, e que tal interação é operada através de uma ampla gama de escalas no tempo e no espaço, onde é incorporado componentes tanto bióticos quanto abióticos.

A avaliação ecossistêmica do milênio (MEA, 2005), relatam que os serviços ecossistêmicos foram estruturados em quatro categorias onde são organizados em – (i) serviços de provisão, (ii) serviços de regulação, (iii) serviços culturais, e (iv) serviços de suporte.

Estes estudos definem que por **serviços de provisão** compreende-se o fornecimento de alimentos pelo ecossistema, assim como água doce, madeira, fibras e combustível. Por **serviços de regulação** compreende-se a regulação climática, como o sequestro de carbono, regulação contra inundações, purificação da água e prevenção contra doenças. Por **serviços culturais** entende-se os valores religiosos e espirituais vinculados as florestas e a outros elementos do ambiente. Atividades recreativas, educacionais, assim como a contemplação paisagística. E os **serviços de suporte** compreendem a ciclagem de nutrientes, formação do solo e a produção primária de carboidratos (fig. 1).

Figura 1-Serviços Ecosistêmicos.



Fonte: Adaptado de MEA (2005), (TEEB, 2012).

Ainda que autores como De Groot et al., (2010) e Fisher, Turner e Morling (2009), critiquem o modelo defendido pelo MEA, por considerarem generalista demais, à citar como exemplo a diferenciação entre SE e função do ecossistema, há autores que consideram o modelo bastante viável, servindo de arcabouço introdutório para uma fundamentação das discussões que orientam as particularidades locais que devem ser tratadas dentro de uma concepção das realidades vivenciadas “in loco” (VO et al., 2012).

#### *a) Valoração dos Serviços Ecosistêmicos*

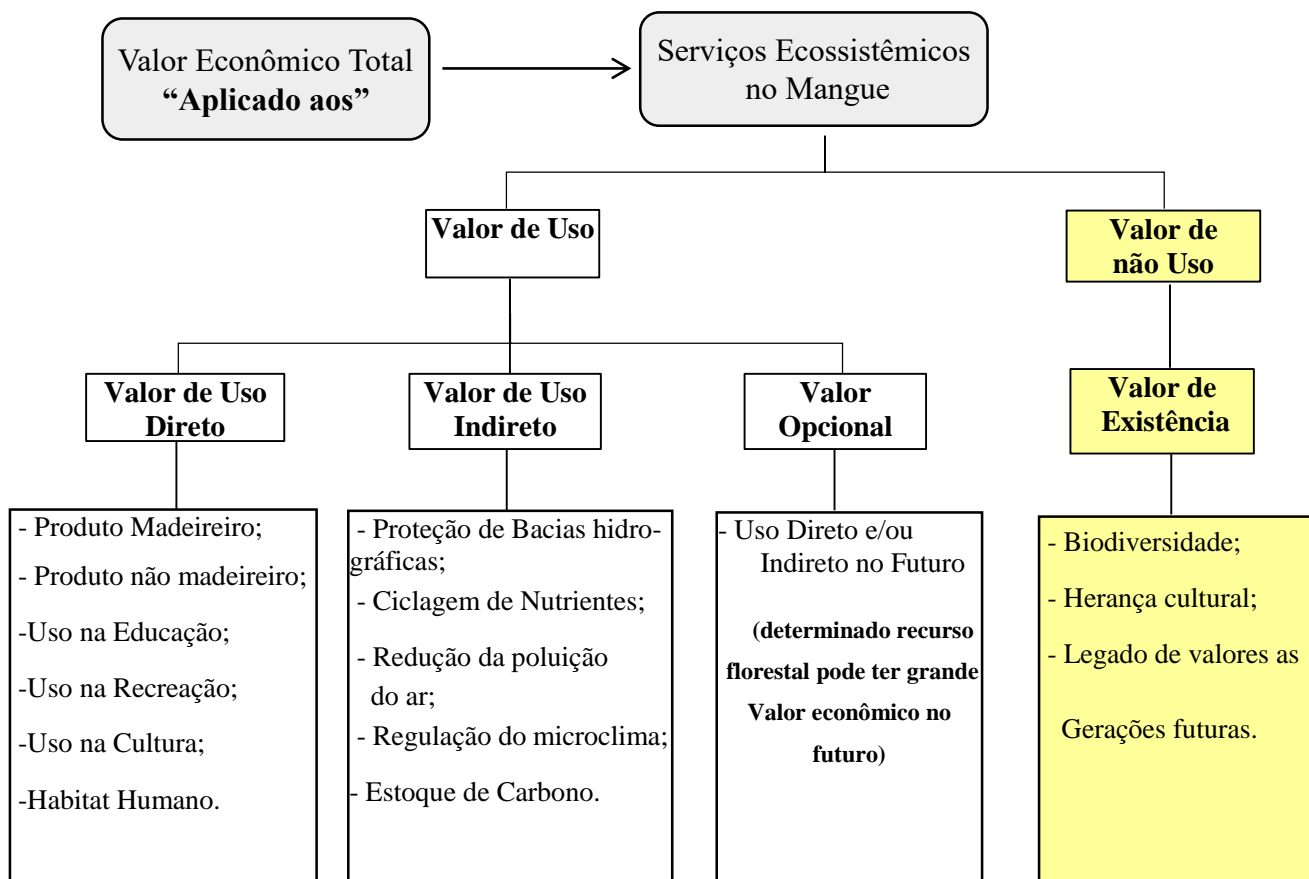
Com relação a valoração dos SE, Boerema et al., (2014) e Boyd e Banzhaf, (2007), integraram em seus estudos, princípios econômicos cuja definição possibilita compreender como os SE, enquanto componentes da natureza, são diretamente apreciados, consumidos ou utilizados para produzir bem-estar ao homem. Estes autores trazem em suas pesquisas uma importante contribuição, para valorar sob a luz de princípios econômicos, de como os serviços ecosistêmicos agregam benefícios em escala regional e global. Ressaltam também a possibilidade de munir os gestores públicos com uma visão holística para além dos benefícios locais e imediatos.

Pesquisas de Santoyo et al. (2013), sobre serviços ecosistêmicos, reforçam a concepção de **valor de uso** e **valor de não uso**, onde os ecossistemas de manguezais são valiosos em termos de valores de uso direto e indireto. Por valores de uso direto compreende-

se os produtos e serviços derivado diretamente do mangue, à citar como exemplo, madeira destinada para lenha e construção, fonte alimentar proteica, edificações para a comunidade pesqueira, manifestações culturais, entre outros.

Como valores de uso indireto os manguezais atuam como uma barreira natural, afim de estabilizar sedimentos finos e evitar a erosão costeira. Além disso, reduzem efeitos das tempestades e inundações, mantendo a qualidade da água, possibilitando uma ampla variedade da fauna, regulação do microclima característico do ecossistema, assim como são excelentes ambientes para estoque de carbono (fig. 3). Os manguezais são capazes de acumular e armazenar grandes quantidades de carbono no solo (VO; KUENZER; OPPELT, 2015).

Figura 2 Valor econômico total aplicado aos serviços de ecossistema de manguezal, demonstrando os valores de uso e os valores de não uso.



Fonte: Adaptado (BARBIER, 1994; TEEB, 2012).

Estudos sobre SE de manguezais estimaram que a taxa média global de acúmulo de carbono nesses ambientes, está na ordem de  $10,8/\text{mol.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ . Tais estudos afirmaram que a maioria dos manguezais fixam carbono em excesso devido as exigências do ecossistema, onde este excesso representa 40% da produção primária líquida. Verificou-se que os herbívoros consomem cerca de 9% do carbono armazenado, 30% é exportado, 10% é armazenado nos sedimentos, e 40% é decomposto e reciclado dentro do sistema (DUARTE; CEBRIAN, 1996; DUARTE; MIDDELBURG; CARACO, 2005).

Nas últimas décadas foram realizados estudos objetivando estimar os valores dos serviços ecossistêmicos de mangue, discutindo-se métodos de avaliação econômico dos diferentes recursos biológicos, abióticos, edáficos e suas representações. Assim alistou-se os valores das zonas húmidas tropicais, sistemas marinhos e florestas para vários ecossistemas. Foi avaliado o valor do SE com base numa síntese de estudos publicados e alguns cálculos originais. Fez-se um esforço para que os métodos de avaliação de SE de manguezal atribuíssem valores quantitativos para os produtos e serviços prestados pelos ecossistemas naturais (BOEREMA et al., 2014; COSTANZA, 1999, 2003; MEA, 2005).

Trabalhos que fazem avaliações econômicas em manguezais, podem indicar o custo dos serviços e de outras práticas de uso da terra. Uma das dificuldades na valoração ambiental é que não há mercado para expressar os valores dos SE, especialmente os de uso indireto. Assim, todos os serviços estão fora da esfera dos mercados e tendem a ser imperceptíveis nas análises econômicas. Uma razão pela qual os valores de mangue, por exemplo, não são totalmente considerados no processo de avaliação é que muitos desses valores não são "vendidos" no mercado convencional, de modo que não geram um valor monetário de mercado, à citar, a dificuldade de se valorar a função biodiversidade e ciclagem de nutrientes em manguezais (BANN, 1998; BOEREMA et al., 2014; CURTIS, 2004).

#### *b) Atribuição de Valor Monetário ao SE de Manguezais*

Vo et al., (2012) em seus trabalhos também discutiram a dificuldade em agregar valor monetário para todos os bens e serviços prestados por um ecossistema; no entanto, os autores apontam para algumas pesquisas que fazem um esforço para sistematizar financeiramente os bens não-mercantis e serviços em países desenvolvidos e em desenvolvimento, com a finalidade de proporcionar métodos de valoração. Os valores monetários dos SE de manguezais não dependem apenas da interação entre as forças sociais, econômicas e institucionais e suas variações entre os países e regiões, mas também sobre o uso local dos produtos e serviços.

### *c) Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)*

Engel, Pagiola e Wunder, (2008), em seus trabalhos, chamaram a atenção para o fato de que os pagamentos por serviços ambientais (PSA) têm atraído um interesse crescente de contribuições voluntárias. Tais contribuições traduzem o reconhecimento dos serviços e o desejo de sua manutenção. Os autores afirmam que o PSA não é uma "bala de prata" que pode ser usado para resolver qualquer problema ambiental, mas uma ferramenta adaptada para abordar um conjunto específico de problemas, cuja premissa é baseada no princípio do beneficiário-pagador e não no do poluidor-pagador.

De Groot, Wilson e Boumans, (2002), citaram que os métodos de avaliação econômica são classificados em quatro tipos básicos, cada qual com seu próprio repertório de questões avaliativas e metodologia associada. Neste trabalho, estes autores citam como métodos frequentemente usados - (i) a avaliação de mercado direto, (ii) a avaliação de mercado indireto, (iii) a avaliação contingente e a (iv) avaliação do grupo. Tais autores apresentam uma breve explanação para cada método, conforme segue:

### *d) A Avaliação de Mercado Direto e Indireto*

Consiste em calcular o valor dos serviços do ecossistema no comércio, principalmente àqueles que desempenham função de provisão, tendo como exemplo a disponibilidade para o uso de água doce, habitat para o homem, recursos pesqueiros e combustível. Trabalhos de Hussain e Badola (2010), no leste da Índia com 324 famílias, quantificaram o valor de alguns SE de manguezais para a subsistência local. Os resultados revelaram que 14,2% da necessidade de combustível de cada família estava sendo cumprida pelas florestas, além de terem como provisionamento do mangue, madeira, palha e mel. Na pesca, o número de espécies capturadas, bem como o rendimento foi maior em áreas de manguezais com rendimento de US\$ 44,61/família/ano, do que em alto mar (US\$ 2,62/família/ano). Os SE extraídos do mangue contribuíram para mais de 14,5% do rendimento total das famílias.

Quando não ocorre mercados definidos para os SE, os autores sugerem recorrer a métodos indiretos na avaliação dos serviços. Há uma série de sugestões para esse tipo de avaliação, que pode ser usada para estabelecer a boa vontade manifestada em se pagar ou vontade de aceitar a compensação pela disponibilidade ou a perda desses serviços. Como exemplo, cita-se o custo evitado, que são serviços de permitem a sociedade evitar eventuais

custos que teriam, caso incorressem em problemas eventuais, como exemplo, o controle de inundações, ou o tratamento de resíduos que evita os custos com a saúde (COSTANZA, 1999; DE GROOT; WILSON; BOUMANS, 2002; MEA, 2005).

*e) Valorização dos Serviços ecossistêmicos*

Os serviços ecossistêmicos de manguezal passaram a ser apreciados à medida que as populações humanas começaram a explorar os serviços retornados para diferentes fins como uso-ocupação para moradia, atividades de subsistência, a citar a pesca e a captura de mariscos, atividades agriculturáveis seguidas de geração de renda; aquisição de água subterrânea para consumo, madeira para fornecimento de lenha e construção de casas e currais (GIRI et al. 2015; MAES et al. 2016; MEA, 2005).

Estudos de Pereira e Diegues (2010), afirmam que devido a ocupação de populações humanas em áreas naturais, estas procuram adaptar o meio às suas necessidades, ao mesmo tempo em que se adaptam às condições oferecidas. O sucesso da adaptação humana em meio ambiente florestal depende das suas habilidades para manter as relações terra-população a um nível que permitirá extrações sustentáveis, que depende da sua capacidade de organizar e aplicar o conhecimento sobre a estrutura e composição da floresta.

Observações de Moraes e Almeida (2012), entre os pescadores do manguezal de São Caetano de Odivelas – PA, relataram que é rotineiro os pescadores e marisqueiros levarem seus filhos para o manguezal desde seus primeiros anos de idade. Os autores relatam que é muito comum ver crianças e adolescentes no manguezal acompanhando seus pais nos fins de semana e no verão. Há uma relação do “*saber*” e do “*saber fazer*” passado de geração a geração dentro da organização familiar, durante as atividades laborais.

Outras formas de valorização do SE descritos por autores como De Groot, Wilson e Boumans, (2002) e por Hattam et al. (2015) se manifestam no reconhecimento de observações de populações tradicionais, onde há o relato de reconstituição da comunidade vegetal com mudanças sucessionais e reposição gradual de propágulos das espécies características conferindo aumento da complexidade estrutural e funcional ao longo do tempo e espaço, assim como considerada valorização e reconhecimento pela população ribeirinha dos serviços retornados pelo ecossistema como ventilação, chuva, o uso dos rios, temperatura do ar e beleza cênica.

## 1.7 OBJETIVOS

### 1.7.1 Geral

Compreender a dinâmica dos serviços ecossistêmicos de manguezal em torno dos fluxos de CO<sub>2</sub> e energia, a produção primária de carbono na interface biosfera – atmosfera sob a influência dos elementos físicos do clima, do ciclo da maré, da ecofisiologia da floresta e como esses SE retornam à comunidade pesqueira na forma de serviços diretos e indiretos a partir da percepção da liderança local.

### 1.7.2 Específicos

Como objetivos específicos, definiu-se as seguintes prioridades:

- Estudar os fluxos turbulentos de energia e de CO<sub>2</sub> na escala diária e sazonal, sob influência da velocidade e direção do vento, a influência da precipitação sobre as concentrações de salinidade do solo e a relação dessas variáveis com a ecofisiologia do mangue, analisando o papel ambiental desempenhado pelo ecossistema na função fonte/sumidouro de carbono;

- Analisar a produtividade primária bruta (GPP), a troca líquida do ecossistema (NEE), a respiração autotrófica e heterotrófica do ecossistema, a taxa de armazenamento de CO<sub>2</sub> no dossel da floresta (*S*) dentro de um ciclo diário e sazonal, sob influência do balanço de energia, o comportamento médio da velocidade e direção do vento nas componentes *u*, *v* e *w*, assim como a influência da precipitação sobre as concentrações da salinidade do solo para o ano de 2015 e sua relação com a abscisão foliar;

- Analisar a relação da comunidade pesqueira com o ecossistema de manguezal, buscando compreender como ocorre o reconhecimento e a valorização dos serviços ecossistêmicos através do valor de uso e não uso destes serviços e a forma de transmissão das decisões (ou do conhecimento) para os demais membros da organização.



## 1.8 ESTRUTURA DA TESE

A organização desta tese está estruturada em quatro capítulos, onde o capítulo I, apresenta a introdução dos temas principais, a questão norteadora do trabalho, o referencial teórico e a metodologia geral empregada na área de estudo.

O capítulo II é uma análise do balanço de energia e do fluxo de CO<sub>2</sub> sob influência da sazonalidade dos elementos climáticos para o ano de 2015, sob efeito do ENOS, analisando a função fonte/sumidouro do ecossistema no manguezal de Cuiarana. Este capítulo está submetido e encontra-se em revisão na revista *Earth Interactions* – qualis A2.

O capítulo III é um estudo do saldo da troca sazonal de CO<sub>2</sub> entre o manguezal e a baixa troposfera, investigando o armazenamento de carbono no dossel da floresta (*S*), bem como o saldo líquido de carbono no dossel, a produção primária bruta e a respiração do ecossistema. A proposta é submeter este artigo para a revista *Global Change Biology* – qualis A1.

O capítulo IV, tem como título - Caracterização dos Serviços Ecossistêmicos em um manguezal Amazônico a partir da percepção da comunidade pesqueira, representada pela liderança local. O objetivo foi analisar a valorização dos SE em torno do manguezal de Cuiarana segundo a perspectiva dos ocupantes de cargos de liderança. Este capítulo está submetido na revista *Ambiente e Sociedade* – qualis A2.

O capítulo V é um fechamento da tese apresentando uma discussão geral abordando os principais resultados chaves, algumas prioridades para pesquisas futuras e as considerações finais.

## CAPÍTULO II ANÁLISE DO BALANÇO DE ENERGIA E DO FLUXO DE CO<sub>2</sub> SOB INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS EM UM ECOSISTEMA DE MANGUEZAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL

### RESUMO

Realizou-se um estudo num ecossistema de manguezal na costa nordeste da Amazônia brasileira, através da técnica de eddy covariance (*EC*), com o objetivo de compreender o comportamento dos elementos climáticos, radiação global (*R<sub>g</sub>*), radiação líquida (*R<sub>n</sub>*), temperatura e umidade do ar, precipitação, velocidade e direção do vento horizontal, assim como os fluxos turbulentos de calor sensível (*H*), calor latente (*LE*) e de carbono (*f<sub>CO2</sub>*), em ano de El Niño (2015), associado a função sazonal fonte/sumidouro de CO<sub>2</sub> pelo ecossistema. Verificou-se neste ano uma drástica redução dos volumes pluviométricos, onde choveu 1.738,5 mm, equivalente a 63,7% do esperado climatológico. A umidade relativa do ar teve seus maiores valores no período chuvoso, com máximas às 9 h da manhã (77,8%) e evidente decréscimo no período menos chuvoso. A temperatura do ar registrou maior valor em dezembro às 12 h, com 31,2 °C. As observações sobre *R<sub>g</sub>*, *R<sub>n</sub>* e *H*, mostram que essas variáveis assumiram maiores valores à tarde, com 792,2 W/m<sup>2</sup>, 572,2 W/m<sup>2</sup> e 241,1 W/m<sup>2</sup> respectivamente. Para o *LE* verificou-se que o maior valor ocorreu às 14 h do período chuvoso com 171,2 W/m<sup>2</sup>. Quanto ao *f<sub>CO2</sub>*, constatou-se que as maiores magnitudes tanto de fotossíntese, quanto de respiração autotrófica e heterotrófica do ecossistema, ocorreram no período chuvoso em função da precipitação, radiação fotossinteticamente ativa ideal, menor salinidade do solo, e maior NDVI do ecossistema. No 2º semestre, verificou-se que a diminuição da nebulosidade, com maior oferta de radiação no dossel da floresta, acompanhado de redução da precipitação e elevação do valor de *H*, com aumento da salinidade do solo, favoreceram a elevação da abscisão foliar pelos gêneros dominantes, *Rhizophora* e *Avicennia*, assim, influenciando na redução das magnitudes das funções fonte/sumidouro de carbono no ecossistema durante esta estação, mesmo nos dias de maré alta.

Palavras chaves: carbono, ENOS, energia, mangue, manguezal, elementos climáticos.

Artigo submetido na Revista Earth Interactions, qualis A2, segundo o comitê de ciências ambientais, de 2016.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Os manguezais são sistemas ecológicos costeiros característicos de áreas estuarinas de transição entre os ambientes terrestres e marinhos, estando sujeitos ao regime das marés. Representam um considerável fluxo de massa e energia, onde o saldo desta energia e o carbono envolvido na troca biosfera-atmosfera, são transformados em matéria orgânica, a partir de assimilados simples na forma de moléculas estruturais e energéticas, contribuindo na dinâmica ecológica das diferentes populações bióticas representadas pela flora e fauna características deste ecossistema (SCHEDLBAUER et al., 2010).

As florestas de manguezais representam cerca de 8% de toda linha costeira dos territórios tropicais e subtropicais do planeta, perfazendo um total de 137.760 km<sup>2</sup>. O Brasil é o terceiro país em extensão de manguezais, com uma área de 9.623,83 km<sup>2</sup>, estendendo-se do Estado do Amapá, até seu limite sul em Santa Catarina. Verifica-se no manguezal uma considerável variação de comunidades biológicas, onde este ecossistema funciona em determinadas épocas do ano com um berçário para uma considerada variedade de espécies de invertebrados e vertebrados (GIRI et al., 2011; LEE et al., 2014).

Pesquisas sobre a variabilidade horária dos principais elementos meteorológicos em um ecossistema de manguezal no nordeste do estado do Pará, nos anos de 2001 a 2003 verificaram que as maiores temperaturas médias do ar ocorreram no mês de dezembro, enquanto que as menores ocorreram no mês de abril, sendo a temperatura média anual do ar de 27°C. A umidade relativa do ar apresentou valor médio anual de 83%. O balanço de energia mostrou uma grande sazonalidade evidenciando a influência da nebulosidade local, no comportamento destes fluxos energéticos (SILVA JUNIOR et al., 2006).

Medições micrometeorológicas neste mesmo ecossistema da costa nordeste paraense entre novembro de 2002 a agosto de 2003, mostraram que as variações sazonais e horárias do fluxo de calor sensível e calor latente, bem como a avaliação da partição de energia e o saldo de radiação apresentaram valores mais elevados no período menos chuvoso. A razão de Bowen mostrou valor geralmente baixo no período chuvoso, o que indica que uma proporção maior de energia foi utilizada sob a forma de calor latente (PEREIRA; RODRIGUES, 2013).

Estudos sobre as trocas líquidas de CO<sub>2</sub> (NEE), a produção líquida anual do ecossistema (NEP), e as condições meteorológicas e ambientais que favorecem tais fenômenos, numa floresta de mangue na Flórida EUA, verificaram que o NEE máximo diurno, que representa a estimativa

da atividade fotossintética, variou de  $-20$  a  $-25 \mu\text{.mol (photons) m}^{-2}\text{.s}^{-1}$ ) entre os meses de março e maio. A respiração do ecossistema foi altamente variável  $2,8 \pm 2,4 \mu\text{.mol (CO}_2\text{) m}^{-2}\text{.s}^{-1}$ , atingindo valores máximos durante a estação úmida de verão. Durante a estação seca de inverno, a assimilação de  $\text{CO}_2$  na floresta aumentou em função do incremento da radiação solar difusa em resposta a maior transferência radiativa no dossel da floresta. Durante todo o ano de estudo de 2004, a floresta se comportou como um sumidouro de  $\text{CO}_2$  atmosférico, com produção líquida do ecossistema anual em torno de  $1.170\text{g Cm}^{-2}$ . Este NEP excepcionalmente elevado foi atribuído à produtividade durante todo o ano e a baixa respiração do ecossistema que atingiu valores máximo de apenas  $3\text{g/cm}^{-2}\text{d}^{-1}$  (BARR et al., 2010).

Tem-se, portanto, como objetivo neste trabalho calcular o acumulado mensal da precipitação para o ano de 2015, comparando com a climatologia da região, analisando a anomalia de precipitação sob influência do índice de oscilação sul (IOS). Estudar através do ciclo diurno, considerando a hora local (h), a radiação global (Rg), o saldo de radiação (Rn), assim como o balanço de energia, através do ciclo diurno do fluxo de calor sensível (H) e calor latente (LE), para o ecossistema de manguezal em ano de El Niño. Realizou-se também, a partir de dados observados, a caracterização da temperatura e a umidade relativa do ar, na escala horária, assim como também foi calculado o ciclo diurno do fluxo de  $\text{CO}_2$  ( $f_{\text{CO}_2}$ ). Observou-se também o comportamento dos fluxos turbulentos sob efeito do ciclo da maré.

## 2.2 METODOLOGIA

### 2.2.1 Caracterização Geológica e Florística do Manguezal da costa nordeste do Estado do Pará

O nordeste do estado do Pará apresenta em sua costa uma formação geológica datada do período do Holoceno, onde a elevação da salinidade das águas das marés (durante o Holoceno inicial e médio) no setor fluvial, pode ser atribuído ao episódio de aumento do nível do mar no Atlântico. Acredita-se que a região pode ter sido submetida à uma complexa interação de vários fatores, consistindo principalmente de mudanças no nível do mar, taxas de subsidência e mudanças no clima, sendo este último fator o de maior potencial para ter afetado a descarga do rio Amazonas. O mais provável é que todos esses fatores atuassem juntos e controlassem a distribuição de manguezais nessa região (BEHLING; COHEN; LARA, 2001; COHEN et al., 2012; PUJOS; LATOUCHE; MAILLET, 1996; SOUZA FILHO, 2005).

Os manguezais da costa nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, denominados de Costa de Manguezais de macromaré da Amazônia, caracterizam-se por um relevo baixo, variando entre 0 a 80 m, apresentando ampla planície costeira, com até 70 km de largura, e extensa plataforma continental adjacente, aproximadamente com 200 km de largura, sendo extremamente irregular, endentada e recortada por vários estuários (SOUZA FILHO, 2005).

A caracterização florística deste ecossistema constitui-se de espécies vegetais lenhosas, típicas deste bioma, com a ocorrência de angiospermas halófitas pertencentes as famílias: Combretaceae, destacando-se as espécies *Conocarpus erectus* L. (mangue de botão) e *Laguncularia racemosa* L. (mangue branco); na família Rhizophoraceae, destaca-se as espécies *Rhizophora mangle* L. (mangue vermelho) e *Rhizophora racemosa* G.F.W. Meyer e a família Acanthaceae, onde encontram-se as espécies *Avicennia germinans* (denominada também de siriúba) e *A. schaueriana* (mangue preto) (FERREIRA, 1989; MENEZES; BERGER; MEHLIG, 2008).

Para além destas espécies de angiospermas, há uma diversidade de algas planctônicas, caracterizadas por colonizarem sedimentos predominantemente lodosos, que atuam na produção primária, atraindo uma variedade de espécies representadas por invertebrados, destacando-se o crustáceo *Ucides cordatus* L., e uma diversificada população de peixes, anfíbios répteis e aves migratórias (NAGELKERKEN et al. 2008; SHEAVES, 2005).

Observações meteorológicas demonstram que nesta região ocorre a formação de linhas de instabilidades, circulação de brisa marítima e o escoamento médio do vento horizontal de nordeste, com velocidade média de  $7 \text{ m.s}^{-1}$  para o horário entre às 6h e 12h local (GERMANO et al., 2017; MORAES et al. 2005; SILVA JUNIOR et al., 2006).

Estudos sobre a salinidade do solo de manguezais do município de Bragança, Pará, verificaram que este fator ambiental acompanha o ciclo das chuvas, onde na estação chuvosa há uma diminuição da salinidade do solo, com gradativo aumento a medida em que ocorre redução da precipitação no segundo semestre (KOCH; WOLFF, 2002; MEHLING, 2006 ).

### **2.2.2 Caracterização do Sítio Experimental e Instrumentação da Torre Micrometeorológica**

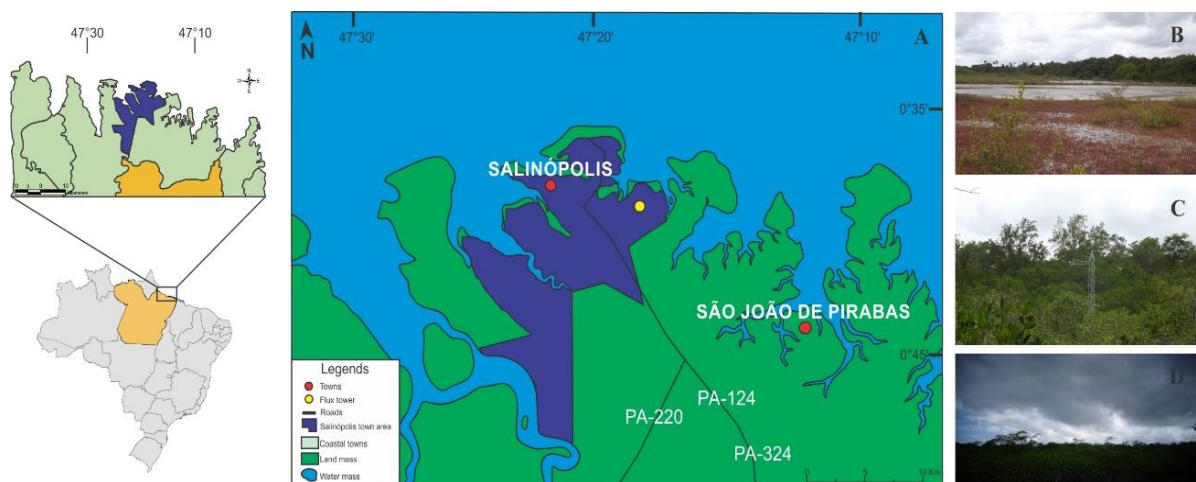
A coleta dos dados micrometeorológicos foi realizada no sítio experimental de Cuiarana, vilarejo próximo ao centro urbano do município de Salinópolis, nordeste do estado do Pará (figura 1A), sob as coordenadas  $00^{\circ}39'50''\text{S}$ ,  $47^{\circ}17'10''\text{O}$ . Este sítio apresenta uma área em

estado de sucessão ecológica (1B), com espécies arbóreas típicas de manguezal, circundada por mangue maduro, onde ocorre a dominância dos gêneros *Avicennia* (85,56%) e *Rhizophora* (11,47%), num solo caracterizado como hipersalino, com árvores com alturas médias de  $9,5 \pm 4,5$ (m), tendo as espécies *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* (L.) Stearn. e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn., as seguintes densidades relativas respectivamente 30,22%, 58,27% de e 11,51% (DE CARVALHO; JARDIM, 2017).

A climatologia da região, segundo Köppen é do tipo Am, caracterizando-se por temperaturas do ar com média anual em torno de 26°C e precipitação anual entre 2.300 mm a 2.800 mm, definindo assim duas estações caracterizadas como período chuvoso, com início em janeiro e término em maio, sendo os meses de junho e julho de transição e período menos chuvoso a partir do mês de agosto a novembro, tendo o mês de dezembro como a transição entre o período menos chuvoso e chuvoso, contudo, neste estudo, para os cálculos dos ciclos diários, considerou-se os meses de junho, julho e dezembro integrantes do período menos chuvoso devido ao efeito do ENOS (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; MOLION, 1987; PEEL; FINLAYSON; McMAHON, 2007).

Foi instalada uma torre micrometeorológica (1C), equipada com o sistema *eddy covariance* (EC), de alta frequência para o estudo dos fluxos turbulentos assim como sensores de baixa frequência para coleta de dados meteorológicos.

Figura 1 Localização da área de estudo na costa nordeste do Estado do Pará, com destaque para o município de Salinópolis, onde se localiza o sítio experimental de Cuiarana.



Fonte: Autor/2018

Os sensores de alta e baixa frequência da torre do mangue, foram instalados numa estrutura de alumínio, que estão a 10 metros de altura do solo e 2 metros acima do dossel do bosque, cuja representação do “alcance” da torre tem uma equivalência de 1 Km<sup>2</sup> de diâmetro. Os dados de alta e baixa frequência integram dois conjuntos distintos de variáveis registrados em dois *Dataloggers* diferentes, modelo CR1000, equipado com adaptador de cartão de memória.

Os dados meteorológicos compostos pela precipitação (mm), R<sub>g</sub> (W/m<sup>2</sup>), R<sub>n</sub> (W/m<sup>2</sup>), temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%), foram coletados respectivamente pelos seguintes sensores: Pluviômetro (TE 525mm/raingauge), Piranômetro-CS 300/Campbell, saldo-radiômetro, Quantum Sensor LI-190 SB, sensor para temperatura e umidade relativa do ar CS 215/Campbell. A radiação fotossinteticamente ativa (RFA)  $\mu\text{mol (photons) m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  foi calculada empiricamente a partir da R<sub>g</sub>. Para o cálculo do balanço de radiação, considerou-se a equação (1) cujos termos do cálculo são expressos por:

$$R_n = H + LE + G \quad (1)$$

Onde R<sub>n</sub> (ou R<sub>net</sub>) é a radiação líquida, H - calor sensível, LE - calor latente e o termo G representa o fluxo de energia que se propaga no submeio. Para o balanço de energia neste ecossistema de mangue, realizou-se a estimativa do fluxo de calor no solo (G) em Cuiarana, por meio da aplicação de uma equação de regressão entre o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo medidos por Barr et al. (2012), que apresentou um coeficiente de determinação com R<sup>2</sup>= 0,63, quando realizaram estudos semelhantes a este, no manguezal no sul da Flórida entre os anos de 2004 e 2009. A justificativa para a aplicação desta metodologia foi a boa correlação entre a radiação líquida entre as estações chuvosas (0,83) e seca (0,94) entre os manguezais dos Everglades da costa da Flórida e Cuiarana, costa nordeste do Pará.

Para obtenção dos dados turbulentos, utilizou-se a técnica de *EC*, para o cálculo do  $f_{\text{CO}_2}$ , LE e H. Este sistema é composto por um analisador de gás infravermelho do tipo “open path”, acoplado um anemômetro sônico 3D, que mede as três componentes da direção do vento em graus e a velocidade em m.s<sup>-1</sup>, modelo CSAT-3A, ambos da Campbell Scientific, Logan, Utah, USA. O armazenamento destes dados de alta frequência (10 Hz), foram programados para gerar valores médios para cada 30 minutos, totalizando assim 48 pontos de dados contínuos para cada 24 h, considerando-se a hora local (MONCRIEFF et al., 1997).

A técnica de correlação de vórtices turbulentos consiste no cálculo da covariância entre as flutuações da componente vertical da velocidade do vento  $w'$ , simultaneamente com a quantidade conservativa do escalar de interesse, ou seja, para o cálculo do fluxo de carbono, têm-se a covariância do  $w'$  com a concentração do gás carbônico (equação 1); para o fluxo de calor latente, tem-se a covariância entre  $w'$  e a umidade específica (equação 2) e para o fluxo de calor sensível é necessário a covariância do  $w'$  com a temperatura do ar (equação 3).

$$F_c = \rho \overline{w' C'} \quad (2)$$

$$LE = \rho \lambda \overline{w' q'} \quad (3)$$

$$H = \rho c_p \overline{w' T'} \quad (4)$$

Onde  $\rho$  é a densidade absoluta do ar;  $w'$  a flutuação da componente vertical da velocidade do vento;  $C'$  o desvio instantâneo a partir da média da concentração de CO<sub>2</sub>;  $\lambda$  o calor latente de vaporização da água;  $q'$  o desvio instantâneo a partir da média da umidade específica;  $c_p$  o calor específico do ar à pressão constante;  $T'$  o desvio instantâneo a partir da média da temperatura do ar.

A coleta dos dados foi feita mensalmente, sendo convertido no programa LoggerNet 4.3 e em seguida processados no software Alteddy 3.9. Para se calcular os fluxos de H, LE e  $f_{CO_2}$ , o software foi configurado para aplicar uma rotação bidimensional para o sistema de coordenadas de modo que os componentes do vento horizontal, foram alinhados com o fluxo principal e a velocidade vertical média é forçado a zero. Utilizou-se também a correção Webb para corrigir os efeitos da humidade característica da área de estudo sobre a temperatura medida pelo anemômetro sônico, buscando-se assim ajustar os efeitos da densidade do ar sobre as medições do analisador de gás de caminho aberto (KAIMAL; FINNIGAN, 1994; WEBB; PEARMAN; LEUNING, 1980).

### 2.2.3 Análise dos Dados

#### a) Método Aplicado para Análise dos Erros nos Dados gerados

O conjunto de dados dos fluxos turbulentos para o ano de 2015 apresentou períodos com falhas de funcionamento, referente a dias de chuva, elevada umidade do ar e salinidade do ambiente, com aproximadamente 93 dias sem registro e meses comprometidos como janeiro em que não houve geração de dados. Para o conjunto dos dados restantes processados pelo *Alteddy*,



aplicou-se filtros de qualidades nos registros dos fluxos de saída, optando-se por flags de qualidade de 1 a 3 que apontam para um melhor padrão de informação. Reforçando este padrão metodológico, considerou-se também o descarte do intervalo dos dados de fluxo nas horas em que houve dados noturnos com  $u^* \leq 0,20 \text{ m/s}^{-1}$ . Desta forma decidiu-se em não se aplicar nenhuma metodologia de preenchimento, visto que, a filtragem destes dados comprometidos equivaleu a 17% do conjunto dos dados gerados. Após a aplicação destes critérios, obteve-se 105 dias de dados úteis para o período chuvoso e 167 dias de dados úteis para o período menos chuvoso.

#### b) Precipitação

Para efeito de comparação da variabilidade de precipitação, realizou-se uma análise dos dados acumulados mensais para o ano 2015. Tais dados foram comparados com a climatologia de 33 anos (1978 a 2010) da estação meteorológica da agência nacional das águas (ANA), no município de Salinas. Considerando a precipitação de 2015, realizou-se um estudo da anomalia, associado a análise dos índices de oscilação sul (IOS), obtidos no site do NCEP/NCAR, para compreensão dos efeitos da temperatura da superfície do mar (TSM) do oceano pacífico, sob a precipitação na Amazônia.

#### c) Energia

Para os dados de H, LE, e  $f_{\text{CO}_2}$ , obtidos do sistema EC, e os de Rg e Rn, calculou-se o ciclo diurno, para compreender o comportamento desses escalares na escala horária, em um ano de El Niño de magnitude 1,25. A radiação fotossinteticamente ativa foi utilizada para efeito de análise para compreender o horário e a faixa espectral que possibilita a eficiência da fotossíntese.

#### d) Dados da salinidade do solo e área foliar do dossel do mangue

Para testar a hipótese do comportamento sazonal do fluxo de carbono a partir da abscisão foliar, realizou-se duas análises, sendo a primeira sobre a salinidade da água dos poros do solo numa área de  $1\text{Km}^2$  na periferia da torre de EC com um refratômetro portátil modelo ATAGO, onde foram coletadas seis amostras em abril de 2015 com resultado médio igual a 32,3 ppm (parte por milhão) e outras seis amostras coletadas em novembro de 2015, com resultado médio de 70 ppm.

A segunda análise foi através de sensoriamento remoto por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), para os canais 3 e 4 do landsat 8 (vermelho e infravermelho

respectivamente) para os meses que apresentaram melhores condições de análise, portanto obteve-se imagens de fevereiro e setembro de 2015, a fim de se justificar a ocorrência da abscisão foliar pela reflectância da radiação pela clorofila.

No mês de fevereiro verificou-se NDVI de  $0,75 \pm 0,05$  e para o mês de setembro o NDVI foi de  $0,69 \pm 0,04$ .

#### e) Ciclo da maré

Outro dado analisado foi sobre o ciclo das marés local que são classificadas como semidiurnas e fracamente assimétricas, com período de inundação de até 6 h e 40 minutos, com registros de alturas máximas de 5,5 m durante os equinócios de primavera. As correntes têm direção predominante de noroeste durante as marés de inundação e de sudeste nas marés de refluxo. As velocidades de corrente mais altas foram registradas durante a maré de inundação, com máximo de 0,5 m/s em março e setembro, enquanto que para as marés de refluxo (março e junho), as velocidades máximas atingiram valor de 0,4 m/s (PINTO et al., 2011).

As informações sobre o ciclo da maré para o ano de estudo foram coletadas do fundeadouro da marinha em Salinópolis, que se constituem em dados diários semidiurnos. Considerou-se apenas as informações das marés mais altas, por apresentarem as possibilidades de inundação do solo do manguezal de Cuiarana.

#### f) Cálculo do fluxo e balanço de energia sazonal sob efeito do ciclo da maré

Para análise das medições dos fluxos turbulentos de energia (H, LE e G), sob influência da maré alta e seca nos períodos chuvoso e menos chuvoso, foram selecionados os meses de abril e outubro para representar ambas as estações respectivamente. Selecionou-se os quatro horários de irradiância mais elevada (11h, 12h, 13h e 14h), que constituíram os quatro pontos de dados analisados nos dias dos meses estudados sob influência do ciclo da maré.

No mês de abril os dias julianos de 99 a 102 representaram os dados dos fluxos durante a maré cheia e os dias 105 a 108 representaram os dias em que os dados foram analisados na maré seca. Para o mês de outubro, os dias julianos de 277 a 280, representaram os dias analisados para a maré cheia, enquanto que de 297 a 300, representaram os dias de maré seca. Tirou-se a média dos dados selecionados para o intervalo dos dias selecionados, gerando um único valor para cada variável para os meses de abril e outubro sob influência da maré alta/seca.

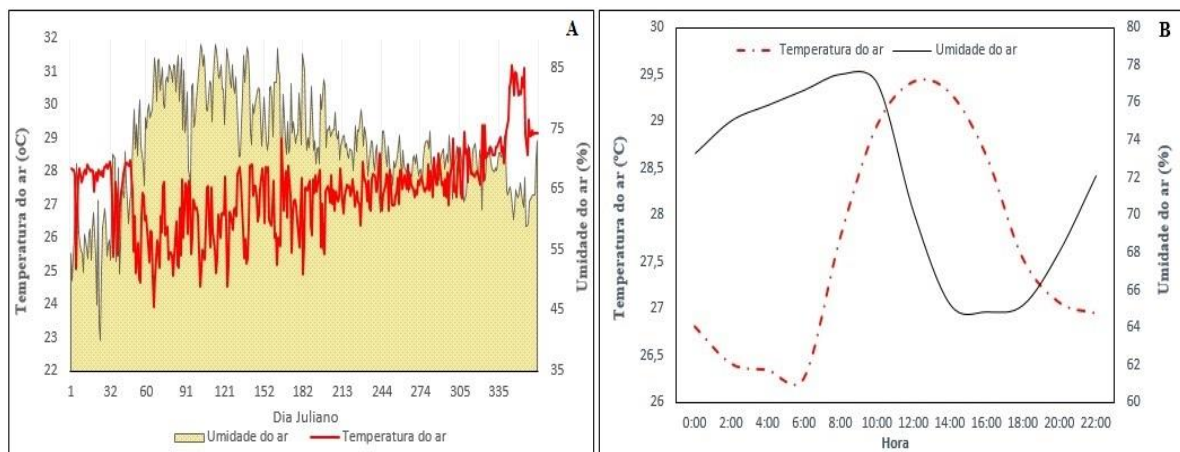
## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Análise dos dados meteorológicos para o ano de 2015

A análise diária da temperatura do ar no ecossistema de manguezal apresentou uma marcha com valores inversos a umidade relativa do ar ao longo do ano, onde o pico da temperatura em 2015 foi no dia 11 de dezembro com 31,2°C às 12 h, enquanto que a menor temperatura ocorreu no dia 7 de março com 23,9°C às 5:30 da manhã. O ciclo diurno da temperatura do ar para o ano de 2015, mostra que entre às 10 h e 16 h esta variável atinge e mantém por quase 6 h valores entre 27 e 28°C (figura 2A e 2B).

A umidade relativa do ar manteve seus maiores valores durante a estação chuvosa com gradativo decaimento para a estação menos chuvosa. Dentro do ciclo diurno, verificou-se que os maiores valores da humidade do ar (77,8%) ocorrem às 9h da manhã e os menores valores foram registrados às 17 h, com 64,7% (figura 2A e 2B).

Figura 2 Marcha diária da temperatura e umidade relativa do ar (A) e ciclo diário da temperatura e umidade do ar (B).



Fonte: Autor/2018

Os dados acumulados mensais de precipitação, para o ano de 2015, totalizaram 1.738,58 mm. Quando comparados com a média climatológica de 33 anos (de 1978 a 2010) para o município de Salinópolis, cujo valor acumulado anual foi de 2.727,45 mm. Verificou-se que a precipitação em 2015, representou 63,7%, do total esperado, com déficit de 988,8 mm. Em relação ao volume de chuva do ano de 2014, que teve um acumulado anual de 2.607,2 mm,

verificou-se que em 2015 choveu 66,6% do volume do ano anterior, representando um déficit de 868,6 mm.

Dados do NCEP/NOAA (2017) demonstram que a Amazônia brasileira esteve durante o ano de 2015 sob influência da anomalia El Niño oscilação sul (ENOS), cuja média anual da magnitude do índice El Niño oceânico foi de 1.25 com maior amplitude no trimestre de 2014, outubro, novembro dezembro (2.3), influenciando assim a considerável redução na precipitação na região em 2015 (figura 3).

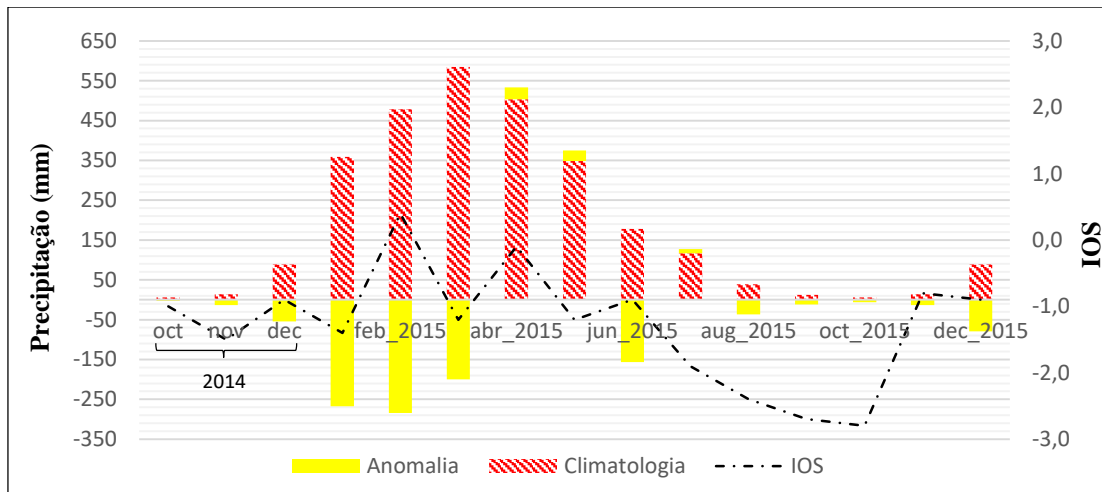
Para o período chuvoso, de janeiro a maio de 2015, registrou-se o acumulado 1.577,4 mm, representando 69% do esperado, quando a previsão climatológica para este período era de 2.273,5mm. Os meses iniciais do período chuvoso (janeiro a março) apresentaram anomalias negativas de precipitação. Ressalta-se que esses meses são caracteristicamente de elevada precipitação na Amazônia.

Estudos climatológicos de Silva Jr. et al. (2006) e Pereira e Rodrigues (2013) no ecossistema de manguezal de Bragança, Pará, verificaram que os meses de fevereiro, março e abril são os mais chuvosos, ressaltando-se que o mês de março foi o de maior valor acumulado, com valores acima de 700 mm para os anos de 2001 a 2003.

No período menos chuvoso do ano de 2015, compreendido entre os meses de agosto a dezembro, a precipitação observada foi bastante anômala em relação ao esperado para a estação. O total acumulado da precipitação do período foi de 12,3 mm, enquanto que a climatologia previa 159,8 mm de chuva, portanto, nesses meses choveu apenas 7,7% do esperado climatológico. Silva Jr. et al. (2006), descreveram um comportamento da precipitação semelhante aos observados em Cuiarana, com considerada redução de precipitação no período menos chuvoso, ressaltando que dos meses de agosto a novembro os valores acumulados de chuva representaram 0,2% do volume total anual para os anos de observação de 2001 a 2003.

Zeng (1998), ao realizar estudos sobre o ciclo sazonal e a variabilidade interanual do ciclo hidrológico amazônico, constatou que existe uma boa correlação positiva entre o IOS e as anomalias de precipitação que ocorrem na Amazônia, para uma defasagem temporal de três a quatro meses dos eventos ocorridos no pacífico equatorial, portanto, ressalta-se assim que o IOS de -1,5 do mês de novembro de 2014, sendo a maior anomalia negativa deste ano, possivelmente esteve influenciando os valores anômalos de precipitação nos meses fevereiro e março de 2015 (figura 3).

Figura 3 Gráfico da climatologia de 33 anos (1978 a 2010), acompanhado do cálculo da anomalia mensal para o ano de 2015 sob influência do índice de oscilação sul (IOS).



Fonte: Autor/2018

Marengo (1992) e Marengo e Nobre (2009), observaram que o jato subtropical de oeste na alta troposfera, durante o inverno austral, é mais intenso e mais próximo do equador do que no verão, estando associado à diminuição da convecção sobre a Amazônia. Estes autores verificaram que durante o inverno austral a circulação da baixa troposfera na região, caracteriza-se pela posição mais ao norte do cavado equatorial de baixa pressão, diminuindo a intensidade dos ventos alísios e o ingresso de umidade, provenientes do Atlântico.

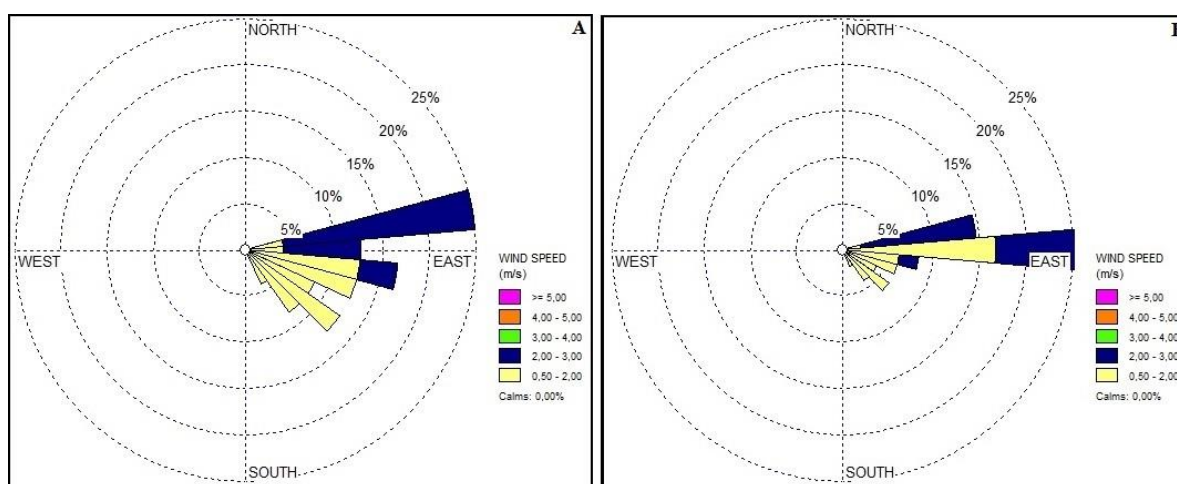
Tais observações reforçam a discussão de Nobre, Obregón e Marengo (2009), que afirmam que a convecção tropical local se constitui num dos principais processos para a formação de precipitação em toda a bacia amazônica, sendo modulada pelas circulações de grande escala, como a célula de Hadley, o posicionamento da ZCIT e a circulação zonal da célula de Walker.

Desta forma as pesquisas de Marengo e Hastenrath (1993), Ronchail et al (2002) e Souza et al. (2004), verificaram que o enfraquecimento da convecção na bacia amazônica durante eventos de El Niño é comumente explicado por uma mudança na subsidência induzida na circulação de Walker. Estes autores mostram que o deslocamento zonal da célula de Walker, em consequência do ENOS, favorece a redução do movimento ascendente, durante eventos de El Niño, sobre o norte e nordeste da América do Sul, o que desencadeia na redução dos volumes precipitantes na Amazônia.

Assim acredita-se que a ocorrência de IOS para os meses de julho (-1.9), agosto (-2.4) e setembro (-2.7) de 2015 estiveram influenciando a baixa precipitação dos meses de setembro (0.0 mm), outubro (0.0 mm) e novembro (0.1 mm) deste respectivo ano, com profunda redução na chuva para a região onde a climatologia para esse trimestre esperava um volume de 31,7 mm.

As observações para a direção e velocidade do vento no sítio experimental de Cuiarana, estão de acordo com os estudos de Germano et al. (2017) sobre a circulação de brisa para o leste da Amazônia, onde verifica-se que o ciclo diurno da direção do vento apresenta um máximo de Nordeste e Leste (figuras 4A e 4B), com velocidade média do vento entre às 10h e 17h, de  $2,21 \text{ m.s}^{-1}$  para o período chuvoso e de  $3,0 \text{ m.s}^{-1}$  no período menos chuvoso, caracterizando a ocorrência da brisa marítima (BM) na mesma direção dos ventos alísios, onde a BM é mais frequente durante o período de 9h a 18h local.

Figura 4 Caracterização da velocidade e direção do vento Sazonal: Período chuvoso (A) e Período menos chuvoso (B).



Fonte: Autor/2018

Observou-se também que a brisa terrestre (BT) ocorre na direção do vento de Sudeste/Sul, no período chuvoso, sendo a hora mais frequente da circulação entre às 00 h e 6 h local. Portanto, a circulação da BT é menos intensa quando comparada a BM, uma vez que se opõe à direção do fluxo médio. Para o período menos chuvoso o escoamento da brisa terrestre foi menos intenso comparada a BM, com velocidade média de  $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ , entre 00h e 6h local.

Constatou-se que a velocidade do vento horizontal aumenta durante o dia, com a ocorrência da turbulência térmica associado a BM, e também por este escoamento se localizar no mesmo quadrante do fluxo médio dos ventos alísios. Verificou-se que, o aumento da velocidade do vento horizontal, a partir de  $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ , promove a diminuição da concentração de  $\text{CO}_2$  de 500 partes por milhão/volume (ppmv) para 350 ppmv, tal como Silva Junior et al. (2004)

observaram em seus estudos sobre a concentração diurna de CO<sub>2</sub> numa área de pastagem na floresta amazônica.

### **2.3.2 Estudos da Radiação global e líquida e dos fluxos de energia acompanhado do ciclo diurno para o período chuvoso e menos chuvoso**

Os dados de R<sub>g</sub> e R<sub>n</sub> e os de H e LE obtidos do *EC* foram transformados em médias horárias, afim de gerar 24 pontos de dados, para que houvesse uma representação para cada hora do dia do ano de 2015. As observações gerais dos dados do balanço de radiação no manguezal, mostraram que as maiores magnitudes para o R<sub>g</sub>, R<sub>n</sub> e H, ocorreram no período menos chuvoso, enquanto que os valores para o LE foram maiores no período chuvoso (tabela 1).

Nos dados sobre R<sub>g</sub>, verifica-se que o horário das 13 h tem as maiores magnitudes de incidência de radiação de onda curta, com  $673,8 \text{ W/m}^2 \pm 24,15$  no período chuvoso e  $792,2 \pm 10,7 \text{ W/m}^2$  no período menos chuvoso (figuras 5A e 5B). Para a R<sub>n</sub>, o horário das 13 h dos períodos, chuvoso e menos chuvoso também tiveram as maiores magnitudes, com  $469 \pm 18,2 \text{ W/m}^2$  e  $572,2 \pm 7,9 \text{ W/m}^2$  respectivamente (tabela 1).

A diferença radiativa no horário (14 h) de máxima radiação de onda curta e difusa da estação menos chuvosa para a mais chuvosa é de  $148,4 \text{ W/m}^2$  enquanto que para a radiação líquida, às 13 h é de  $103,9 \text{ W/m}^2$ , ratificando que a sazonalidade na região é bastante marcante, caracterizada pela diminuição da nebulosidade, devido o deslocamento da zona de convergência intertropical, nos meses da estação menos chuvosa, possibilitando uma maior entrada de radiação para a superfície, favorecendo maior disponibilidade energética para os processos físicos da baixa troposfera.

Fernandes (2016), estudando a configuração climática através do balanço de radiação e índices de transmissividade (Kt) de radiação de onda curta no ecossistema de manguezal em Cuiarana, verificou que para os meses de fevereiro, março e abril, Kt assume os menores valores do ano devido à maior reflectância da radiação nesta estação, com consequente diminuição da disponibilidade energética no dossel da floresta.

Tabela 1 Valores máximos e mínimos da média da radiação e energia para o período chuvoso e menos chuvoso do ano de 2015, no sítio experimental de Cuiarana, Pará.

	PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO MENOS CHUVOSO	
	valor máx.	valor min.	valor máx.	valor min.
Rg	643.8 W/m <sup>2</sup> 14:00 H	0.0 W/m <sup>2</sup> 00:00 H	792.2 W/m <sup>2</sup> 14:00 H	0.0 W/m <sup>2</sup> 1:00 H
Rn	469 W/m <sup>2</sup> 13:00 H	-33.4 W/m <sup>2</sup> 20:00 H	572.2 W/m <sup>2</sup> 14:00 H	-47.7 W/m <sup>2</sup> 00:00 H
LE	171.2 W/m <sup>2</sup> 14:00 H	9.96 W/m <sup>2</sup> 2:00 H	139.5 W/m <sup>2</sup> 14:00 H	5.8 W/m <sup>2</sup> 6:00 H
H	187.7 W/m <sup>2</sup> 14:00 H	-21.7 W/m <sup>2</sup> 22:00 H	241 W/m <sup>2</sup> 14:00 H	-27 W/m <sup>2</sup> 5:00 H

Fonte: Autor/2018

A análise do particionamento da energia entre calor latente e calor sensível para as duas estações, mostra que o LE predomina nos processos energéticos por muito mais tempo ao longo do dia (noite e madrugada), e que a magnitude do H é maior que o LE na estação chuvosa por 5 h, entre às 11h da manhã e às 16h, onde os valores máximos para o H e LE, ocorreram às 14h com  $187,7 \text{ W/m}^2 \pm 3,8$  e  $171,2 \text{ W/m}^2 \pm 4$ , respectivamente. Contudo esta característica observada no período chuvoso, é marcado por um particionamento muito próximo entre H e LE durante o dia, ratificando assim a disponibilidade hídrica no sistema na forma de umidade do ar, chuva e nos pulsos de maré, possibilitando a eficiência dos fenômenos fisiológicos do mangue, principalmente nas trocas gasosas entre o vapor d'água e o CO<sub>2</sub> atmosférico, para incremento de biomassa através da fotossíntese (figura 6A).

A partir do mês de junho até o mês de dezembro, entre 9h e às 17h, verifica-se o predomínio do particionamento da energia, entre H e LE, onde a magnitude do H em relação ao LE prevalece por 8h nesta estação, com valor máximo às 13h com  $241 \text{ W/m}^2 \pm 4,1$ . Esse comportamento ambiental do ecossistema é esperado devido a diminuição da nebulosidade, com conseqüente redução dos volumes pluviométricos, assim como o decréscimo da umidade do ar neste segundo semestre, onde verificou-se o maior valor de LE também às 13 h com  $139,5 \text{ W/m}^2 \pm 3,4$  (figuras 5B e 2B).



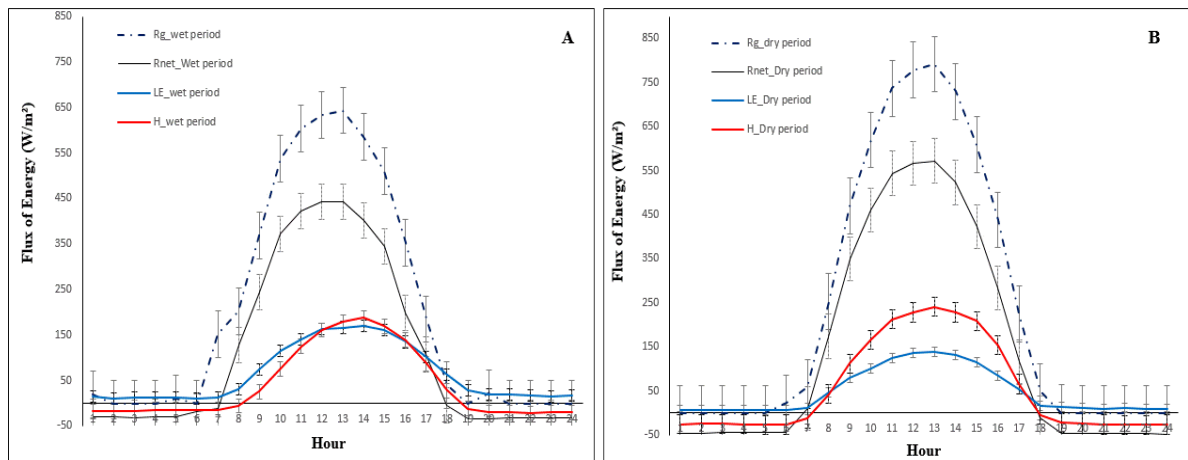
Pereira e Rodrigues (2013), analisando o particionamento da energia no ecossistema de manguezal na costa paraense, verificaram que no período chuvoso o pico de H aconteceu no mês de janeiro às 13h com  $274,7 \text{ W/m}^2$ , enquanto que o pico de LE ocorreu no mês de maio às 11 h com  $374,7 \text{ W/m}^2$ . Na estação menos chuvosa o pico de H ocorreu no mês de novembro às 11:30 h com  $300,2 \text{ W/m}^2$ ; o LE teve seu valor máximo no mês de junho às 12h com  $267,5 \text{ W/m}^2$  (figura 5B).

Observa-se que os dados registrados por estes autores com seus valores máximos maiores do que os observados em Cuiarana e diferenças nos horários, tenha ocorrido porque a torre meteorológica de Bragança, foi instalada numa área desmatada, justificando assim uma maior reflectância do solo com pouca cobertura vegetal.

Estudos de Barr, DeLonge e Fuentes (2014), sobre a evapotranspiração sazonal no mangue mostraram que os controles diurnos e sazonais dos fluxos de vapor d'água, mostraram que a partição de energia entre H e LE foi altamente variável, onde na estação seca a floresta se comportou como um ecossistema semiárido, com maior parte do particionamento de energia convertida em H, e valores mínimos de LE com  $5 \text{ MJ.d}^{-1}$ . Em contraste, na estação úmida, a floresta apresentou fluxos de LE com  $18 \text{ MJ.d}^{-1}$ .

Na estação seca, foi verificado altos níveis de salinidade influenciando na diminuição da evapotranspiração e, conseqüente redução da condutância estomática do dossel. Estes autores verificaram que a partir da análise da regressão linear múltipla, a condutância diária do dossel para o vapor de água diminuiu com o aumento da salinidade.

Figura 5 Ciclo diurno da  $R_g$ ,  $R_n$ ,  $LE$  e  $H$ , durante os meses do período chuvoso (A) e menos chuvoso (B) para o ano de 2015.



Fonte:

Autor/2018

### 2.3.3 Estudo da Irradiância Solar incidente, dos fluxos e Balanço de energia no manguezal

Dados sobre a radiação incidente ( $K_{in}$ ) representados pela relação  $R_{net}/K_{in}$  para os dias e horários objeto de estudo, mostrou que tanto  $K_{in}$ , quanto à radiação líquida no ecossistema apresentam as características sazonal e intrasazonal para Amazônia oriental. Esta disponibilidade energética rege os processos físicos e biológicos no manguezal, bem como o comportamento dos outros elementos do balanço de radiação (tabela 2).

A análise do particionamento de energia no manguezal de Cuiarana, mostrou que o fechamento do balanço de energia através da razão  $(H+LE)/(R_{net}-G)$ , teve um déficit de  $\sim 30\%$  no período chuvoso e  $\sim 40\%$  no período menos chuvoso. Nota-se que ocorre predominância de  $LE$  em relação ao  $H$  durante os meses do período chuvoso. As contribuições para este fato são a considerada precipitação do 1º semestre, a elevada umidade do ar e os pulsos da maré, possibilitando assim maior entrada de vapor d'água no sistema solo – biosfera – atmosfera.

A fração evaporativa ( $LE/R_{net}$ ) apresentou os melhores resultados nos meses do período chuvoso, como valores similares ao  $(H/R_{net})$ . No segundo semestre do ano (período menos chuvoso), verifica-se considerada diminuição de  $LE/R_{net}$ , com valores médios em torno de 0,20 e elevação de  $H/R_{net}$  para valores médios em torno de 0,40 (tabela 2).

Nota-se na análise desses dados para o período menos chuvoso, os efeitos característicos da sazonalidade já observada, com predominância do  $H$  em relação ao  $LE$ , com valor médio de  $H$  entre os meses do 2º semestre de  $239 \text{ W.m}^{-2}$ . O efeito marcante da sazonalidade no

particionamento da energia se deve ao comportamento diferenciado do ciclo hidrológico e energético da região, refletindo na diminuição dos valores de  $LE/R_{net}$  para ~20% e elevação do  $H/R_{net}$  para ~40% (tabela 2).

Tabela 2 Valores médios (com erro padrão) para os horários de maior irradiância (11h–14h) para os fluxos de calor sensível (H), latente (LE), taxa líquida da irradiância solar ( $R_{net}/K_{in}$ ),  $H/R_{net}$ , fração evaporativa ( $LE/R_{net}$ ), fluxo de calor no solo (G) e fechamento do balanço de energia  $(H+LE)/(R_{net}-G)$ , para os períodos chuvoso e menos chuvoso de 2015 no sítio experimental de Cuiarana/PA.

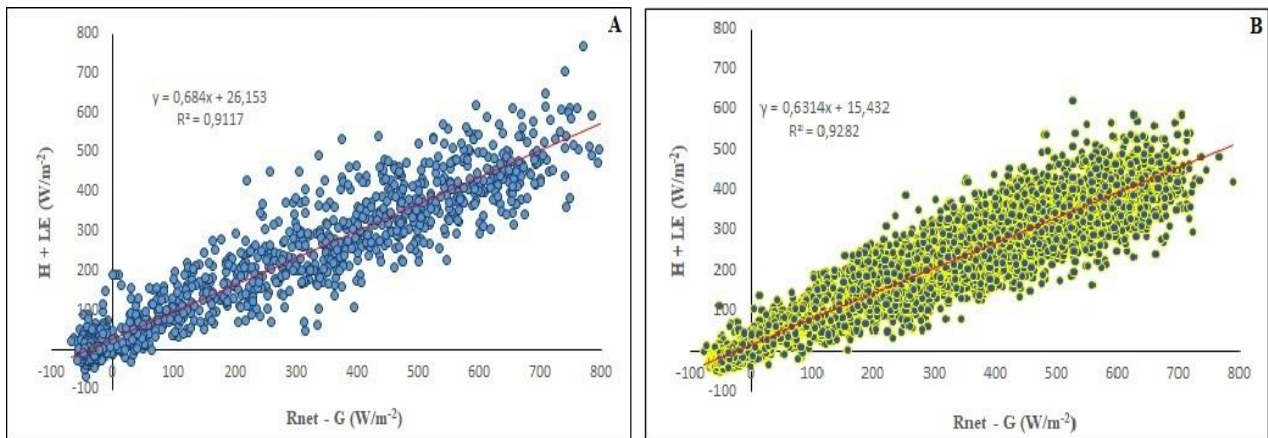
Mês	H ( $Wm^{-2}$ )	LE ( $Wm^{-2}$ )	$R_{net}/K_{in}$	$H/R_{net}$	$LE/R_{net}$	G ( $Wm^{-2}$ )	$H+LE/R_{net}-G$
Período Chuvoso							
<b>Mar</b>	169,1 ± 1,9	175,2 ± 1,9	0,94	0,35	0,36	11,5 ± 0,3	0,7
<b>Abr</b>	172,8 ± 2,2	212,6 ± 2,5	0,93	0,32	0,39	11,8 ± 0,1	0,7
<b>Mai</b>	144,8 ± 1,8	183,6 ± 0,3	0,72	0,30	0,38	11,6 ± 0,3	0,7
<b>Jun</b>	175,4 ± 2,3	189,1 ± 1,7	0,77	0,31	0,34	9,8 ± 0,2	0,6
Período Menos Chuvoso							
<b>Ago</b>	230,9 ± 2,9	139,4 ± 1,1	0,74	0,40	0,24	19,2 ± 0,1	0,6
<b>Set</b>	261,3 ± 2,7	140,3 ± 2,2	0,72	0,43	0,23	21,3 ± 0,1	0,7
<b>Out</b>	228,6 ± 1,8	111,5 ± 0,7	0,71	0,42	0,20	20,2 ± 0,2	0,6
<b>Nov</b>	235,7 ± 2,1	113,2 ± 1,7	0,71	0,44	0,21	18,7 ± 0,1	0,7

Fonte: Autor/2018

O fluxo de calor no solo (G) acompanha a sazonalidade da disponibilidade energética no ecossistema, com valores médios de  $11,1 W.m^{-2}$  entre os meses de março a junho e  $19,5 W.m^{-2}$  entre os meses de agosto a novembro. A menor/maior disponibilidade energética nos períodos chuvoso/menos chuvoso reflete a influência dos fatores meteorológicos de escala sinótica da região (tabela 2).

O fechamento do balanço de energia apresentado na figura 6 apresentou inclinação da reta de 0,68 e coeficiente de determinação de 0,91 para o período chuvoso e inclinação da reta de 0,63 e coeficiente de determinação de 0,92 para o período menos chuvoso. A inclinação encontrada, está condizente com os valores encontrados em estudos realizados em ecossistemas de manguezal dos everglades que utilizaram o método de covariância de vórtices turbulentos, à citar 0.82 em Barr et al., (2013).

Figura 6 Relação entre a energia disponível no sistema (Rn-G) e a soma dos fluxos de calor sensível e calor latente (H + LE).



Fonte: Autor/2018

### 2.3.4 Estudo Sazonal do efeito do ciclo da maré no Balanço de energia do manguezal

O particionamento de energia durante os períodos chuvoso e menos chuvoso, sob influência do ciclo da maré, mostrou que houve predomínio de H em relação ao LE durante a ocorrência de marés baixas em ambas as estações ( $H = 203,3 \pm 3,1 W \cdot m^{-2}$ ;  $LE = 193,3 W \cdot m^{-2} / 0,25m$  e  $H = 241,5 \pm 2,7 W \cdot m^{-2}$ ;  $LE = 119,4 W \cdot m^{-2} / 0,3m$ ) e predomínio de LE em relação ao H somente durante as marés altas ( $LE = 202,1 \pm 2,2 W \cdot m^{-2}$ ;  $H = 172,1 W \cdot m^{-2} / 4,3 m$ ) da estação chuvosa. Na estação menos chuvosa o LE foi inferior ao H ( $LE = 125 \pm 1,7 W \cdot m^{-2}$ ;  $H = 232 W \cdot m^{-2} / 4,1 m$ ) (tabela 3).

Tabela 3 Média dos fluxos de energia para quatro dias do mês de abril (com maré alta/baixa) e quatro dias do mês de novembro (com maré alta/baixa) nos horários de maior irradiância (11h às 14h), com os respectivos particionamento da energia e erros padrão.

	PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO MENOS CHUVOSO	
	Abril		Outubro	
	Maré alta	Maré Baixa	Maré alta	Maré Baixa
<b>Veloc. do Vento (m/s)</b>	<b>2,2</b>	<b>2,4</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>
Altura da Maré (m)	4,3 ± 0,02	0,25 ± 0,1	4,0 ± 0,1	0,3 ± 0,1
H (W.m <sup>-2</sup> )	172,1 ± 4,6	203,3 ± 3,1	232,8 ± 4,2	241,5 ± 2,7
LE (W.m <sup>-2</sup> )	202,1 ± 2,2	193,3 ± 2,8	125 ± 1,7	119,4 ± 0,7
G (W.m <sup>-2</sup> )	15,16 ± 0,6	19,7 ± 0,3	11,5 ± 0,1	11,6 ± 0,1
H/Rnet	0,34	0,38	0,41	0,43
LE/Rnet	0,40	0,36	0,22	0,21
G/Rnet	0,03	0,04	0,02	0,02
(H+LE)/(Rnet-G)	0,74	0,73	0,64	0,64

Fonte: Autor/2018

Verificou-se que o ciclo das marés na região influenciou no particionamento diferenciado da energia, somado as características sazonais da região, quando no primeiro semestre notou-se que a elevada nebulosidade da atmosfera local, coincidindo com as preamares, favoreceram o predomínio de LE; enquanto que, no segundo semestre do ano, com menor disponibilidade pluviométrica e maior oferta de radiação incidente, ocorreu conseqüente predomínio do H em relação aos demais fluxos de energia, tanto na maré cheia quanto na maré seca.

Quanto ao fluxo de calor no solo (G), notou-se que durante as marés secas do período chuvoso, ocorreram as maiores magnitudes de energia com 19,7 W.m<sup>-2</sup>, equivalente a 4,7% da Rnet. Durante as marés secas da estação menos chuvosa, a média dos fluxos de G ficaram em torno de 9 W.m<sup>-2</sup>, equivalendo a 3% da Rnet.

A análise do fechamento do balanço de radiação para os horários das marés alta/baixa em ambas as estações, mostrou que o melhor fechamento do balanço ocorreu durante a maré alta do mês de abril, com 0,74, evidenciando que a transferência de energia associada à atividade da maré melhorou o fechamento do balanço energético da superfície inundada durante o período de observação, ainda que a velocidade do vento fosse 2,7 m/s.

Análises de Barr et al., (2013) quantificando o transporte de energia durante as preamares (e baixa mar) no manguezal no sul da Flórida, através da soma da variação de entalpia ( $\Delta H_{\text{tot}}$  = variação da entalpia total ( $\Delta H_{\text{tot}} = \Delta H_{\text{stor}} + \Delta H_{\text{adv}}$ ) do calor armazenado (ou liberado) na coluna d'água ( $\Delta H_{\text{stor}}$ ) e a troca de calor advectada na água da maré ( $\Delta H_{\text{adv}}$ ), verificaram que quando o  $\Delta H_{\text{tot}}$  foi incluído no balanço de energia, nos horários do dia de maior irradiância o fechamento do balanço melhorou de 0,73 para 0,75. Portanto, através destas observações, estes autores constataram que as águas das marés atribuem um computo energético melhorando as condições microclimáticas dentro do dossel da floresta.

Quanto a função fonte/sumidouro de  $\text{CO}_2$ , sob efeito da maré notou-se que quando ocorreu a melhor oferta de vapor d'água para a baixa troposfera, durante as marés altas, principalmente no período chuvoso, acentuou-se a assimilação de carbono ( $12,3 \mu.\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) pela troca estomática do dossel da floresta. Durante a maré baixa deste mesmo mês de abril a assimilação média de carbono foi 16% menor ( $10,3 \mu.\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). No mês de outubro, nos dias de maré cheia a assimilação de carbono foi de  $9,3 \mu.\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , enquanto que durante as marés secas a floresta sorveu  $9,0 \mu.\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , corroborando o papel fundamental da água na troca estomática e melhoramento da assimilação de carbono, principalmente dentro das características sazonais local.

### 2.3.5 Estudo do ciclo diurno do Carbono

O ciclo diurno do  $\text{CO}_2$  durante o ano de 2015 sob efeito do ENOS mostrou que o sequestro de carbono tanto na estação chuvosa, quanto na estação menos chuvosa, teve início em torno das 7 h da manhã, quando o ângulo zenital solar começa a possibilitar a fotossíntese da floresta. A diminuição desta atividade fisiológica do mangue ocorre por volta das 17:30 h no período chuvoso e 18 h no período menos chuvoso (7A).

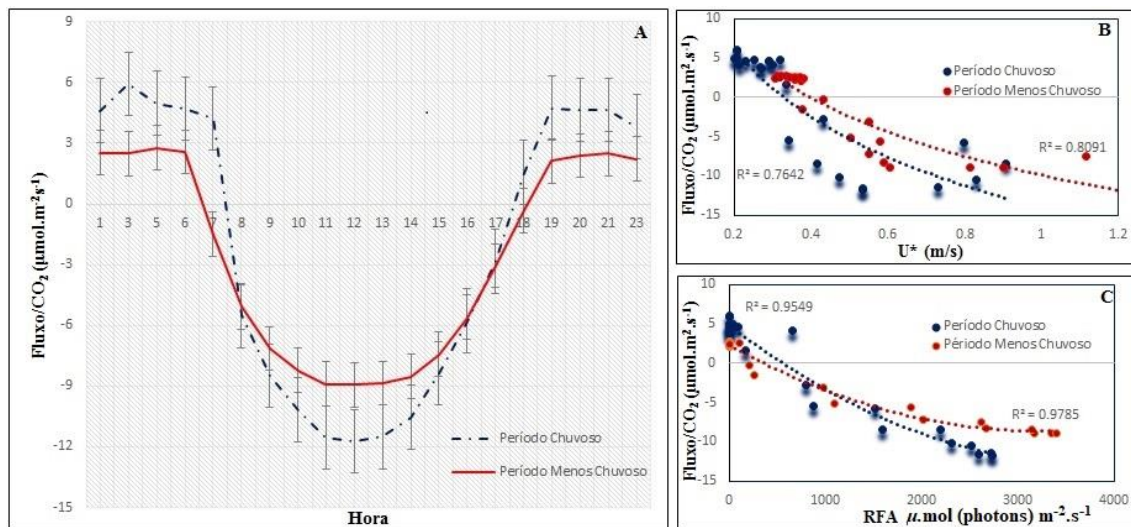
A partir das 18 h até às 6:30 h do dia seguinte, o ecossistema está realizando apenas respiração autotrófica e heterotrófica. Ressalta-se que durante os horários do dia ao longo do ano em que ocorreram radiação fotossinteticamente ativa (RFA) entre  $1,9 \mu.\text{mol} (\text{photons}) \text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e  $3,1 \mu.\text{mol} (\text{photons}) \text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , verificou-se predominância da fotossíntese em relação a respiração do ecossistema (figura 7C).

Observou-se neste ano, que a magnitude da fotossíntese foi predominante na estação chuvosa em relação à estação menos chuvosa, onde a precipitação do 1º semestre do ano de 2015, associada a menor velocidade do vento horizontal e decréscimo na salinidade do solo, conforme

observado por Barr, Delonge e Fuentes (2014) e Leopold et al., (2016), associada a fenologia do mangue em retardar a abscisão foliar, como descrito por Nascimento et al. (2006), favoreceram a máxima atividade fotossintética, nos horários entre 12 h com  $-12.9 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  e 13 h -  $13.5 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (figura 7C), onde a RFA apresentou máximos de  $2.727 \mu\text{.mol} (\text{photons}) \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  no período chuvoso e  $3.406 \mu\text{.mol} (\text{photons}) \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  no período menos chuvoso.

Investigações de Barr et al. (2010), estudando a troca líquida de  $\text{CO}_2$  entre o ecossistema de manguezal e a atmosfera no litoral da Florida, EUA, utilizando a técnica de *EC*, verificaram que a absorção máxima diurna de  $\text{CO}_2$  variou de entre  $-20$  a  $-25 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  entre os meses de março e maio (primavera). Durante o inverno, a assimilação de  $\text{CO}_2$  do mangue aumentou na proporção que a radiação solar difusa foi maior na transferência radiativa no dossel da floresta.

Figura 7 Ciclo diurno do fluxo de carbono para os meses do período chuvoso e menos chuvoso no ano de 2015, no sítio experimental de Cuiarana, Pará.



Fonte: Autor/2018

A análise dos dados sobre a respiração do ecossistema mostrou que as magnitudes deste fenômeno fisiológico foram maiores na estação chuvosa, com picos de  $10 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  às 4h da manhã, enquanto que na estação menos chuvosa, registrou-se  $2.8 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  às 5h da manhã. Esperava-se que a fisiologia da respiração tivesse maiores magnitudes no 2º semestre, por diminuição da nebulosidade e consequente elevação na disponibilidade de radiação, conforme observado por Barr et al. (2010).

Contudo não é isso que se observa neste ecossistema da costa paraense, pois, a sazonalidade da região marcada pela redução da precipitação e elevação da salinidade da água do solo do mangue de 32,3 ppm na estação chuvosa para 70 ppm, para a estação menos chuvosa, possibilita que as espécies *Avicennia germinans* e *Rhizophora mangle*, conforme estudos de Menezes, Berger e Mehlig (2008), Laurance et al., (2004) e Nascimento et al. (2006), ratificado pelas pesquisas de Fernandes (2016), apresentem maior adaptação e dominância neste ecossistema hiperhalino.

Estudos de Barr et al. (2014), sobre a sazonalidade da salinidade da água do solo, para fundamentar a evapotranspiração sazonal do manguezal no sul do golfo da Califórnia, verificaram que a salinidade variou rapidamente do final do período seco, com 35 ppm, para valores entre 26 e 17 ppm no início do período chuvoso. A elevação da precipitação nos meses de junho e julho e o aumento da descarga dos rios contribuíram significativamente para a diluição do sal dos micro e macro poros do solo.

Observações de Leopold et al. (2016), no manguezal de "*Coeur de Voh*", na nova Caledônia, verificaram também que a salinidade da água apresentou alta variação sazonal. A salinidade da água do interstício do solo foi muito menor durante a estação úmida em relação estação seca. Estes autores verificaram que durante a estação chuvosa, a diminuição da salinidade foi claramente relacionada com a entrada de água doce no sistema. Observou-se também que a alta precipitação aumentou a descarga do rio e conseqüente contribuição para a inundação das marés com elevado teor de água doce, que pode ter diluído a concentração da solução salina dos interstícios do solo.

Dados sazonais de sensoriamento remoto para o manguezal de Cuiarana para o ano de 2015, demonstram que há uma variação da cobertura vegetal através da análise do NDVI do dossel do bosque entre a estação chuvosa e a estação menos chuvosa, com valores de  $0,75 \pm 0,05$  e  $0,69 \pm 0,04$ , respectivamente. A partir da reflectância do infravermelho pela clorofila, nota-se que há uma variação no dossel do bosque, sugerindo uma diminuição no índice de área foliar.

Portanto, com o início da estação menos chuvosa, os gêneros *Avicennia* e *Rhizophora*, assumem como estratégia de adaptação ambiental a abscisão foliar, reduzindo a perda de vapor d'água por área foliar, adquirindo os menores valores na função fonte/sumidouro de carbono nesta estação.



Trabalhos de Cunha et al (2006), Fernandes, Nascimento e Carvalho (2007), Mehlig (2001) e Menezes et al. (2008), atribuem a este comportamento fenológico da *Avicennia* e da *Rhizophora*, o traço marcante da sazonalidade da salinidade e os níveis da maré. Contudo, observações de Cunha et al. (2006), ao estudarem a frequência e estrutura de três espécies de mangues no sudeste brasileiro, e as análises dos dados observados através da técnica de *EC*, neste sítio experimental da Amazônia oriental, mostram que existem outros elementos meteorológicos de escala sinótica que influenciam no comportamento adaptativo destes gêneros no manguezal, como o deslocamento da ITCZ para uma posição mais boreal, diminuindo a nebulosidade na região, com conseqüente redução da precipitação, influenciando assim, no particionamento de energia e redução do LE para no 2º semestre do ano.

Desta forma, com menos água no sistema, para se viabilizar as trocas estomáticas na estação mais exigente, com elevada temperatura do ar, redução da umidade relativa do ar e maior radiação incidente, as espécies para não entrar em estresse hídrico, promovem a abscisão foliar nesta estação, corroborando com as observações de Fernandes, Nascimento e Carvalho (2007), no manguezal de Bragança que descreveram a sazonalidade da abscisão foliar dos gêneros *Avicennia* e *Rhizophora* dentro de um mesmo padrão sazonal ao qual se tem observado em Cuiarana através da marcha do fluxo de CO<sub>2</sub>.

## 2.4 CONCLUSÃO

Para o ano de 2015 sob efeito do ENOS no ecossistema de manguezal do sítio experimental de Cuiarana, na costa nordeste do estado do Pará, verificou-se que a precipitação esteve com volumes abaixo das médias climatológicas, evidenciando a forte influência das anomalias do oceano Pacífico sobre a Amazônia. Desta forma o particionamento de energia refletiu esta anomalia de precipitação, onde constatou-se que na estação chuvosa houve predominância do LE em vários horários do dia, enquanto que os volumes pluviométricos favoreceram esta condição. Na estação menos chuvosa, a marcha do H da temperatura e umidade do ar seguiram os padrões climatológicos descritos para a região.

Quanto a função fonte/sumidouro de carbono realizada pela floresta de mangue, onde ocorre maior abundância das espécies *Avicennia germinans* e *Rhizophora mangle*, verificou-se que as maiores magnitudes da fotossíntese e da respiração, ocorreram de forma significativa na estação chuvosa, pois uma série de fatores físicos como a menor salinidade do solo, elevada precipitação, considerada nebulosidade atenuando a radiação direta, somada a fatores bióticos

como a transpiração através da atividade estomática favoreceu a fisiologia do ecossistema; contudo, na estação menos chuvosa tem-se uma inversão desses padrões físicos, acompanhados de considerável abscisão foliar e conseqüentemente diminuição das funções fisiológicas das espécies arbóreas de mangue.

Analisou-se também o efeito do ciclo da maré tanto no particionamento da energia, quanto na função fonte/sumidouro de carbono e percebeu-se que os dias em que ocorreram maré cheia, favoreceu a absorção de carbono, tanto no período chuvoso, quanto no período menos chuvoso. O ciclo da maré afetou também no fechamento diferenciado do balanço de radiação, onde verificou-se que os horários de maré alta acrescentam um computo energético, melhorando o fechamento do balanço de radiação.

## 2.5 REFERÊNCIAS

BARR, J.; DELONGE; FUENTES. Seasonal Evapotranspiration Patterns in Mangrove Forests. **Journal of Geographical Research**, p. 3886–3899, 2014.

BARR, J. G. et al. Controls on mangrove forest - atmosphere carbon dioxide exchanges in western Everglades National Park. **Journal of Geophysical Research**, v. 115, p. 1–14, 2010.

BARR, J. G. et al. Summertime influences of tidal energy advection on the surface energy balance in a mangrove forest. **Biogeosciences**, v. 10, p. 501–511, 2013.

BEHLING, H.; COHEN, M. C. L.; LARA, R. J. Studies on Holocene mangrove ecosystem dynamics of the Bragança Peninsula in north-eastern Pará, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 167, p. 225–242, 2001.

COHEN, M. C. L. et al. Holocene palaeoenvironmental history of the Amazonian mangrove belt. **Quaternary Science Reviews**, v. 55, p. 50–58, 2012.

DE CARVALHO, E. A.; JARDIM, M. A. G. Composição E Estrutura Florística Em Bosques De Manguezais Paraenses, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 923–930, 2017.

FERREIRA, C. P. **Manguezais do estado do Pará: Fauna de galerias perfuradas por Tereido em toras de Rhizophora**. UNICAMP. Campinas, São Paulo, 1989.

FISCH, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, p. 101–126, 1998.

GERMANO, M. F. et al. Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon : an observational study. **Atmospheric Science Letters**, v. 75, n. January, p. 67–75, 2017.

GIRI, C. et al. Status and distribution of mangrove forest of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. December, p. 154–159, 2011.

KAIMAL, J.; FINNIGAN, J. **Atmospheric Boundary Layer Flows**. 1<sup>a</sup> ed. New York: 1994.

KOCH, V.; WOLFF, M. Energy budget and ecological role of mangrove epibenthos in the Caeté estuary, North Brazil. **Mar. Ecol. Prog.**, v. 228, p. 119–130, 2002.

LAURANCE, W. F. et al. Pervasive alteration of tree communities in undisturbed Amazonian forests. **Nature**, v. 428, n. 6979, p. 171–5, mar. 2004.

LEE, S. Y. et al. Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: A reassessment. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 7, p. 726–743, 2014.

LEOPOLD, A. et al. Agricultural and Forest Meteorology Net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange in the “Coeur de Voh” mangrove, New Caledonia: Effects of water stress on mangrove productivity in a semi-arid climate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 223, p. 217–232, 2016.

MENEZES, M.; BERGER, U.; MEHLIG, U. Mangrove vegetation in Amazonia: a review of studies from the coast of Pará and Maranhão States, north Brazil. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 403–420, 2008.

MOLION, L. C. Climatologia dinâmica da região amazônica: Mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 107–117, 1987.

MONCRIEFF, J. B. et al. A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide. **Journal of Hydrology**, v. 188, p. 589–611, 1997.

NCEP/NOOA. National Centers for Environmental Prediction. Disponível em: <http://www.ncep.noaa.gov> acessado em 10 de março de 2017.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 4, n. 2, p. 439–473, 2007.

PEREIRA, P. L.; RODRIGUES, H. J. B. Análise e estimativas dos componentes do balanço de energia em ecossistema de manguezal Amazônico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, p. 75–84, 2013.

PUJOS, M.; LATOUCHE, C.; MAILLET, N. Late quaternary paleoceanography of the French Guiana continental shelf: clay-mineral evidence. **Oceanologia ACTA**, v. 19, n. 5, p. 477–487, 1996.

SCHEDLBAUER, J. et al. Seasonal differences in the CO<sub>2</sub> exchange of a short-hydroperiod Florida Everglades marsh. **FCE LTER Journal Articles**, v. 150, p. 994–1006, 2010.

SILVA JUNIOR, J. et al. Sazonalidade de elementos meteorológicos de manguezal na região equatorial do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 241–247, 2006.

SOUZA FILHO, J. et al. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da amazônia. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 223–229, 2005.

SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: Cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 427–435, 2005.

WEBB, E.; PEARMAN, G.; LEUNING, R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. **Quart. J. Met. Soc.**, v. 106, p. 85–100, 1980.

ZENG, N. Seasonal Cycle and Interannual Variability in the Amazon Hydrologic Cycle. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n. n.D8, p. 9097–9106, 1998.

### **CAPÍTULO III CARACTERIZAÇÃO DIÁRIA E SAZONAL DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA BRUTA, DA RESPIRAÇÃO E A TROCA LÍQUIDA DE CO<sub>2</sub> NUM ECOSSISTEMA DE MANGUEZAL NA COSTA LESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

#### **RESUMO**

Estudos sobre a concentração de CO<sub>2</sub> no manguezal da costa nordeste do estado do Pará, durante o período menos chuvoso, mostraram que durante os efeitos de maré alta, as concentrações de CO<sub>2</sub> se apresentaram maiores no perfil acima do dossel em relação ao perfil próximo ao solo. Justifica-se que este fenômeno ocorreu em virtude do tamponamento dos gases nos microporos e macroporos do solo pela água. Ainda que a velocidade do vento seja maior acima do dossel, nos horários em que ocorre a submersão do solo, geralmente formando uma lâmina d'água de 2 cm, notou-se a inversão deste padrão de concentração, diferentemente dos padrões (maior concentração próximo ao solo em virtude da respiração) descritos nos perfis de concentração de CO<sub>2</sub> em florestas de terra firme. Observações sobre a sazonalidade do ciclo diário do fluxo turbulento de CO<sub>2</sub>, durante o ano de 2015, sob efeito do El Niño, revelaram uma marcha bem marcada na diminuição do processo de absorção de carbono pela floresta, à medida que ocorreu a transição temporal do período chuvoso para menos chuvoso. Desta forma, o efeito fisiológico da abscisão foliar no segundo semestre do ano, em resposta a elevação da salinidade do solo, foi que marcou a diminuição no sequestro de carbono no segundo semestre de 2015.

Palavras chaves: concentração de CO<sub>2</sub>, respiração, troca líquida, manguezal.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas acumuladores de grande quantidade de carbono e este fato na Amazônia, esteve sob forte influência de sua formação geológica, onde o leste da região apresenta estratigrafia datada do período do Holoceno, caracterizada pela elevação da salinidade das marés, durante o Holoceno inicial e médio, devido ao episódio do aumento do nível do mar no Atlântico (COHEN et al., 2012; MEHLIG, 2006).

A região foi submetida a uma complexa interação de vários fatores, principalmente as mudanças no nível do mar, taxas de subsidência e alterações no clima, sendo este último fator o de maior potencial por ter afetado a descarga do rio Amazonas. Portanto, acredita-se que o conjunto desses elementos atuaram juntos e controlaram a distribuição dos manguezais na costa da Amazônia brasileira (BEHLING; COHEN; LARA, 2001; COHEN et al., 2012; PUJOS; LATOUCHE; MAILLET, 1996; SOUZA FILHO et al., 2005).

Trabalhos realizados por Koch e Wolff (2002) e Mehling (2006), sobre a caracterização do solo de manguezais no Nordeste do estado do Pará, verificaram que a salinidade acompanha a sazonalidade da precipitação, onde na estação chuvosa há uma diminuição da salinidade do solo, com gradativa elevação à medida em que ocorre a redução nos volumes de chuva na estação menos chuvosa.

Tais fatos contribuíram para a padronização florística dos manguezais amazônicos, que estão constituídos de espécies típicas deste bioma, com a ocorrência de angiospermas halófitas, destacando-se as espécies *Conocarpus erectus* L. (mangue de botão), *Laguncularia racemosa* L., *Rhizophora mangle* L. (mangue vermelho), *Rhizophora racemosa* G.F.W. Meyer, *Avicennia germinans* (denominada também de siriúba) e *A.schaueriana* (mangue preto), (FERREIRA, 1989; MENEZES; BERGER; MEHLIG, 2008).

A climatologia da região é caracterizada por temperaturas do ar com médias anuais em torno de 26°C e precipitação anual entre 2.300 mm a 2.800 mm, definindo assim duas estações caracterizadas como período chuvoso, com início em janeiro e término em maio, com os meses de junho e julho de transição e período menos chuvoso a partir do mês de agosto a novembro, tendo o mês de dezembro como a transição entre o período menos chuvoso e chuvoso. Observações meteorológicas demonstram que nesta região a ocorre a formação de linhas de instabilidades, circulação de brisa marítima e o escoamento médio do vento horizontal de nordeste, tem velocidade média de 7 m/s para o horário entre às 6h e 12h local (FISCH;

MARENGO; NOBRE, 1998; GERMANO et al., 2017; MOLION, 1987; OLIVEIRA et al., 2005; PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007; SILVA JUNIOR et al., 2006).

### **3.1.1 Troca de CO<sub>2</sub> entre a Floresta e a Atmosfera**

Pesquisas sobre os fluxos turbulentos de CO<sub>2</sub> medidos acima e abaixo da copa da floresta representam as estimativas das atividades básicas de dois processos fisiológicos vegetal – a fotossíntese e a respiração autotrófica e heterotrófica, que ocorrem no ecossistema. Considera-se também nessas medições as alterações na concentração de CO<sub>2</sub> que se acumulam dentro e abaixo da copa por variações na ventilação, a produção primária bruta e a troca líquida do ecossistema (HUTYRA et al., 2007; RODDA et al., 2016; ZHONG et al., 2016).

A arquitetura do dossel e a estrutura vertical da copa exercem um grande controle sobre a penetração da radiação e a mistura entre as concentrações de CO<sub>2</sub>, vapor d'água e calor no interior e acima da copa da floresta, portanto, sabe-se que existem interações complexas entre a geometria do dossel, o transporte turbulento e os mecanismos biofísicos, que se manifestam com uma variabilidade significativa na função fonte/sumidouro de escalares em florestas heterogêneas (ARYA, 2001; DE LIMA; GALVANI, 2013; QUERINO et al., 2011; ZHONG et al., 2016).

O acoplamento entre a floresta e atmosfera ocorre de forma diferenciada entre o dia e a noite, devido as mudanças na estabilidade estática da atmosfera. O perfil médio da velocidade do vento possui um forte ponto de inflexão logo acima da copa, onde este ponto se aproxima do topo da copa durante o dia, afastando-se durante a noite. A existência deste ponto de inflexão cria um tipo peculiar de instabilidade, que contribui para a formação de vórtices, cujo eixo de simetria horizontal é perpendicular à direção do escoamento (ARYA, 2001; FITZJARRALD; GARSTANG, 1981; KUTSCH et al., 2008; MOLION, 1987; ZERI; SÁ, 2011).

Trabalhos sobre a camada limite noturna na Amazônia tem verificado que as concentrações de carbono apresentam variação sazonal em função da ecofisiologia da floresta e a concentração aumenta com a altura a partir do início da noite. Durante esse período, o CO<sub>2</sub> produzido pela respiração do solo fica aprisionado abaixo da copa. Ao amanhecer, com o aquecimento da CLS, ocorre a destruição da CLE e uma rasa CS instável cresce rapidamente, devido a uma forte mistura vertical. Em poucas horas, o CO<sub>2</sub> acumulado durante a noite abaixo da copa, é liberado com um pico acentuado da concentração de CO<sub>2</sub> durante o amanhecer (CULF et al., 1999; MAFRA et al., 2016).



Observações de Araújo et al., (2010); Doughty; Goulden, (2008); Kutsch et al., (2008), verificaram que a estabilidade atmosférica noturna promove uma rara ventilação do dossel florestal, favorecendo com que o fluxo de CO<sub>2</sub> ao nível das folhas seja afetado pela velocidade do vento. Velocidades do vento mais elevadas aumentam a eficiência da remoção da massa de ar na superfície laminar das folhas, acentuando, assim, as diferenças de concentração entre essas superfícies foliares e as câmeras subestomáticas.

A respiração do solo é um dos componentes a se considerar no balanço de carbono na floresta, estando a variação da concentração deste gás em função da variação da temperatura do ar e do solo. A decomposição da matéria orgânica, tem papel fundamental na emissão de CO<sub>2</sub>, sendo esta decomposição realizada por uma variada biota microscópica, facilitada pelo calor e pela umidade (CATTANIO et al., 2004; LUIZÃO; NOBRE; DIAS, 2004).

Estudos micrometeorológicos em ecossistemas de manguezais na Flórida/EUA, sobre as trocas líquidas de CO<sub>2</sub> (NEE), a produção líquida anual do ecossistema (NEP), e as condições meteorológicas e ambientais que favorecem tais fenômenos, verificaram que o NEE máximo diurno, que representa a estimativa da atividade fotossintética, variou de -20 a -25  $\mu\text{.mol m}^{-2}\text{.s}^{-1}$  entre os meses de março e maio. A respiração do ecossistema foi altamente variável  $2,81 \pm 2,41 \mu\text{.mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{.s}^{-1}$ , atingindo valores máximos durante a estação úmida de verão (BARR et al., 2010).

Esses autores verificaram que durante a estação seca de inverno, o sequestro de CO<sub>2</sub> pela floresta aumenta em função do incremento da radiação solar difusa em resposta a maior transferência radiativa no dossel da floresta. Durante o ano de estudo de 2004, o manguezal se comportou como um sumidouro de carbono atmosférico, com produção líquida do ecossistema anual em torno de 1.170 g C m<sup>-2</sup>. Este NEP elevado foi atribuído à produtividade durante todo o ano e a baixa respiração do ecossistema que atingiu valores máximo de apenas 3g/cm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>.

A taxa líquida de assimilação local de CO<sub>2</sub> é determinada pelo conjunto das reações bioquímicas e pela difusão do ar atmosférico para o interior dos cloroplastos, onde essas reações bioquímicas são potencializadas pela quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (BARR; DELONGE; FUENTES, 2014).

Tem-se, portanto, como objetivo neste trabalho calcular a troca líquida de carbono entre a biosfera e a atmosfera, durante o ano de 2015 num ecossistema de manguezal na Amazônia

oriental, estimando a concentração de CO<sub>2</sub> armazenado no dossel da floresta, a produtividade bruta do ecossistema, assim como respiração autotrófica e heterotrófica.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Instalação da Torre micrometeorológica, obtenção dos dados turbulentos de CO<sub>2</sub> e energia

Instalou-se uma torre micrometeorológica, com 10 metros de altura em relação ao solo, equipada com sensores de alta frequência estando os sensores acima do dossel do bosque. O sistema (EC) foi equipado com um analisador de gás do tipo “open path” (LICOR, Lincoln, Nebraska, USA), um anemômetro sônico 3D, que mede as três componentes da direção do vento – *u*, *v* e *w*, (Solent R-3, Gill instruments, Lymington, UK). O armazenamento dos dados, foi programado para gerar valores médios para cada 30 minutos, totalizando 48 pontos de dados contínuos para cada 24 horas, considerando-se a hora local. Tais dados turbulentos foram registrados em um *Datalogger*, modelo CR1000, equipado com adaptador de cartão de memória (MONCRIEFF et al., 1997).

Aplicando-se ao conjunto de dados as propostas metodológicas idealizadas por Baldocchi, Hicks e Meyers, (1988) e Zhong et al., (2016), que demonstraram que um dos objetivos da técnica (EC) é estimar a troca líquida de matéria e energia entre ecossistemas de floresta e a baixa troposfera (NEE), expressando os mecanismos fisiológicos de dois grandes fluxos - a fotossíntese ou produtividade bruta do ecossistema (GPP) e a respiração autotrófica e heterotrófica (R<sub>eco</sub>), tendo o termo *S* da equação (1) representando o armazenamento de CO<sub>2</sub> no dossel.

Por convenção esses dois fenômenos assumem sinais opostos, sendo a absorção ou o sequestro de CO<sub>2</sub> caracterizado pelo total da fotossíntese de um período, com sinal (- ou ↓), e a liberação de CO<sub>2</sub>, representa a estimativa da respiração autotrófica e heterotrófica, tendo sinal (+ ou ↑).

Tais fluxos podem ser expressos pela equação:

$$\mathbf{NEE} = \mathbf{R}_{eco} + \mathbf{GPP} + \mathbf{S} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde NEE fornece consideráveis medidas dos papéis fisiológicos do ecossistema, contudo, não descreve os processos responsáveis pelo particionamento de cada um desses fluxos. Medições ou estimativas detalhadas sobre R<sub>eco</sub> e a produção primária bruta (GPP) são necessárias

para obter informações sobre os diferentes processos que integram a equação da troca líquida do ecossistema, considerando que o termo  $S$  é o armazenamento de  $\text{CO}_2$  acumulado durante a noite (ARAÚJO et al., 2010; BARR et al., 2009; CHEN; TAM; YE, 2012; LASSLOP et al., 2010).

A matematização destes processos fisiológicos é proposta por Finnigan et al., (2003), através da equação 2, onde o termo I, representa a mudança do armazenamento de carbono na atmosfera abaixo do plano horizontal ( $F_C^{\text{sto}}$ ); o termo II representa a advecção vertical na parte superior do volume controle, resultante da mudança do ar seco em função do tempo, portanto esse termo geralmente é negligenciado; o termo III, representa o fluxo turbulento líquido de  $\text{CO}_2$  através de um plano horizontal acima do dossel ( $F_C^{\text{EC}}$ ) e o termo IV da equação, corresponde ao NEE ( $F_s$ ).

$$\underbrace{\int_0^{h_m} \overline{\rho_d} \frac{\partial \overline{x_s}}{\partial t} dz}_{\text{I}} + \underbrace{\int_0^{h_m} \overline{\rho_d w} \frac{\partial \overline{x_s}}{\partial z} dz}_{\text{II}} + \underbrace{\overline{\rho d w' x'_s}}_{\text{III}} \Big|_{h_m} = \underbrace{F_s}_{\text{IV}} \quad \text{Eq. 2}$$

Esta equação (2) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$F_s = F_C^{\text{EC}} + F_C^{\text{sto}} \quad \text{ou} \quad \text{NEE} = F_C^{\text{EC}} + F_C^{\text{sto}} \quad \text{Eq. 3}$$

Que pode também ser expressa por:

$$\text{NEE} = F_C^{\text{EC}} + F_C^{\text{sto}} = R_{\text{eco}} + \text{GPP} \quad \text{Eq. 4}$$

Assim as variáveis de uma observação de NEE podem resultar em um número indefinido de combinações de  $R_{\text{eco}}$  e GPP se ambos estão ocorrendo simultaneamente ou ocorrem ao longo do intervalo da média temporal usado para descrever esta troca líquida. A maioria das estratégias de particionamento do fluxo baseia-se na noção de que apenas o  $R_{\text{eco}}$  ocorre à noite em ecossistemas dominados pela fotossíntese de plantas C3, enquanto que o GPP neste período, é praticamente zero (BARR et al., 2009; REICHSTEIN et al., 2005; SAN-JOSÉ; MONTES; NOKONOVA, 2007).

O desafio nessas medições está na extrapolação destas medições de  $R_{eco}$  noturnas para condições diurnas objetivando estimar GPP por diferença. Essas dificuldades são agravadas pelo fato de que as medidas do fluxo noturno são muitas vezes comprometidas por condições atmosféricas estáveis com turbulência insuficiente para satisfazer os pressupostos do sistema de medição diurnos (IWATA; MALHI; VON RANDOW, 2005; REICHSTEIN et al., 2005).

Portanto, tomando como referência a metodologia proposta por Iwata; Malhi e Von Randow, (2005), através da equação (5), para o cálculo do armazenamento de  $CO_2$  a partir de perfis verticais e estimativas do armazenamento da concentração de carbono acima e dentro do dossel da floresta de mangue, calculou-se medidas sincronizadas para as alturas de 10m, 8m, 4m e 0,5m, acima do solo, por 3 dias, onde tais medidas foram interpoladas no tempo para fornecer perfis verticais instantâneos a cada meia hora, estimando-se assim, o  $CO_2$  total armazenado no dossel para o ano de estudo.

$$\frac{dC_{top}}{dt} h = f(u_*) \int_0^h \frac{dC}{dz} dz \quad \text{Eq. 5}$$

Onde  $C_{top}$  é a concentração de  $CO_2$  medida no topo da torre,  $h$  é a altura do instrumento de eddy covariance,  $f$  é a função da velocidade de fricção do vento ( $u_*$ ),  $C$  a concentração de  $CO_2$  em cada altura de medição do perfil e  $z$  é a altura acima do solo.

Em seguida, avaliou-se o armazenamento total de  $CO_2$  noturno, através de uma série de regressões logarítmicas utilizando variáveis médias noturnas com base na equação (6).

$$S_c = af(x) + b \quad \text{Eq. 6}$$

Onde  $S_c$  é o armazenamento acumulado de  $CO_2$  durante a noite; O termo  $f$  é a função que pode ser linear ou logarítmica, sendo  $a$  e  $b$  parâmetros de ajuste. O período noturno foi definido entre 18:00 h e às 06:00 h.

A partir da obtenção dos dados de armazenamento de carbono no dossel da floresta, fez-se estimativas através da plataforma do FLUXNET, para o cálculo de NEE e o devido particionamento para obtenção de GPP e  $R_{eco}$ .

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Características Meteorológicas e Energéticas do manguezal

A previsão climatológica para a precipitação no período chuvoso da região, no ano de 2015, foi de 2.273,49 mm, contudo, registrou-se uma precipitação acumulada de 1.577,48 mm. A redução dos volumes de chuva neste ano esteve sob efeito do ENOS, e apresentou um déficit de 31% do esperado climatológico.

A análise dos dados do NCEP/NOAA (2017) demonstra que a região norte do Brasil, esteve durante o ano de 2015 sob influência da anomalia ENOS, cuja média anual da magnitude do índice El Niño oceânico foi de 1.25, com valor mais elevado no trimestre outubro, novembro dezembro de 2014 (2.3), influenciando assim a considerável redução na precipitação na região durante o este ano.

Os fluxos radiativos de calor sensível (H) e calor latente (LE), no período chuvoso para o mesmo ano de estudo, apresentou valores máximos de 187,73 W/m<sup>2</sup> e 171,20 W/m<sup>2</sup>, respectivamente, no horário das 14 horas, enquanto que no período menos chuvoso, registrou-se valores de 341,15 W/m<sup>2</sup> e 139,48 W/m<sup>2</sup>, para o horário das 14 horas para ambas as variáveis respectivamente.

O estudo sazonal do particionamento da energia entre calor latente e calor sensível, mostrou um predomínio do LE nos processos energéticos por muito mais tempo ao longo do dia (noite e madrugada), e que a magnitude do H é maior que o LE na estação chuvosa, entre às 11 horas da manhã e às 16 horas da tarde. Contudo esta característica observada no período chuvoso, é marcada por um particionamento muito equivalente entre H e LE durante o dia, confirmando assim a disponibilidade hídrica no sistema na forma de umidade do ar, precipitação e nos pulsos de maré, possibilitando as trocas gasosas entre o vapor d'água e o CO<sub>2</sub> atmosférico, para incremento de biomassa através da fotossíntese.

A partir do início do mês de junho até o mês de dezembro, entre as 9 horas da manhã e às 17 horas, com a diminuição da nebulosidade, e conseqüente redução dos volumes pluviométricos e decréscimo da umidade do ar, verificou-se predomínio do particionamento da energia, entre H e LE, onde a magnitude do calor sensível em relação ao calor latente prevaleceu por 8 horas neste 2º semestre.

A associação dos fluxos energéticos, somado as variáveis meteorológicas locais, possibilitou que o período chuvoso do ano de 2015, mesmo sob efeito do ENOS de considerada magnitude, possibilitasse a manutenção da troca líquida de carbono entre a biosfera e a baixa troposfera, com predominância da função sumidouro dentro de um computo diário, mensal e sazonal.

O posicionamento da ITCZ sobre a região nesta época do ano tem influência significativa na fenologia do bosque, tanto na modulação da precipitação, onde esta chuva contribui para a diluição da salinidade do solo do mangue, possibilitando a manutenção e a fisiologia foliar, assim como na redução da velocidade do vento horizontal, favorecendo assim uma maior magnitude do vetor do vento vertical ( $w$ ), pelas forçantes térmicas, contribuindo para a troca turbulenta de  $\text{CO}_2$ .

No período menos chuvoso da região, com o descolamento da ITCZ, ocorre a diminuição dos volumes de chuva e conseqüente influência na relação solo-planta-atmosfera. Em resposta as alterações dos componentes inorgânicos dissolvidos no solo do mangue, as espécies dominantes do ecossistema, principalmente do gênero *Avicennia* promovem a abscisão foliar, reduzindo desta forma o NEE nesta estação, que assume valores menores que do 1º semestre.

### 3.3.2 Sazonalidade do Fluxo de $\text{CO}_2$ e sua relação com os Fatores ambientais

A análise do comportamento sazonal do fluxo de  $\text{CO}_2$ , mostrou que ocorreu um processo de decréscimo na função sorvedouro de carbono pelo mangue, dentro de um comportamento diferenciado entre o período chuvoso e o período menos chuvoso. Registrou-se valores máximos de sequestro de carbono no mês de abril, às 12 h com valor de  $-13,75 \mu.\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (figura 1A).

Para os meses do 2º semestre do ano de 2015 analisados - agosto, setembro, outubro e novembro foi verificado também que a máxima absorção de  $\text{CO}_2$ , ocorreu às 12 h, com valores de (-11,47), (-10,45), (-9,98) e (-8,55) respectivamente. Nota-se a partir destes dados a ocorrência de uma marcha sazonal quase que sincronizada com diminuição na absorção de carbono pela atividade fotossintética da floresta (figura 1A).

Os efeitos ambientais analisados que estiveram influenciando neste comportamento diferenciado do mangue foram a sazonalidade da precipitação, onde em 2015, houve considerada redução dos volumes de chuva entre o 1º semestre, (com 1.577,4 mm) e o 2º semestre (com 12,3

mm). A previsão climatológica para este período menos chuvoso foi de 159,8 mm; portanto, neste semestre choveu apenas 7,7% do esperado climatológico. (figura 1B).

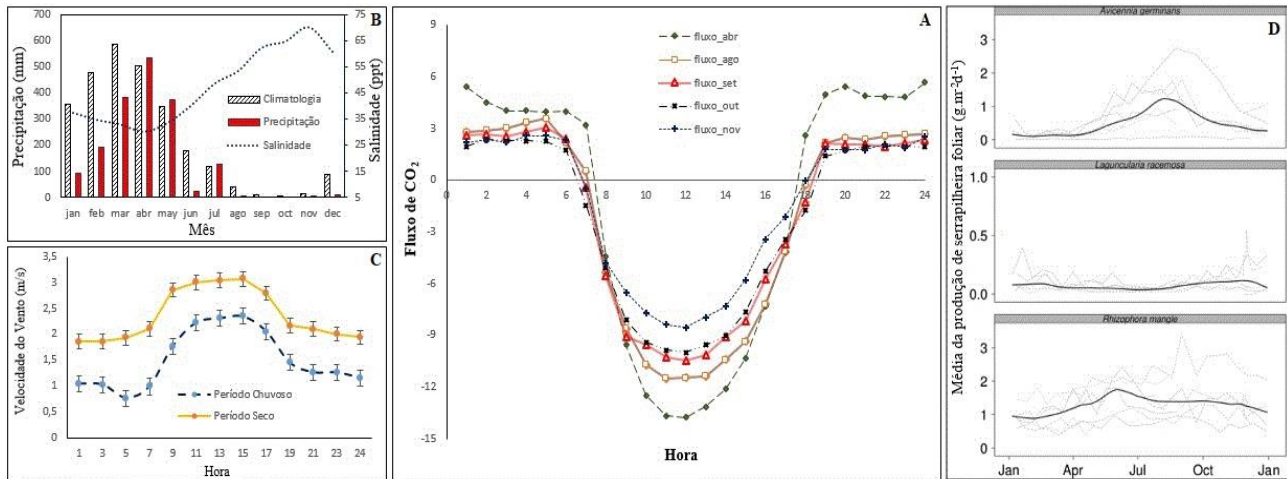
Outro fator que contribuiu para esta característica foi a salinidade do solo, cuja diminuição ou elevação do teor de sódio, esteve vinculado a precipitação local. Portanto durante os meses do 2º semestre, devido à redução dos volumes pluviométricos e redução do potencial de dissolução hídrico, verificou-se elevação dos níveis de sódio nos componentes hidromórficos do mangue, promovendo estresse nas funções bioquímicas da vegetação (figura 1B).

Observações de Rani et al., (2016), estudando a fenologia e a produção de serrapilheira, em um manguezal na costa sudeste da Índia, descreveram que a precipitação apresentou uma excelente correlação (-0,99), com a produção de serrapilheira, demonstrando que a diminuição das chuvas contribuiu consideravelmente na elevação da abscisão foliar, principalmente durante os meses de novembro a maio.

Observações semelhantes sobre o efeito da salinidade do solo na sazonalidade da fenologia do mangue, foram relatados por Do Nascimento et al., (2006); Fernandes, Do Nascimento e Carvalho, (2007) e Mehlig et al., (2010), quando realizaram estudos da produção de serrapilheira em bosques de manguezais nas proximidades do sítio experimental de Cuiarana.

Fernandes, Do Nascimento e Carvalho (2007), observaram que entre os anos de 2000 e 2004 houve a produção de 57 toneladas de serrapilheira foliar/ha, sendo que o sítio de coleta de dados em que apresentava 93% de domínio do gênero *Avicennia*, registrou a maior produção da liteira foliar (79%). O pico de produção foi na estação seca, o que parece favorecer uma economia de energia para o investimento em reprodução, enquanto a maior produção de fruto foi na estação chuvosa, promovendo a dispersão de propágulos e renovação e manutenção dessas florestas.

Figura 1 Análise da Sazonalidade do ciclo diário do fluxo turbulento de CO<sub>2</sub> do manguezal de Cuiarana, (A), associado a análise da climatologia e precipitação para o ano de 2015 e a salinidade do solo (B), a velocidade sazonal do vento (C) e a produção de serrapilheira Mehlig et al. (2010) (D).



Fonte: Autor/2018

Registrou-se também um comportamento diferenciado na velocidade do vento zonal na costa nordeste do estado do Pará entre os períodos chuvoso e menos chuvoso. No período chuvoso, ocorreram médias da velocidade do vento de 2,3 m/s, para os horários entre as 11 h e 14 h. Nesses mesmos horários, durante o período menos chuvoso, verificou-se valores médios de 3 m/s (1C).

Este padrão característico para a região é marcado pela ocorrência do deslocamento da ITCZ, no segundo semestre, para o hemisfério norte, e a consequente aproximação do centro da alta subtropical do Atlântico da linha do Equador, favorecendo uma aceleração do vento horizontal, ocasionando assim, maior dispersão da concentração de CO<sub>2</sub> sobre o dossel da floresta e a potencialização da abscisão foliar por ação mecânica (figura 1C e 1D).

Estes fatos justificam as observações de Mehlig et al., (2010) (figura 1D), na produção de serrapilheira foliar com quantidades consideradas nos meses do 2º semestre, no manguezal de Bragança, Pará, principalmente pela espécie *Avicennia germinans*. Estes autores verificaram também considerada contribuição de serrapilheira foliar pelas espécies *Rhizophora mangle* e *Languncularia racemosa*.



### 3.3.3 Perfil vertical da concentração de CO<sub>2</sub> sob efeito do ciclo diurno da maré

Observações sobre o perfil vertical diurno de CO<sub>2</sub> dentro do manguezal de Cuiarana, sob o efeito do ciclo da maré, em um dia do período menos chuvoso, mostraram um comportamento peculiar neste ecossistema e com uma característica diferente das observações feitas em florestas de terra firme, tal qual registrado em estudos no bioma amazônico por Araújo et al. (2010).

A maré alta no dia 14/10, ocorreu às 15h, com 4,1 m de altura, estabelecendo uma cobertura laminar do solo de 2 centímetros. A análise do perfil vertical da concentração de CO<sub>2</sub> nas seis horas (9h às 14h) que antecederam a enchente da maré, mostraram um comportamento similar ao observado em ecossistemas de terra firme, com os registros dos maiores valores de concentração de CO<sub>2</sub> no nível próximo ao solo (0,5m), e as menores concentrações no nível de 7,3m (figura 2 e tabela 1), acima do dossel da floresta, devido o constante deslocamento de massa e menor biomassa em relação ao solo.

A partir do horário que antecede a cheia da maré, durante o estofa, as 15h e nos horários posteriores, em direção a vazante (16h e 17h), enquanto a porosidade do solo estava preenchida com água, tamponando o processo respiratório e consequente efluxo de carbono, verificou-se uma inversão das concentrações no perfil vertical, onde os valores da concentração próximo ao solo foram diminuídos, enquanto que os valores acima do dossel, passaram a ter os maiores registros de CO<sub>2</sub> (figura 2 e tabela 1).

Tabela 1 Dados do perfil vertical da concentração de CO<sub>2</sub> (ppm), com o erro padrão, em função do ciclo da maré durante o dia 14 de outubro de 2017.

Dados da concentração de CO <sub>2</sub> , em função dos horários observados em torno do ciclo da maré					
Altura do perfil vertical (m)	9 h	11 h	13 h	15 h	17 h
7,3	385,9±15,8	381,3±1,8	382,7±0,4	381,9±0,5	386,7±16,7
4,8	384,3±0,8	382,1±0,5	381,4±0,4	383,3±0,9	386,7±0,2
2,5	384,7±0,9	383,4±0,6	382,4±0,2	382±0,2	383,9±0,2
0,5	389,1±3,3	388,21±2,1	383,9±1,2	382,3±1,2	385,2±0,3

Fonte: Autor/2018

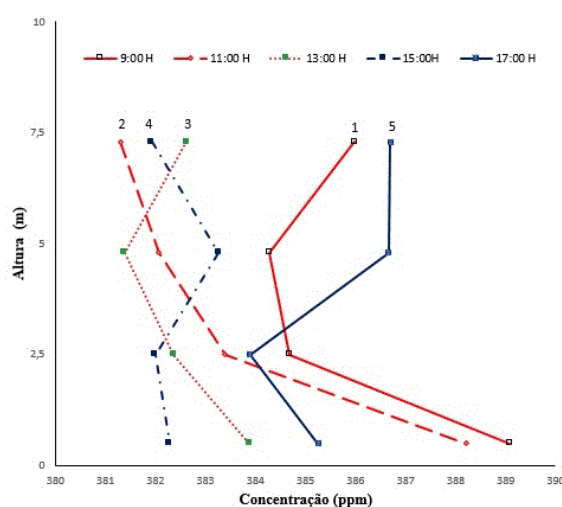
Pesquisas de Lovelock, (2008) sobre efluxo de CO<sub>2</sub> em solos de manguezal, verificou que tais concentrações representam uma medida integrada da respiração radicular, a atividade

heterotrófica, assim como da difusão relacionada a concentração de CO<sub>2</sub> nos microporos e macroporos do solo. Portanto neste ambiente úmido, o conteúdo de água do solo explicou uma quantidade considerável da variação sazonal no efluxo de CO<sub>2</sub> durante períodos de alto teor de água no solo, onde os valores do efluxo de CO<sub>2</sub> diminuíram, provavelmente devido a uma menor difusão na interface solo e camada laminar.

Observações de Schedlbauer et al. (2010), sobre as transições sazonais da produção líquida do ecossistema nos Everglades, no sul da Flórida, foram notavelmente diferentes entre as estações seca e chuvosa. No início da estação chuvosa, enquanto a água subia gradualmente para condições de solo inundado, o pântano oscilou entre o papel de fonte para sumidouro de CO<sub>2</sub> à medida que o nível da água subia e descia em relação a superfície do solo. O registro da rápida queda do nível da água abaixo da superfície do solo no final da estação chuvosa, (quando o pântano funcionava como sumidouro de carbono), coincidiu com uma mudança imediata para fonte CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Monji et al. (1996), realizando estudos no manguezal da Tailândia, sob efeito da maré, observou este mesmo comportamento da inversão dos valores da concentração no perfil vertical de CO<sub>2</sub>, quando registrou a diminuição nas concentrações de CO<sub>2</sub> do solo em relação aos dados que estavam acima do dossel, quando ocorreu a inundação do solo pelo efeito da maré.

Figura 2 Perfil vertical da concentração de CO<sub>2</sub> no manguezal, durante o dia 14 de outubro, entre os horários das 9 h às 17 h, sob influência do ciclo da maré.



Fonte: Autor/2018

### 3.4 CONCLUSÃO

O manguezal de Cuiarana apresenta uma característica sazonal, tanto no particionamento de energia, quanto no cumprimento da função fonte/sumidouro de carbono, em função das forçantes meteorológicas de escalas local e sinótica, o ciclo das marés, definindo variação do primeiro para o segundo semestre na salinidade do solo, que reflete na produção de serrapilheira e consequentemente diminuição da biomassa foliar, influenciando na redução do sequestro de carbono no segundo semestre do ano.

Verificou-se que a concentração do perfil vertical apresenta também um comportamento sazonal em virtude do aumento da velocidade do vento no segundo semestre, promovendo uma maior dispersão da concentração do CO<sub>2</sub>.

Sobre o movimento da maré, verificou-se que em horários de maré alta com submersão do solo, ocorreu uma inversão das concentrações de CO<sub>2</sub>, onde os valores próximo ao solo, passaram a apresentar valores inferiores em relação ao dados coletados acima do dossel, devido a um tamponamento dos poros do solo, reduzindo o efluxo de carbono pela função respiratória.

### 3.5 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. C. et al. The spatial variability of CO<sub>2</sub> storage and the interpretation of eddy covarianc. fluxes in central Amazonia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, p. 226–237, 2010.
- ARYA, P. **Introduction to Micrometeorology**. 2<sup>a</sup> ed. North Carolina: 2001, 2001.
- BALDOCCHI, D.; HICKS, B.; MEYERS, T. Measuring Biosphere-Atmosphere Exchanges of Biologically Related Gases with Micrometeorological Methods. **Ecology**, v. 69, n. 5, p. 1331–1340, 1988.
- BARR, J.; DELONGE; FUENTES. Seasonal Evapotranspiration Patterns in Mangrove Forests. **J. Geophys. Res. Atmos.**, v. 119, p. 3886–3899, 2014.
- BARR, J. G. et al. Physiological responses of red mangroves to the climate in the Florida Everglades. **Journal of Geographical Research**, v. 114, n. May, p. 1–13, 2009.
- BEHLING, H.; COHEN, M. C. L.; LARA, R. J. Studies on Holocene mangrove ecosystem dynamics of the Bragança Peninsula in north-eastern Pará, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 167, p. 225–242, 2001.
- CATTANIO, J. H. et al. Phenology, litterfall, growth, and root biomass in a tidal floodplain forest in the Amazon estuary. **Revista Brasileira de Bot**, v. 27, n. 4, p. 703–712, 2004.
- CHEN, G. C.; TAM, N. F. Y.; YE, Y. Spatial and seasonal variations of atmospheric N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> fluxes from a subtropical mangrove swamp and their relationships with soil characteristics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 48, p. 175–181, 2012.
- COHEN, M. C. L. et al. Holocene palaeoenvironmental history of the Amazonian mangrove belt. **Quaternary Science Reviews**, v. 55, p. 50–58, 2012.
- CULF, A. D. et al. Carbon dioxide measurements in the nocturnal boundary layer over Amazonian forest. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 3, n. 1, p. 39–53, 1999.
- DE LIMA, N. G. B.; GALVANI, E. Mangrove Microclimate : A Case Study from Southeastern Brazil. **Earth Interactions**, v. 17, n. 2, p. 1–16, 2013.
- DO NASCIMENTO, R. E. S. A. et al. Produção de serapilheira em um fragmento de bosque de terra

firme e um manguezal vizinhos na península de Ajuruteua, Bragança, Pará. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**, v. 1, n. 3, p. 71–76, 2006.

DOUGHTY, C. E.; GOULDEN, M. L. Seasonal patterns of tropical forest leaf area index and CO<sub>2</sub> exchange. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. October, p. 1–12, 2008.

FERNANDES, M. E. B.; DO NASCIMENTO, A. A. M.; CARVALHO, M. L. Estimativa da produção anual de serrapilheira dos bosques de mangue no furo grande, Bragança-Pará. **R. Árvore**, v. 31, n. 5, p. 949–958, 2007.

FERREIRA, C. P. **Manguezais do estado do Pará: Fauna de galerias perfuradas por Teredo em toras de Rhizophora**. [s.l.] UNICAMP. Campinas, São Paulo, 1989.

FINNIGAN, J. et al. A re-evaluation of long-term flux measurement techniques. Part I: Averaging and coordinate rotation. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 107, n. June, 2003.

FISCH, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, p. 101–126, 1998.

FITZJARRALD, D. R.; GARSTANG, M. Vertical of the Tropical Boundary Layer. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 1, p. 1512–1526, 1981.

GERMANO, M. F. et al. Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon : an observational study. **Atmospheric Science Letters**, v. 18, n. January, p. 67–75, 2017.

HUTYRA, L. R. et al. Seasonal controls on the exchange of carbon and water in an Amazonian rain forest. **Journal of Forestry Research**, v. 112, p. 1–16, 2007.

INMET. **Instituto nacional de meteorologia. Banco de dados meteorológicos da estação automática de Salinópolis**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

IWATA; MALHI; VON RANDOW. Gap-filling measurements of carbon dioxide storage in tropical rainforest canopy airspace. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 132, p. 305–314, 2005.

KUTSCH, W. et al. Advection and resulting CO<sub>2</sub> exchange uncertainty in a tall forest in central Germany. **Ecological Applications**, v. 18, n. 6, p. 1391–1405, 2008.

LASSLOP, G. et al. Separation of net ecosystem exchange into assimilation and respiration using a light response curve approach : critical issues and global evaluation. **Global Change Biology**, v. 16, p. 187–208, 2010.

LOVELOCK, C. E. Soil Respiration and Belowground Carbon Allocation in Mangrove Forests. **Ecosystems**, v. 11, p. 342–354, 2008.

LUIZÃO, S. P.; NOBRE, F.; DIAS, C. A. Ecological research in the large-scale Biosphere-Atmosphere experiment in Amazônia: Early results. **Ecological Applications**, v. 14, n. sp4, p. 3–16, ago. 2004.

MAFRA, A. et al. Variabilidade da concentração média de CO<sub>2</sub> acima da floresta Amazônica durante a noite associada a distintos regimes turbulentos. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 1, p. 429–433, 2016.

MEHLIG, U. Phenology of the red mangrove , *Rhizophora mangle* L., in the Caeté Estuary, Pará, equatorial Brazil. **Aquatic Botany**, v. 84, p. 158–164, 2006.

MEHLIG, U. et al. Mangrove Vegetation of the Caeté Estuary In: Saint-Paul U., Schneider H. (eds) Mangrove Dynamics and Management in North Brazil. *In: SPRINGER (Ed.). . Mangrove Dynamics and Management in North Brazil*. 1. ed. Berlin, Heidelberg: Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. p. 71–107.

MENEZES, M.; BERGER, U.; MEHLIG, U. Mangrove vegetation in Amazonia : a review of studies from the coast of Pará and Maranhão States , north Brazil. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 403, 2008.

MOLION, L. C. Climatologia dinâmica da região amazônica: Mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 107–117, 1987.

MONCRIEFF, J. B. et al. A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide. **Journal of Hydrology**, v. 188, p. 589–611, 1997.

MONJI, N. et al. Exchange of CO<sub>2</sub> and Heat between Mangrove Forest and the Atmosphere in Wet and Dry Seasons in Southern Thailand. **J. Agric. Meteorol.**, v. 58, n. 2, p. 71–77, 2002.

OLIVEIRA, P. E. S. et al. Variação sazonal do ciclo médio diário dos fluxos de CO<sub>2</sub> em uma floresta de araucária. p. 191–194, 2005.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger

climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 4, n. 2, p. 439–473, 2007.

PUJOS, M.; LATOUCHE, C.; MAILLET, N. Late quaternary paleoceanography of the French Guiana continental shelf: clay-mineral evidence. **Oceanologia ACTA**, v. 19, n. 5, p. 477–487, 1996.

QUERINO, C. A. S. et al. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (Kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas-Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, 2011.

RANI, V. et al. Phenology and litterfall dynamics structuring Ecosystem productivity in a tropical mangrove stand on South West coast of India. **Regional Studies in Marine Science**, v. 8, p. 400–407, 2016.

REICHSTEIN, M. et al. On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. **Global Change Biology**, v. 11, 2005.

RODDA, S. R. et al. Seasonal Variations of Carbon Dioxide, Water Vapor and Energy Fluxes in Tropical Indian Mangroves. **Forests**, v. 7, n. 35, p. 1–18, 2016.

SAN-JOSÉ, J.; MONTES, R.; NOKONOVA, N. Diurnal patterns of carbon dioxide, water vapour, and energy fluxes in pineapple [*Ananas comosus* (L.) Merr. cv. Red Spanish]field using eddy covariance. **Photosynthetica**, v. 45, n. 370–384, 2007.

SCHEDLBAUER, J. et al. Seasonal differences in the CO<sub>2</sub> exchange of a short-hydroperiod Florida Everglades marsh. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, p. 994–1006, 2010.

SILVA JUNIOR, J. et al. Sazonalidade de elementos meteorológicos de manguezal na região equatorial do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 241–247, 2006.

SOUZA FILHO, J. et al. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da amazônia. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 223–229, 2005.

ZERI, M.; SÁ, L. D. A. Horizontal and Vertical Turbulent Fluxes Forced by a Gravity Wave Event in the Nocturnal Atmospheric Surface Layer Over the Amazon Forest. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 138, n. 3, p. 413–431, 2011.

ZHONG, Q. et al. Carbon Dioxide Fluxes and Their Environmental Control in a Reclaimed Coastal Wetland in the Yangtze Estuary. **Estuaries and Coasts**, v. 39, p. 344–362, 2016.

## **CAPÍTULO IV CARACTERIZAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM UM MANGUEZAL AMAZÔNICO A PARTIR DA PERCEPÇÃO DA LIDERANÇA LOCAL**

### **RESUMO**

Realizou-se um estudo de caso sobre a caracterização socioeconômica dos moradores do vilarejo de Cuiarana, no nordeste do estado do Pará, Brasil, seguido da avaliação da valorização e reconhecimento dos serviços ecossistêmicos retornados pelo manguezal para a população local, a partir do relato dos entrevistados que constituem a liderança local com o objetivo de compreender as condições socioeconômicas dos moradores de Cuiarana, a relação da comunidade pesqueira com o ecossistema de manguezal, depreendendo como ocorre o reconhecimento e a valorização dos serviços ecossistêmicos através do valor de uso e não uso, bem como a forma de transmissão do conhecimento dentro das organizações instituídas. Para tal, procedeu-se com observações preliminares e entrevistas orais com secretários municipais e a liderança local, seguido da aplicação de um instrumento avaliativo, na forma de um questionário semiestruturado para vinte líderes do município. Segundo o relato dos entrevistados, ocorre em Cuiarana o fornecimento de bons serviços públicos e a geração da renda prioritária da população está estruturada nas atividades de pesca, mariscagem e agricultura familiar. Relatou-se também que a complementação da renda ocorre através de benefícios federais e outras atividades sazonais. A partir desses pressupostos, percebeu-se considerada relevância e reconhecimento dos serviços ecossistêmicos, existindo por parte da comunidade pesqueira a busca da harmonização de sua presença com sua atividade laboral dentro do manguezal, com transmissão de valor para as gerações seguintes durante a execução das tarefas diárias.

Palavras Chaves: Serviço Ecossistêmico, manguezal, comunidade pesqueira, liderança.



#### 4.1 INTRODUÇÃO

As definições iniciais sobre Serviços Ecossistêmicos (SE), conceituaram como sendo a função da natureza em servir as sociedades. A atual concepção destas definições, aponta para uma ampliação de compreensão, onde entende-se como o conjunto de benefícios proporcionados pelos ecossistemas, contribuindo para tornar a vida humana viável, com a agregação de valores de uso direto e indireto, incluindo-se a percepção de valorização dos SE (BOEREMA et al., 2014; HELLIWELL, 1969; KING, 1966; MEA, 2005; VO et al., 2012).

Estudos de Santoyo et al. (2013), reforçam a concepção do conceito de valor de uso e valor de não uso dos SE, onde os manguezais são valiosos em termos de valores de uso direto e indireto. Por valores de uso direto compreende-se os produtos e serviços derivados diretamente do mangue, à citar como exemplo, a madeira destinada para lenha, fonte alimentar proteica, edificações para as comunidades pesqueiras, manifestações culturais, entre outros.

Como valores de uso indireto os manguezais atuam como uma barreira natural, afim de estabilizar sedimentos finos e evitar a erosão costeira. Além disso, reduzem efeitos das tempestades e inundações, mantendo a qualidade da água, possibilitando uma ampla variedade da fauna, regulação do microclima característico do ecossistema, assim como são excelentes ambientes para estoque de carbono (VO; KUENZER; OPPELT, 2015).

Trabalhos que fazem avaliações econômicas em manguezais, indicam os custos dos serviços e de outras práticas de uso da terra; contudo, uma das dificuldades na valoração ambiental é que não há mercado para expressar os valores dos SE, especialmente os de uso indireto. Assim, todos os serviços estão fora da esfera dos mercados e tendem a ser imperceptíveis nas análises econômicas. Uma razão pela qual os valores de mangue, por exemplo, não são totalmente considerados no processo de avaliação é que muitos desses serviços não são "vendidos" no mercado convencional, de modo que não geram um ganho monetário de mercado, à citar, a dificuldade de se valorar a função biodiversidade e ciclagem de nutrientes em manguezais (BANN, 1998; BOEREMA et al., 2014; CURTIS, 2004).

Com relação a valoração de SE, Boerema et al., (2014) e Boyd e Banzhaf, (2007), integraram em seus estudos, princípios econômicos cuja definição possibilitaram o entendimento de como os SE, enquanto componentes da natureza, são diretamente apreciados, consumidos ou utilizados para produzir bem-estar ao homem. Estas pesquisas contribuem para o entendimento sob a luz de princípios econômicos, de como os serviços ecossistêmicos agregam benefícios as populações humanas em escala regional e global.

Uma outra concepção sobre os SE é utilizada por redes de pesquisas internacionais para descrever a função de tais serviços dentro de uma abordagem de reconhecimento e valorização ambiental, tal como a ciclagem de nutrientes, fluxo de energia, sumidouro de carbono, manutenção da biodiversidade, suporte à vida, assimilação de resíduos, reciclagem e renovação da matéria orgânica (BARR et al., 2010; FEARNSIDE, 1995, 2009; FISHER; TURNER; MORLING, 2009).

Desta forma pesquisas de Barr, Delonge, Fuentes (2014); Lasslop et al. (2010) e Zeri et al. (2014), voltados para compreender o papel desempenhado pelos ecossistemas florestais, nas funções fonte/sumidouro de carbono, descrevem que tais funções são geradas por uma complexa interação biofísica, onde o input inicial é fornecido pela energia solar, e que tal interação é operada através de uma ampla gama de escalas no tempo e no espaço, onde são incorporados componentes tanto bióticos quanto abióticos no sistema biosfera atmosfera.

Como valores de uso indireto os manguezais atuam como uma barreira natural, afim de estabilizar sedimentos finos e evitar a erosão costeira. Além disso, reduzem efeitos das tempestades e inundações, mantendo a qualidade da água, possibilitando uma ampla variedade da fauna, regulação do microclima característico do ecossistema, assim como são excelentes ambientes para estoque de carbono (VO; KUENZER; OPPELT, 2015).

Outros estudos sobre SE de manguezais estimaram que a taxa média global de acúmulo de carbono nesses ambientes, está na ordem de  $10,8/\text{mol.m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ . Tais estudos afirmaram que a maioria dos manguezais fixam carbono em excesso devido as exigências do ecossistema, onde este excesso representa 40% da produção primária líquida. Verificou-se que os herbívoros consomem cerca de 9% do carbono armazenado, 30% é exportado, 10% é armazenado nos sedimentos, e 40% é decomposto e reciclado dentro do sistema (DUARTE; CEBRIAN, 1996; DUARTE; MIDDELBURG; CARACO, 2005).

Estudos que avaliam a situação socioeconômica dos atores sociais que compõem as comunidades pesqueiras na Amazônia, geralmente descrevem estes *pescaadores* como indivíduos que apresentam reduzido poder político e econômico, apresentando problemas de organização de categoria laboral, com considerada dependência dos recursos naturais. As práticas extrativistas impulsionadas pelas questões econômicas, tendem a uma exploração dos recursos naturais, vinculado à ausência de orientação e gestão ambiental do governo local, que geralmente não implementa projetos socioeconômicos alternativos, voltados para o bem-estar da população ribeirinha (ALVES; PONTES 2015; RAMOS et al. 2016).

Portanto, observações contínuas dos aspectos socioeconômicos e da produção extrativista dos trabalhadores do manguezal, constituem ações indispensáveis para a compreensão do sistema econômico e de como ocorre a valorização dos serviços ecossistêmicos ao longo do tempo, retornados por este ecossistema na vida desses atores sociais (DA COSTA et al., 2013; MATTOS et al., 2012).

A partir desses pressupostos, este trabalho tem como objetivo, caracterizar as condições socioeconômicas dos moradores do vilarejo de Cuiarana, no estado do Pará, buscando compreender a relação daqueles que vivem neste ecossistema (denominados de comunidades pesqueira) com o ecossistema de manguezal e depreender como ocorre o reconhecimento e a valorização dos serviços ecossistêmicos através do valor de uso e não uso destes serviços e a forma de transmissão do conhecimento dentro das organizações instituídas.

## 4.2 METODOLOGIA

### 4.2.1 Caracterização da Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido no vilarejo de Cuiarana, pertencente a jurisdição do município de Salinópolis - Pará, Brasil, estando localizado na zona fisiográfica do Salgado do estado, banhado pelo Oceano Atlântico. O turismo de veraneio em Salinópolis, fomentou o processo de uso e ocupação do espaço físico, onde as edificações ocorreram prioritariamente ao longo da costa, com conseqüente diminuição do ecossistema de manguezal. A área urbana do município no ano de 2011 era de aproximadamente 473 Km<sup>2</sup>, concentrando os principais atrativos turísticos (DE SOUZA, 2004; IBGE, 2010).

O vilarejo de Cuiarana localiza-se a nove quilômetros de distância da sede do município, Salinópolis, estando constituído de 884 domicílios e 3.536 pessoas, tendo a principal fonte de renda concentrada nas atividades de pesca, mariscagem, agricultura, benefícios governamentais, e em menor proporção, as atividades do funcionalismo públicos estadual e municipal (PREFEITURA/SALINÓPOLIS, 2017).

### 4.2.2 Caracterização Geológica, Botânica e Meteorológica do manguezal da costa nordeste paraense

O município de Salinópolis apresenta em sua costa uma formação geológica datada do período Holoceno, onde a elevação da salinidade da maré é atribuída ao episódio da elevação do nível do mar no Atlântico. Acredita-se que a região pode ter sido submetida à uma complexa

interação de vários fatores, consistindo de mudanças no nível do mar, taxas de subsidência e mudanças no clima (BEHLING; COHEN; LARA, 2001; COHEN et al., 2012; PUJOS; LATOUCHE; MAILLET, 1996; SOUZA FILHO, 2005).

Os manguezais da costa nordeste do Pará, caracterizam-se por um relevo baixo, variando entre 0 a 80 m, apresentando ampla planície costeira, com até 70 km de largura, e extensa plataforma continental adjacente, com 200 km de largura, sendo extremamente irregular, endentada e recortada por vários estuários (SOUZA FILHO, 2005).

A descrição florística deste ecossistema constitui-se de espécies características de manguezal, com a ocorrência de angiospermas halófitas pertencentes as espécies *Conocarpus erectus* L. (mangue de botão), *Laguncularia racemosa* L. (mangue branco), *Rhizophora mangle* L. (mangue vermelho), *Rhizophora racemosa* G.F.W. Meyer, *Avicennia germinans* (denominada também de siriúba) e *A. schaueriana* (mangue preto) (FERREIRA, 1989; MENEZES; BERGER; MEHLIG, 2008).

A região tem sua climatologia definida por temperaturas do ar com médias anuais em torno de 26°C e precipitação anual entre 2.300 a 2.800 mm, definindo assim duas estações caracterizadas como período chuvoso, com início em janeiro e término em maio, e período menos chuvoso de agosto a novembro (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; MOLION, 1987; PEEL; FINLAYSON; McMAHON, 2007).

Estudos sobre as condições meteorológicas desta região mostram a formação de linhas de instabilidades, circulação de brisa e o escoamento médio do vento horizontal de nordeste, com velocidade média de 7 m.s<sup>-1</sup> durante o dia (GERMANO et al., 2017; MORAES et al. 2005; SILVA JUNIOR et al., 2006).

Estudos sobre a salinidade do solo de manguezais na costa paraense, verificaram que este fator ambiental acompanha o ciclo das chuvas, onde na estação chuvosa há uma diminuição da salinidade do solo, com gradativo aumento a medida em que ocorre redução das chuvas no segundo semestre (KOCH; WOLFF, 2002; MEHLING, 2006 ).

#### **4.2.3 Caracterização Social e Econômica do Município de Salinópolis**

Dados do IBGE (2010), demonstraram que o índice de Desenvolvimento Humano (IDH) para Salinópolis foi de 0,647, para uma população de 37.421 habitantes, com estimativa para o ano de 2015 de 39.078 habitantes. Informações deste instituto para o ano de 2012, relatam que o PIB do município foi de R\$ 392.093.997,00.

A renda per capita média do município cresceu 141,39% nas últimas duas décadas, passando de R\$ 165,12, no ano de 1991, para R\$ 398,58 em 2010. Isso equivale a uma taxa média anual de crescimento nesse período de 4,75%. A proporção de pessoas pobres (com renda domiciliar per capita inferior a R\$ 140,00), passou de 61,20%, em 1991, para 27,12%, em 2010. A evolução da desigualdade de renda analisada através do Índice de Gini<sup>1</sup>, passou de 0,47 em 1991, para 0,52 em 2010.

Dados do PNUD (2010), sobre a vulnerabilidade social do município, retratam as condições das crianças, jovens, famílias, assim como as condições de trabalho e renda, e as condições de moradia da população. É demonstrada uma considerada melhoria social entre os anos de 1991 a 2010, para os moradores do município em educação e condições de moradia.

Estes institutos ressaltam que entre os anos 2000 e 2010, a taxa de atividade da população economicamente ativa, de 18 anos ou mais, passou de 69,13% em 2000 para 68,78% em 2010. Ainda em 2010, das pessoas ocupadas na faixa etária de 18 anos em diante do município, 9,64% trabalhavam no setor agropecuário, 2,73% na indústria de transformação, 10,27% no setor de construção, 1,70% nos setores de utilidade pública, 20,42% no comércio e 51,62% no setor de serviços.

É ressaltado também a redução de mortalidade infantil (26 casos no ano 2000 para 19 em 2010). O percentual de crianças de 6 a 14 anos fora da escola em 2000 era de 7% e no ano 2010 foi de 2,7%. O percentual de pessoas de 18 anos ou mais sem ensino fundamental completo e em ocupação informal reduziu de 63,9% no ano 2000 para 50,2% em 2010. Em relação as condições de moradia, houve uma melhora no percentual da população residentes em moradias com banheiro e água encanada (42,4% em 2000 para 65,1% no ano de 2010).

#### **4.2.4 Metodologia para obtenção dos Dados Sociais**

O trabalho de campo seguiu as propostas de Yin (2005), para estudos de caso, com observações preliminares das relações estabelecidas entre os indivíduos da comunidade, buscando compreender seus símbolos de comunicação, suas relações com a floresta de mangue, e com os SE de manguezal.

---

<sup>1</sup> *Instrumento usado para medir o grau de concentração de renda. Ele aponta a diferença entre os rendimentos dos mais pobres e dos mais ricos. Numericamente, varia de 0 a 1, sendo que 0 representa a situação de total igualdade, ou seja, todos têm a mesma renda, e o valor 1 significa completa desigualdade de renda, ou seja, de uma só pessoa.*

Posteriormente se procedeu com entrevistas com as lideranças estabelecidas, tanto no município de Salinópolis, quanto no vilarejo de Cuiarana, utilizando como instrumento um questionário semiestruturado (apêndice I), com questões objetivas e subjetivas, com a finalidade de se obter dados quantitativos e qualitativos sobre as relações estabelecidas entre a comunidade pesqueira (utilizou-se o conceito de comunidades pesqueiras empregada por Furtado, 2013) e a floresta e os diversos SE oferecidos pelo manguezal.

O conjunto de moradores entrevistados que se considerou relevante pela natureza dos cargos ocupados foi constituído de 20 pessoas, sendo 4 secretários municipais (do total de 11, considerando-se a disponibilidade e interesse em responder a entrevista), os dois diretores das escolas públicas de ensino fundamental de Cuiarana, o diretor da unidade básica de saúde de Cuiarana, 7 pescadores (entre os que já exerceram e o que atualmente exerce cargo de liderança na colônia de pescadores local) e 6 colonos que desempenham atividades como marisqueiros.

A análise dos dados gerados pelas questões objetivas foi organizada em cinco seções que são: Análise do capital físico e social, característica da área e os mecanismos de financiamento, a relação com o mangue, a liderança na comunidade e a percepção dos SE. Buscou-se compreender a relação de uso-ocupação do manguezal, a infraestrutura, as formas de obtenção de renda e subsistência, suas relações comerciais e valorização dos SE.

A análise dos dados subjetivos relatada pelos entrevistados, foi feita categorizando-se as informações dentro de três grandes áreas – Provisão, Regulação e serviço cultural e público, que tratam da relação com o mangue, os produtos e serviços gerados e a percepção sobre os SE, através do entendimento e vivência dos entrevistados sobre os valores agregados para o ecossistema. Objetivou-se nesta segunda análise, verificar se há agregação de valor (ou não) em suas tratativas, no sentido de se conservar a floresta em pé e os seus respectivos serviços ecossistêmicos, assim como a forma de transmissão do conhecimento entre os indivíduos da organização constituída.

## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Da Análise do Capital Físico e Social

Segundo o relato dos entrevistados, de um modo geral, o vilarejo de Cuiarana apresenta boa infraestrutura quanto ao serviço de água e esgoto fornecido às residências, onde foi mencionado que a maioria das casas recebem água tratada e encanada dentro dos domicílios,

somado ao fato que alguns residentes também se utilizam de água de poço particular. O serviço de água e esgoto ocorre de forma compartilhada entre a agência do governo do Estado e a prefeitura municipal de Salinópolis.

Sobre a análise do capital social e as políticas de inclusão social, é relatado que em Cuiarana ocorre oferecimento do serviço de ensino fundamental, articulado entre duas escolas que ocorrem no vilarejo e que a continuidade dos estudos nas séries subsequentes do ensino médio, ocorre na sede do município, assim como a possibilidade de cursos superiores.

Ocorre também o relato da disponibilidade de serviços básicos de saúde com uma unidade básica de saúde, que tem o apoio de ambulâncias para o deslocamento para os hospitais regionais nos casos mais complexos. Quanto a cobertura de policiamento há rondas policiais frequente na localidade, com suporte para assuntos judiciais na sede do município. A oferta de transporte público ocorre através da circulação de ônibus, mototáxi e o serviço de táxi. A partir deste conjunto de serviços citados, os entrevistados relatam que há uma considerada satisfação dos moradores com a infraestrutura oferecida ao vilarejo de Cuiarana atendendo as necessidades básicas da população local.

A ocorrência de insatisfação da população local, concentra-se na falta de uma política que ordene o processo de uso-ocupação do espaço físico, onde novas famílias que se formam entre os jovens da localidade, não contam com novas áreas de ocupação em Cuiarana, recorrendo ao partilhamento de terra com a geração anterior para o desenvolvimento de sua família e de atividades de subsistências para àqueles que já desenvolviam esta atividade enquanto residiam com seus responsáveis.

Este fato aparece no relato de toda liderança local entrevistada em Cuiarana, porém é desconhecido do poder público municipal que ainda não tem percepção para esta questão, somado ao fato que ocorre em Cuiarana um processo de ocupação desordenada, caracterizada por invasão de terras, que no relato dos moradores local, há um incômodo pelo processo estabelecido, assim como pela concorrência na ocupação de terras do vilarejo.

#### **4.3.2 Características da Área de propriedade e Mecanismos de Financiamento**

Os relatos quanto a forma de aquisição do terreno em que os moradores residem em Cuiarana é informada de três modalidades distintas - invasão, loteamento e herança. O motivo do estabelecimento dos primeiros moradores na área foi descrito que, inicialmente se deu por

questões familiares, seguido de arrendamento de terra para cultivo e perspectiva de emprego na microrregião.

Quanto a avaliação das modalidades para obtenção de renda das famílias nativas, verificou-se que as práticas de pesca e mariscagem são bastante presente na atividade laboral, acompanhada de outras possibilidades de composição de renda como o recebimento de auxílio do governo, o bolsa família, aposentadoria e venda de frutos dentro da sazonalidade da safra. Compõe-se a estas opções de renda a atividade na prefeitura municipal de Salinópolis.

Estudos de Alves e Pontes (2015), relataram que entre as catadoras de caranguejo no município de Marapanim - Pará, onde ocorre consistente atividade de mariscagem e que esta prática se constitui na principal fonte de renda destas trabalhadoras, não há qualquer orientação por parte da liderança local na busca dos direitos legais, como o pagamento do seguro defeso para as marisqueiras. Tal fato foi observado também entre os pescadores e marisqueiras de Cuiarana, que para compensar o não recebimento do benefício, optam pela captura do macho durante o período defeso ou desenvolvem atividades alternativas informais.

Moraes e Almeida (2012), relatam em seus estudos, particularidades de gênero na pesca Amazônica, seja em pequenas atividades ou em larga escala, ressaltando que a mulher imprime cada vez mais a busca por direitos e seu lugar no mercado, sem se importar se o homem é “mais forte”, ou se o homem já pesca “há milhares de anos” ou se o seu companheiro “...é da pesca e ela do peixe”. A mulher amazônica, em algumas comunidades, é a única responsável pelas finanças do domicílio, onde destaca-se que seu nível econômico é muito baixo, passando por muitas dificuldades financeiras, diferente daquelas que tem um companheiro que divide as atividades.

Este paradigma não é muito diferente em Cuiarana, onde verificou-se que a atividade da pesca é prioritariamente desenvolvida pelos homens durante todo o ano, retornando um ganho médio mensal de R\$ 500,00, agregado a subsistência proteica para a família. A atividade de mariscagem tem uma considerada mão de obra feminina, com captura de caranguejo, siri, mexilhão, sarnambi e a pesca de camarão, agregando um ganho médio entre R\$ 300,00 a 500,00 por mês, considerando a sazonalidade e o período defeso do marisco (tabela 1).



Tabela 1 Caracterização das modalidades de renda anual por chefe de família em Cuiarana.

Fonte de renda	Sim	Não	Valor médio anual (R\$)
Venda de caranguejo, siri, camarão, etc.			6.000,00
Aposentadoria			11.640,00
Bolsa família (família com 3 filhos)			1.920,00
Pesca			6.000,00
Trabalho assalariado em outras empresas			Não ocorre
Venda de madeira do manguezal			Não ocorre
Venda de mandioca			Atividade de subsistência
Venda de frutos (ex. manga, entre outras)			4.800,00
Outros, especificar.(prefeitura/curso superior)			23.400,00

Fonte: Autor/2018

Notou-se nos relatos de pescadores e marisqueiros o compromisso no recolhimento dos encargos sociais através da colônia de pescadores, projetando a futura aposentadoria e consequente transferência da atividade pesqueira para a próxima geração dentro da organização familiar, trazendo uma composição de renda que possibilita a retenção dos jovens no vilarejo e manutenção das tradições laborais (tabela 1).

Não foi verificado nos relatos dos entrevistados qualquer tipo de aliciamento para corte e venda da madeira do mangue. Quanto a produção de farinha, esta modalidade produtiva tem apenas finalidade de subsistência. Cargos técnicos oriundos da prefeitura são em pequeno número, restringindo-se as funções diretivas das escolas públicas e postos de saúde.

### 4.3.3 Relação com o Mangue e os produtos Ecosistêmicos

A avaliação do questionamento sobre a importância do mangue e seus produtos, como o caranguejo, siri, camarão, peixe, mexilhão, etc. mostrou que todos os entrevistados consideram muito importante pela reconhecida fonte de subsistência e renda para a população local. O relato dos principais compradores deste pescado e mariscos são a população local e secundariamente bares, hotéis e restaurantes de Salinópolis.

Ao se inquirir sobre o corte das árvores do mangue e sua comercialização, houve o relato sistemático da não ocorrência desta prática com a ressalva da liderança local de que somente alguns pescadores, designados como curraleiros, utilizam esta prática para construção de currais e fazem o corte das árvores uma vez ao ano, normalmente no mês de janeiro, de forma controlada,

cerca de 100 a 120 varas com algumas manutenções durante o ano devido o desmonte do curral pelo efeito da maré.

Este fato está dentro de um código de postura dos pescadores a partir de uma percepção empírica em preservar o mangue e orientar os mais jovens em assumir esta mesma prática. Portanto, verificou-se que, é na atividade laboral que ocorre a principal forma de transmissão dos valores retornados pelos serviços ecossistêmicos para outras gerações, de modo que é notado um comprometimento intergerações na manutenção da floresta em pé e um relativo respeito pelo período defeso (tabela 2).

Moraes e Almeida (2012), observaram que os pescadores do manguezal de São Caetano de Odivelas – PA, levam seus filhos para o manguezal desde seus primeiros anos de idade. Os autores relatam que é muito comum ver crianças e adolescentes no manguezal com seus familiares nos fins de semana e no verão. Há uma relação do saber e do saber fazer passado de geração a geração dentro da organização familiar, tal como retrata Diegues (2001), onde o saber fazer e o saber se dá a partir do mundo natural, transmitidos oralmente de geração a geração, onde no relato dos autores sobre a fala desses jovens, é mencionado que - “...*fomos ensinados a prestar atenção a tudo o que vemos*”.

O conhecimento que os pescadores extrativistas possuem acerca da pesca no manguezal, é adquirido através das atividades do dia a dia neste ecossistema que vai deste o momento da confecção dos laços, cofos, objetos para proteção, até a comercialização do crustáceo.

#### **4.3.4 Da Liderança na Comunidade**

A análise das questões sobre a participação em reuniões onde são tratados temas sobre a conservação do mangue, proteção dos produtos do manguezal durante o período defeso e orientações sobre a implementação de ações que tornem os liderados mais conscientes sobre os SE, verificou-se uma polaridade das declarações, onde àqueles que ocupam cargo público afirmam que tem participado de discussões sobre estes temas e tem recebido orientações para implementação de ações que tornem seus liderados conscientes sobre os SE gerados pelo mangue.

Na análise das mesmas questões entre a liderança de pescadores e colonos local, notou-se o relato de não ocorrência de tais reuniões em que são tratados tais temas por parte do poder público ou outros órgãos. Sobre o período defeso há a declaração entre pescadores e marisqueiros, de uma postura estruturada em respeitar o período reprodutivo das espécies animais




do mangue, contudo, em ocasiões de restrição financeira, opta-se apenas pela captura do macho (tabela 2).

RAMOS et al. (2016), em seus estudos entre marisqueiras no nordeste do estado do Pará, observaram que a baixa escolaridade dessas trabalhadoras é um fator decisivo para a falta de compreensão para a estruturação de uma organização de classe ativa, que fomente demandas para suas necessidades trabalhistas. Ainda que Moraes e Almeida (2012), tenham observado uma postura diferenciada entre as marisqueiras de São Caetano de Odivelas, esta lacuna educacional se reflete também no entendimento do fechamento do preço final do serviço de extração do caranguejo, uma vez que consideram apenas o beneficiamento proteico.

#### 4.3.5 Percepção sobre Serviços Ecosistêmicos (SE)

A abordagem do entendimento dos entrevistados, sobre a relação dos SE de manguezal, foi categorizada em três grupos de análise – liderança de Salinópolis, representada pelos Secretários municipais, a liderança entre pescadores e marisqueiros e o terceiro grupo, constituído dos gestores locais.

O retorno das respostas dos entrevistados sobre a percepção dos SE, foi analisada sob três aspectos quantitativos, para os quesitos analisados. Houve respostas de itens que dentro de um dado grupo de análise, teve máxima consideração positiva (100% de respostas favoráveis), enquanto que outros itens, tiveram respostas negativas; houveram também itens que promoveram uma divisão de opiniões entre os entrevistados de um grupo para um dado item analisado. Tais representações dos dados gerados estão esquematizadas pelos seguintes símbolos:

-  - Máxima consideração positiva;
-  - Respostas divididas entre a máxima e a mínima consideração (em torno de 50%);
-  - Respostas negativas ou de mínima consideração.

Verificou-se que em seis questões avaliadas, à saber - o bem-estar natural dos moradores de Cuiarana, a proteção do solo, a influência do clima local, a manutenção das populações biológicas características do manguezal, a destinação de um legado natural para as gerações futuras e a conservação da beleza natural do local, retornou o máximo reconhecimento e valorização destes SE entre os três grupos analisados (figura 1 e tabela 2).

Figura 1 Avaliação sobre a percepção dos Serviços Ecossistêmicos gerados pelo manguezal de Cuiarana, a partir das respostas da liderança local, categorizados em três grupos de análise.

Avaliação de alguns Serviços Ecossistêmicos entre a Liderança Local	Secretários municipais	Pescadores e Marisqueiros	Diretores Locais
1. Há vínculo entre a formação da chuva e a floresta de mangue?	●	●	●
2. Há relação entre o bem estar da população local com o manguezal?	●	●	●
3. Há relação entre o desmatamento e a proteção do solo?	●	●	●
4. Há relação entre o desmatamento e o clima local?	●	●	●
5. Há relação entre o manguezal com as populações Biológicas?	●	●	●
6. O mangue é importante para as gerações futuras?	●	●	●
7. O mangue se regenera após desmatamento?	●	●	●
8. O manguezal é importante para a beleza natural do lugar?	●	●	●
9. Você apoia a diminuição do mangue para melhoria da receita municipal?	●	●	●
10. Há relação entre o mangue e a remoção de CO <sub>2</sub> ?	●	●	●

Legenda ● Resposta de máxima consideração positiva ● Respostas divididas entre a máxima e a mínima consideração (cerca de 50%) ● Respostas negativas ou de mínima consideração.

Fonte: Autor/2018

Na questão que avaliou a relação da formação de chuva com a atividade de evapotranspiração da vegetação, verificou-se que entre o primeiro grupo analisado, houve a sinalização de máxima compreensão entre esses dois fenômenos. A análise desta mesma questão entre o segundo e terceiro grupo, revelou a ocorrência de lacunas de compreensão em uma parte considerada dos entrevistados.

Análise semelhante verificou-se também na questão 7, que tratava da relação entre a atividade de desmatamento do mangue e sua capacidade de regeneração natural, caso este fosse desflorestado. Ressalta-se que a informação de não regeneração, observada pelo segundo grupo, foi adicionada com justificativas relatadas oralmente, que reforçaram suas percepções.

Sobre a questão que trata da diminuição do manguezal para expansão imobiliária, ainda esse fato trata melhoria na receita do município, verificou-se uma convicção bem estruturada entre os grupos 1, 2 e 3 em não apoiar qualquer tipo de empreendimento que promova diminuição da área de manguezal e conseqüente perdas de recursos naturais.

Quanto ao item 10, onde perguntou-se aos grupos se há relação entre as árvores do mangue e a remoção do CO<sub>2</sub> atmosférico, contribuindo para a manutenção do clima local, assim como do clima regional e global, notou-se total segurança entre nas respostas e relatos orais dos grupos 1 e 3. O mesmo não ocorreu com o grupo dois (pescadores e marisqueiros), que manifestaram não terem habilidades para analisarem esta relação e assim, dentro de uma escolha, acabaram optando pela opção que apontava para nenhuma relação (figura 1 e tabela 2).

Mattos et al., (2012), avaliando o etnoconhecimento e a percepção dos povos pesqueiros, nos mangues do estado do Rio grande do Norte – Brasil, verificaram que a proximidade dos usuários com os recursos naturais confere uma habilidade em observar mudanças diárias no ecossistema. Neste sentido relatos orais dos pescadores, reforçando os argumentos da biodiversidade local, apontam como bioindicadores de qualidade ambiental o seguinte relato - *“Um bom indício da conservação dos mangues é a presença do cavalo-marinho”*.

Pereira e Diegues (2010), abordaram que a função normativa que determinados elementos culturais apresentados no manejo dos recursos naturais relacionados ao sucesso da adaptação das populações tradicionais em seus territórios, está vinculada a constituição física e biológica dessas áreas e é determinada pelo modo de vida propagado. Ocorre a afirmação que, devido à sua inserção em áreas naturais, as populações tradicionais procuram adaptar o meio às suas necessidades, ao mesmo tempo em que se adaptam às condições oferecidas. O sucesso da adaptação humana em meio ambiente florestal depende das suas habilidades para manter as relações terra-população a um nível que permitirá extrações sustentáveis, que depende da sua capacidade de organizar e aplicar o conhecimento sobre a estrutura e composição da floresta.

A análise somente entre a liderança de pescadores e marisqueiras quanto a percepção sobre os SE, adicionada aos seus relatos orais e as observações de campo, tendo como foco avaliativo as mesmas 10 questões anteriores, que nortearam o entendimento dos entrevistados sobre o papel do manguezal em relação a evapotranspiração, bem-estar ambiental, proteção do solo, o clima local do município, manutenção das populações biológicas, legado para as gerações futuras, regeneração natural, beleza natural do lugar, expansão imobiliária visando um input financeiro na economia local e sequestro de CO<sub>2</sub>, geraram os resultados apresentados na tabela 2, cujas respostas foram ajustadas pelo autor para uma melhor acomodação conceitual.

Tabela 2 Caracterização dos serviços ecossistêmicos do manguezal de Cuiarana, segundo a percepção da liderança local, formada por pescadores e marisqueiros (respostas ajustadas pelo autor).

Serviço Ecossistêmico	Categoria do Serviço	Definição	Relato do ribeirão do vilarejo de Cuiarana	Referências
<b>Provisão</b>				
1. Residência Local	Habitat humano e Trabalho	Habitat para estabelecimento de populações tradicionais que vivem dos recursos do ecossistema.	Ocorre um processo de uso-ocupação do manguezal para estabelecimento das famílias e execução de atividades de subsistência.	Giri et al. (2015)
2. Pescado	Subsistência e renda	Fornecimento de recursos alimentares pesqueiros, de mariscagem e agrícolas como meio de subsistência e comercialização, para geração de renda.	Atividade laboral prioritária dos pescadores e marisqueiros, constituindo numa das principais fontes de renda e subsistência das famílias.	MEA (2005)
3. Crustáceos	Subsistência e renda			
4. Frutos	Subsistência e renda		Uso da terra para plantio de subsistência e comercialização para geração de renda.	
5. Água	Uso na subsistência e na agricultura	Suprimento de água do subsolo originária da precipitação e da fluxo da maré da bacia local.	A água do subsolo é utilizada para consumo nas residências, ainda que ocorra outra forma de fornecimento.	Maes et al. (2016)
<b>Regulação</b>				
6. Evapotranspiração	Regulação da água	Atividade ecofisiológica do ecossistema, marcada pela troca gasosa, que possibilita a captura de CO <sub>2</sub> somado a evaporação da água retida no sistema.	A conservação da floresta, sob influência dos fatores climáticos, responde consideravelmente pelo fornecimento de vapor d'água para atmosfera.	Barr et al. (2014)
7. Clima local	Regulação climática	O clima local é determinado pela interação complexa dos padrões de circulação regional e global com a topografia, vegetação, albedo, bem como a configuração de lagos, rios e baías.	Verifica-se em Cuiarana a ocorrência dos padrões climáticos descritos nas últimas décadas, estando isso vinculado também a pouca interferência antrópica na microrregião.	De Souza et al. (2009)
8. Regeneração natural	Regulação e manutenção dos serviços	Reconstituição da comunidade vegetal com mudanças sucessionais com enriquecimento gradual de espécies e aumento na complexidade estrutural e funcional ao longo do tempo e espaço.	Empiricamente os ribeirinhos relatam que observam a regeneração natural do manguezal, pela observação de formação de propágulos e reposição de indivíduos de áreas removidas.	De Groot; Wilson; Boumans (2002)
9. Proteção do solo	Papel da vegetação e da biota na retenção do solo	A função de proteção do solo depende dos aspectos estruturais do ecossistema, como cobertura vegetal e o sistema radicular, onde as raízes estabilizam o solo e a folhagem intercepta a precipitação, evitando a compactação e a erosão do solo nu.	A manutenção da vegetação do mangue possibilita a conservação das características edáficas, da fauna de invertebrados e microorganismos do solo do manguezal.	Maes et al. (2016)
10. Remoção de CO <sub>2</sub>	Regulação climática	Atividade ecofisiológica do ecossistema, marcada pelas reações fotossintéticas da área foliar, possibilitando a absorção de CO <sub>2</sub> atmosférico.	A floresta de mangue cumpre um bom papel no sequestro de carbono, fato verificado mesmo em ano de eventos extremos.	De Groot; Wilson; Boumans (2002)
<b>Serviço Cultural e Público</b>				
11. Apreciação do cenário e beleza natural	Serviço cultural	Reconhecimento da beleza natural e busca do ambiente para período de férias e contemplação da natureza.	Há o relato de que o vilarejo é procurado frequentemente por turistas e esportistas da natureza como praticantes de pesca esportiva.	Hattam et al. 2015
12. Legado para gerações	Valor de Existência	Transmissão de valores inter-gerações objetivando a manutenção dos serviços ecossistêmicos.	Os canais de comunicação entre as gerações ocorre prioritariamente durante as atividades laborais de pesca e mariscagem onde é verificado a absorção das informações transmitidas.	Moraes e Almeida (2012)
13. Bem-estar natural	Serviço cultural	Estado de satisfação e reconhecimento dos serviços ecossistêmicos retornados pelo ambiente.	Há considerada valorização e reconhecimento pela população ribeirinha dos serviços retornados pelo ecossistema como ventilação, chuva, o uso dos rios, temperatura do ar etc.	Hattam et al. 2015

Fonte: Autor/2018

#### 4.4 CONCLUSÃO

O relato da liderança local, sobre retorno à população de boas condições socioeconômicas oportunizadas pelo poder público com bom fornecimento de água, energia elétrica, educação, saúde, segurança e mobilidade urbana, somado a geração de trabalho e renda, que fica em sua maior proporção concentrada nas atividades de pescadores e marisqueiros, sugere desencadear uma relação de considerada percepção de valorização dos serviços ecossistêmicos retornados à população, que reside no manguezal de Cuiarana; uma vez que não ocorre a supressão de madeira para fins domésticos ou geração de renda. Há um considerado respeito pelos ciclos biológicos que perpassam no manguezal, a citar o período defeso. Verificou-se um bom reconhecimento dos SE fundamentais como os valores de uso direto, como exemplo, o espaço físico enquanto meio para habitação, o fornecimento de alimento e água, geração de trabalho e renda.

Há também um considerado reconhecimento dos serviços ecossistêmicos de uso indireto, relatado tanto pela liderança ocupante de cargo público, quanto da liderança da comunidade pesqueira local. Destacam-se as respostas que apontam o papel do solo, o processo de evapotranspiração na formação da precipitação local, o sequestro de carbono da atmosfera, bem como da beleza cênica do ambiente. Portanto, é relatado um elevado grau de satisfação da comunidade pesqueira pelo ambiente ao qual está inserido.

É na atividade laboral desenvolvida entre familiares o momento crucial para a propagação das informações intergerações dentro de um código de transferência das práticas tradicionais, assim como de respeito e consideração pela floresta em pé, visto que se reconhece dentro de várias questões analisadas o interesse da manutenção dos SE de valor direto e indireto retornados pelo manguezal.

## 4.5 REFERÊNCIAS

- ALVES, R. J. M.; PONTES, A. N. Análise Socioeconômica e produtiva de mulheres extrativistas de caranguejo *Ucides cordatus*, da comunidade de Guajubal, Marapanim, Estado do Pará. **Informações Econômicas**, v. 45, n. 3, 2015.
- BANN, C. Economy and environment program for southeast Asia. **The Economic Valuation of Tropical Forest Land Use Options : A Manual for Researchers**, n. April, p. 166, 1998.
- BARR, J.; DELONGE; FUENTES. Seasonal Evapotranspiration Patterns in Mangrove Forests. **J. Geophys. Res. Atmos.**, v. 119, p. 3886–3899, 2014.
- BARR, J. G. et al. Controls on mangrove forest - atmosphere carbon dioxide exchanges in western Everglades National Park. **Journal of Geophysical Research**, v. 115, p. 1–14, 2010.
- BEHLING, H.; COHEN, M. C. L.; LARA, R. J. Studies on Holocene mangrove ecosystem dynamics of the Bragança Peninsula in north-eastern Pará, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 167, p. 225–242, 2001.
- BOEREMA, A. et al. Economic valuation of ecosystem services , a case study for aquatic vegetation removal in the Nete catchment ( Belgium ). **Ecosystem Services**, v. 7, p. 46–56, 2014.
- BOYD, J.; BANZHAF, S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. **Ecol. Econ.**, v. 63, n. 2–3, p. 616–626, 2007.
- COHEN, M. C. L. et al. Holocene palaeoenvironmental history of the Amazonian mangrove belt. **Quaternary Science Reviews**, v. 55, p. 50–58, 2012.
- CURTIS, I. A. Valuing ecosystem goods and services : a new approach using a surrogate market and the combination of a multiple criteria analysis and a Delphi panel to assign weights to the attributes. **Ecological Economics**, v. 50, p. 163–194, 2004.
- DA COSTA, J. DO S. P. et al. Produção e socioeconomia do sistema caranguejo-uçá em unidade de uso sustentável da costa norte do Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 46, n. 2, p. 76–85, 2013.
- DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification , description and valuation of ecosystem functions , goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, p. 393–408, 2002.



DE SOUZA, D. L. Urbanização turística, políticas públicas e desenvolvimento: O caso de Salinópolis/Pa. **Geografia em questão**, v. 7, n. 1, p. 65–86, 2004.

DE SOUZA, E. B. et al. Precipitação Sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: Observações e simulações regionais com REGCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111–124, 2009.

DIEGUES, A. C. **Ecologia Humana e Planejamento Costeiro**. 2ª ed. São Paulo: Núcleo de Apoio à Pesquisa sobre Populações Humanas em áreas úmidas Brasileira, USP: 1, 2001.

DUARTE, C. M.; CEBRIAN, J. The fate of marine autotrophic production. *Limnol. Oceanogr.*, v. 41, p. 1758–1766, 1996.

DUARTE, C. M.; MIDDELBURG, J. J.; CARACO, N. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. **Eur. Geosci.**, v. 1, p. 1–8, 2005.

FEARNSIDE, P. M. Potential impacts of climatic change on natural forests and forestry in Brazilian Amazônia. **Forest Ecology and Management**, v. 78, n. 1–3, p. 51–70, out. 1995.

FEARNSIDE, P. M. Carbon benefits from Amazonian forest reserves: leakage accounting and the value of time. **Mitg Adap Strateg Glob Change**, v. 14, p. 557–567, 2009.

FERREIRA, C. P. **Manguezais do estado do Pará: Fauna de galerias perfuradas por Teredo em toras de Rhizophora**. UNICAMP. Campinas, São Paulo, 1989.

FISCH, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, p. 101–126, 1998.

FISHER, B.; TURNER, R. K.; MORLING, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecological Economics**, v. 68, n. 3, p. 643–653, 2009.

FURTADO, L. G. Ocupação Humana do Litoral Amazônico. In: PROST, M. T.; MENDES, A. C. (Orgs.). In: **Ecosistemas costeiros: Impactos e gestão ambiental**. 2ª ed. Belém - PA: 2013. p. 220.

GERMANO, M. F. et al. Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon: an observational study. **Atmospheric Science Letters**, v. 75, n. January, p. 67–75, 2017.

HATTAM, C. et al. Marine ecosystem services: Linking indicators to their classification. **Ecological**

**Indicators**, v. 49, p. 61–75, 2015.

HELLIWELL, D. R. Valuation of wildlife resources. **Regional Studies**, v. 3, p. 41–49, 1969.

GIRI, C. et al. Distribution and dynamics of mangrove forests of South Asia. **Journal of Environmental Management**, v. 148, n. 15/Jan/2015, p. 101–111, 2014.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/towindow.htm?1>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

KING, R. T. Wildlife and man. **Conservationist**, v. 20, n. 6, p. 8–11, 1966.

KOCH, V.; WOLFF, M. Energy budget and ecological role of mangrove epibenthos in the Caeté estuary, North Brazil. **Mar. Ecol. Prog.**, v. 228, p. 119–130, 2002.

LASSLOP, G. et al. Separation of net ecosystem exchange into assimilation and respiration using a light response curve approach : critical issues and global evaluation. **Global Change Biology**, v. 16, p. 187–208, 2010.

MATTOS, P. P. et al. Etnoconhecimento e percepção dos povos pesqueiros da Reserva Ponta do Tubarão acerca do ecossist. manguezal. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 10, n. 4, p. 481, 2012.

MEA. **Ecosystems and Human Well-Being: Current S. and Trends**. 2005. ed. Washington, DC.

MENEZES, M.; BERGER, U.; MEHLIG, U. Mangrove vegetation in Amazonia : a review of studies from the coast of Pará and Maranhão States , north Brazil. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 403–420, 2008.

MOLION, L. C. Climatologia dinâmica da região amazônica: Mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 107–117, 1987.

MORAES, S. C.; ALMEIDA, N. J. R. Saberes e Sustentabilidade no Manguezal de São Caetano de Odivelas-PA. **Revista Movendo Ideias**, v. 17, n. 1, p. 6–15, 2012.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 4, n. 2, p. 439–473, 2007.

PEREIRA, B. E.; DIEGUES, A. C. Conhecimento de populações tradicionais como possibilidade de conservação da natureza : uma reflexão sobre a perspectiva da etnoconservação. **Desenvolvimento**

e **Meio Ambiente**, v. 22, n. jul./dez., p. 37–50, 2010.

PNUD. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Disponível em: <<https://goo.gl/QskCG5>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

PREFEITURA/SALINÓPOLIS. **Secretaria Municipal de Turismo**. Dados socioeconômicos da Vila de Cuiarana. Salinópolis - Pará. 2017.

PUJOS, M.; LATOUCHE, C.; MAILLET, N. Late quaternary paleoceanography of the French Guiana continental shelf: clay-mineral evidence. **Oceanologia ACTA**, v. 19, n. 5, p. 477–487, 1996.

RAMOS, M. O.; PASSOS, P. H. DOS S.; RIBEIRO, S. DA C. A. Onde os fracos não têm vez: Socioeconomia e produção dos catadores de caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) no município de Quatipuru-PA. **Trabalho & Educação**, v. 25, n. 2, p. 175–189, 2016.

SANTOYO, A. H. et al. La Ciencia Económica y el Medio Ambiente : un aporte desde la valoración económica ambiental. **Revista paranaense de desenvolvimento**, v. 34, n. 125, p. 25–38, 2013.

SILVA JUNIOR, J. et al. Sazonalidade de elementos meteorológicos de manguezal na região equatorial do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 241–247, 2006.

SOUZA FILHO, J. et al. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da amazônia. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 223–229, 2005.

SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: Cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 427–435, 2005.

VO, Q. et al. Review of valuation methods for mangrove ecosystem services. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 431–446, 2012.

VO, T. Q.; KUENZER, C.; OPPELT, N. How remote sensing supports mangrove ecosystem service valuation : A case study in Ca Mau province , Vietnam. **Ecosystem Services**, v. 14, p. 67–75, 2015.

YIN, R. K. **ESTUDO DE CASO, Planejamento e métodos**. 3ª ed. editora. Porto Allegre: 2005.

ZERI, M. et al. Variability of Carbon and Water Fluxes Following Climate Extremes over a Tropical Forest in Southwestern Amazonia. **PLoS ONE**, v. 9, n. 2, p. 1–13, 2014.

## 5 CAPÍTULO V DISCUSSÃO GERAL

### 5.1 RESULTADOS CHAVES

A considerada redução na precipitação, devido ao efeito do ENOS na região, contribuiu para um particionamento de energia bem diferenciado entre calor sensível e calor latente. Desta forma verificou-se um comportamento sazonal característico em função da chuva dentro de cada uma das estações - chuvosa e menos chuvosa.

Verificou-se comportamentos sazonais distintos na função absorção de CO<sub>2</sub> pelo manguezal, com nítida diminuição na absorção de CO<sub>2</sub> em resposta a sazonalidade da velocidade do vento horizontal e a biomassa do dossel do mangue. Portanto, ainda que o manguezal de Cuiarana, estivesse sob efeito do ENOS de magnitude considerada, este ecossistema funcionou como um bom absorvedouro de CO<sub>2</sub>, cumprindo assim um importante serviço ecossistêmico no estoque de carbono na biosfera.

Quanto ao estudo do perfil vertical da concentração de CO<sub>2</sub>, foi observado que as maiores concentrações ocorrem próximo ao solo, em resposta a intensa atividade respiratória autotrófica e heterotrófica. Contudo, medições durante os horários de maré cheia, notou-se uma inversão nos padrões de concentração, onde a água da maré promoveu um tamponamento no efluxo de carbono, com conseqüente diminuição nos valores de concentração, passando a se registrar os maiores valores acima dossel.

Nas observações sociais verificou-se considerada valorização dos SE, a partir do relato da liderança entrevistada, na forma de valor de uso direto e indireto, ocorrendo no manguezal de Cuiarana a oferta de peixes, artrópodes e moluscos, para subsistência da comunidade pesqueira, com considerado potencial de geração de renda, assim como a utilização do ambiente para moradia, plantio e manifestações culturais e educacionais.

### 5.2 PRIORIDADES PARA PESQUISAS FUTURAS

Estudos em sistemas que apresentam intensa troca de matéria e energia via solo-biosfera-atmosfera sob influência do ciclo da maré, carecem de maiores compreensões para um entendimento descritivo de parâmetros que regem os fluxos de massa e energia dentro desses ecossistemas e como essas trocas modelam o estabelecimento de populações biológicas.

Portanto para uma completude dos processos que regem estas interações, faz-se necessário a estruturação de estudos interdisciplinares, a partir de uma série espaço-temporal longa, que contemple a análise de anos com anomalias atmosféricas (El Niño e La Niña), assim como anos normais, sob efeito do ciclo da maré, a influência limnológica e o deslocamento de massa, para um melhor entendimento do comportamento fenológico das populações biológicas que ocupam os ecossistemas costeiros na Amazônia brasileira.

Quanto as observações sobre a dinâmica sócio ambiental em ambientes de áreas florestadas, é fundamental analisar e descrever o comportamento das populações humanas dentro de uma dinâmica de uso-ocupação do solo, sua capacidade de alteração do meio físico e dos “projetos originais”, assim como suas percepções a respeito dos serviços ecossistêmicos retornados pelo manguezal, em suas amplas possibilidades.

### 5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há muito que se compreender sobre o bioma Amazônia - suas interações edáficas, biofísicas e atmosféricas, em esforços que descrevam os processos físicos, biológicos e geológicos da região, assim como a relação deste ecossistema a partir da inserção do homem em seu contexto.

Portanto, dada a representatividade deste bioma em nível regional e global, repousa sobre as entidades de fomento à ciência e cientistas, o compromisso de investigar e compreender os processos naturais que regem as dinâmicas bióticas e abióticas nos diferentes ecossistemas amazônicos, os processos de modificação do uso da terra, lançando luz de forma considerável sobre os manguezais amazônicos, visto que há uma carência de estudos entre as interações biosfera – atmosfera neste ecossistema, visto que a predominância das produções científicas tem perpassado predominantemente pelos ecossistemas de terra firme.

Este novo olhar sobre o manguezal amazônico, a partir da análise dos fluxos turbulentos de energia e CO<sub>2</sub>, revelam uma ampla necessidade de compreensão das interações biosfera – atmosfera e a dinâmica do carbono na Amazônia, sob efeito dos fenômenos de escalas local e global. Tais olhares poderão agregar em médio prazo uma valorização e valoração dos serviços ecossistêmicos em torno da Amazônia nos mercados nacionais e internacionais, a partir de um maior detalhamento dos processos naturais e seus retornos para as populações tradicionais.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, M. M. O. et al. Analysis of floristic, composition and structure in a fragment of terra firme forest and an adjacent mangrove stand on Ajuruteua península, Brabança, Pará. **Boletim do museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 2, p. 27–34, 2006.
- AGUIAR, R. G. et al. Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 248–257, 2006.
- ALLEN, R. et al. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water management**, v. 98, 2011.
- ALONGI, D. Present state and future of the world's mangrove forests. **Environmental Conservation**, v. 29, n. 3, p. 331–349, 2002.
- ANGULO, R. J. O manguezal como unidade dos mapas geológicos. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA, 2., 1990, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia: Publ... São Paulo, ACIESP, 2, 1990. p. 54-62.
- ARAÚJO, A. C. et al. The spatial variability of CO<sub>2</sub> storage and the interpretation of eddy covariance fluxes in central Amazonia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, p. 226–237, 2010.
- ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, p. 463–472, 2009.
- ARYA, P. **Introduction to micrometeorology**. 2<sup>a</sup> ed. North Carolina: [s.n], 2001.
- BALDOCCHI, D.; HICKS, B.; MEYERS, T. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. **Ecology**, v. 69, n. 5, p. 1331–1340, 1988.
- BANN, C. Economy and environment program for southeast Asia. **The Economic Valuation of Tropical Forest Land Use Options** : a manual for researchers, Apr., p. 166, 1998.
- BARBIER, E. B. Valuing environmental functions: tropical Wetlands Edward. **Land Economics**, v. 70, n. 2, p. 155–173, 1994.
- BARR, J.; DELONGE; FUENTES. Seasonal evapotranspiration patterns in mangrove forests. **J. Geophys. Res. Atmos.**, v. 119, p. 3886–3899, 2014.
- BARR, J. G. et al. Physiological responses of red mangroves to the climate in the Florida Everglades. **Journal of Geographical Research**, v. 114, n. May, p. 1–13, 2009.
- BARR, J. G. et al. Controls on mangrove forest - atmosphere carbon dioxide exchanges in western Everglades National Park. **Journal of Geophysical Research**, v. 115, p. 1–14, 2010.
- BARR, J. G. Modeling Light Use Efficiency in a Subtropical Mangrove Forest Equipped with CO<sub>2</sub> Eddy Covariance ° C. **Biogeosciences**, v. 10, p. 2145–2158, 2013.
- BARR, J. G. et al. Summertime influences of tidal energy advection on the surface energy

balance in a mangrove forest. **Biogeosciences**, v. 10, p. 501–511, 2013.

BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na Amazônia legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 125–134, 2009.

BERGER, U. et al. Advances and limitations of individual-based models to analyze and predict dynamics of mangrove forests : A review. **Aquatic Botany**, v. 89, p. 260–274, 2008.

BLACKADAR, A. K. **Turbulence and diffusion in the atmosphere**. 1<sup>a</sup> ed. Berlin: Springer, 1997.

BOEREMA, A. et al. Economic valuation of ecosystem services , a case study for aquatic vegetation removal in the Nete catchment ( Belgium ). **Ecosystem Services**, v. 7, p. 46–56, 2014.

BOYD, J.; BANZHAF, S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. **Ecol. Econ.**, v. 63, n. 2–3, p. 616–626, 2007.

BRUUN, H.; HUKKINEN, J.; HUUTONIEMI, K. **Promoting Interdisciplinary Research. The Case of the Academy of Finland**. Academy of ed. Helsinki: 2005.

BUSINGER, J. A. et al. Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 28, n. 2, p. 181–189, 1971.

CATTANIO, J. H. et al. Phenology, litterfall, growth, and root biomass in a tidal floodplain forest in the Amazon estuary. **Revista Brasileira de Bot**, v. 27, n. 4, p. 703–712, 2004.

CHEN, G. C.; TAM, N. F. Y.; YE, Y. Spatial and seasonal variations of atmospheric N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> fluxes from a subtropical mangrove swamp and their relationships with soil characteristics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 48, p. 175–181, 2012.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na amazônia. **CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e análise Climática**, v. 4, p. 34–40, 1989.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian equall lines. A case study. **Monthly Weather Review**, v. 123, n. 11, p. 3163–3174, 1995.

CORREIA, F.; ALVALÁ, R.; MANZI, A. Impacto das Modificações da Cobertura Vegetal no Balanço de Água na Amazônia : Um estudo com Modelo de Circulação Geral da Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA . **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 153–167, 2006.

CORREIA, F. W. S. et al. Balanço de umidade na amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Mudanças Climáticas/ARTIGOS**, v. 303, n. 4, p. 1342–1345, 2006.

COSTANZA, R. Ecological sustainability, indicators and climate change 1. **Climate Change & DES**, n. 410, p. 109–142, 1999.

COSTANZA, R. Social goals and the valuation of natural capital. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 86, p. 19–28, 2003.

- CRESWELL, J. **Projeto de pesquisa** - Métodos qualitativo, quantitativo e misto. 2ª ed. Porto alegre: [s.n], 2007.
- CULF, A. D. et al. Carbon dioxide measurements in the nocturnal boundary layer over Amazonian forest. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 3, n. 1, p. 39–53, 1999.
- CURTIS, I. A. Valuing ecosystem goods and services : a new approach using a surrogate market and the combination of a multiple criteria analysis and a Delphi panel to assign weights to the attributes. **Ecological Economics**, v. 50, p. 163–194, 2004.
- DOUGHTY, C. E.; GOULDEN, M. L. Seasonal patterns of tropical forest leaf area index and CO<sub>2</sub> exchange. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, n. October, p. 1–12, 2008.
- DUARTE, C. M.; CEBRIAN, J. The fate of marine autotrophic production. *Limnol. Oceanogr.*, v. 41, p. 1758–1766, 1996.
- DUARTE, C. M.; MIDDELBURG, J. J.; CARACO, N. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. **Eur. Geosci.**, v. 1, p. 1–8, 2005.
- ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice : An overview of the issues. **Ecological Economics**, v. 5, n. 2007, 2008.
- FEARNSIDE, P. M. Potential impacts of climatic change on natural forests and forestry in Brazilian Amazônia. **Forest Ecology and Management**, v. 78, n. 1–3, p. 51–70, out. 1995.
- FEARNSIDE, P. M. Are climate change impacts already affecting tropical forest biomass? **Global Environmental Change**, v. 14, n. 4, p. 299–302, dez. 2004.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia : dinâmica , impactos e controle. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 3, p. 395–400, 2006.
- FEARNSIDE, P. M. Carbon benefits from Amazonian forest reserves : leakage accounting and the value of time. **Mitg Adap Strateg Glob Change**, v. 14, p. 557–567, 2009.
- FIERER, N. et al. Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition. **Ecology**, v. 86, p. 320–326, 2005.
- FINNIGAN, J. et al. A re-evaluation of long-term flux measurement techniques. Part I: Averaging and coordinate rotation. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 107, n. June, 2003.
- FISCH, G. et al. The convective boundary layer over pasture and forest in amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n. 1–3, p. 47–49, 2004.
- FISCH, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 28, p. 101–126, 1998.
- FISHER, B.; TURNER, R. K.; MORLING, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecological Economics**, v. 68, n. 3, p. 643–653, 2009.
- FITZJARRALD, D. R.; GARSTANG, M. Vertical of the Tropical Boundary Layer. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 1, p. 1512–1526, 1981.



FOKEN, T. 50 years of the monin–obukhov similarity theory. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 119, p. 431–447, 2006.

GAMA, J. R. V. Comparação entre florestas de várzea e de terra firme do estado do Pará. **R. Árvore**, v. 29, n. 4, p. 607–616, 2005.

GARRATT, J. R. Surface influence upon vertical profiles in the atmospheric near-surface layer. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological society**, v. 106, n. 450, p. 803–819, 1980.

GARRATT, J. R. **The atmospheric boundary layer**. 1ª ed. Cambridge: 1992.

GARRATT, J. R. et al. The atmospheric boundary layer-advances in knowledge and application. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 78, n. 1–2, p. 9–37, 1996.

GARSTANG, M.; FITZJARRALD, D. R. **Observations of surface to atmosphere interactions in the tropics**. 1ª ed. New York: 1999.

GERMANO, M. F. et al. Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon : an observational study. **Atmospheric Science Letters**, v. 18, n. January, p. 67–75, 2017.

GROOT, R. de. et al. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning , management and decision making. **Ecological Complexity**, v. 7, n. 3, p. 260–272, 2010.

GROOT, R. S. de; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification , description and valuation of ecosystem functions , goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, p. 393–408, 2002.

HELLIWELL, D. R. Valuation of wildlife resources. **Regional Studies**, v. 3, p. 41–49, 1969.

HILL, R. J. Implications of Monin-Obukhov similarity theory for scalar quantities. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 46, n. 14, p. 2236–2244, 1989.

HOGARTH, P. J. **The Biology of Mangroves and Seagrasses**. 1ª ed. New York: 2007.

HUSSAIN, S. A.; BADOLA, R. Valuing mangrove benefits: contribution of mangrove forests to local livelihoods in Bhitarkanika conservation area east coast of India. **Wetl.Ecol. Manag.**, v. 18, p. 321–331, 2010.

HUTYRA, L. R. et al. Seasonal controls on the exchange of carbon and water in an Amazonian rain forest. **Journal of Forestry Research**, v. 112, p. 1–16, 2007.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. Disponível em:  
<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/towindow.htm?1>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

IWATA; MALHI; VON RANDOW. Gap-filling measurements of carbon dioxide storage in tropical rainforest canopy airspace. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 132, p. 305–314, 2005.

JANSSENS, I. A.; PILEGAARD, K. Large seasonal changes in Q(10) of soil respiration in a beech forest. **Global Change Biology**, v. 9, p. 911–918, 2003.

- JUNK, W. J. et al. A general review of tropical South American floodplains. v. 2, n. 4, p. 231–238, 1993.
- LIMA, N. G. B. de; GALVANI, E. Mangrove Microclimate : A Case Study from Southeastern Brazil. **Earth Interactions**, v. 17, n. 2, p. 1–16, 2013.
- KAIMAL, J. C.; WYNGAARD, J. C. The Kansas and Minnesota experiments. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 50, n. 1–4, p. 31–47, 1990.
- KAIMAL, J.; FINNIGAN, J. **Atmospheric Boundary Layer Flows**. 1ª ed. New York: 1994.
- KING, R. T. Wildlife and man. **Conservationist**, v. 20, n. 6, p. 8–11, 1966.
- KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 4, p. 488–498, 1980.
- KOWALSKI, A. S. ET AL. Can flux tower research neglect geochemical CO<sub>2</sub> exchange? **Agric for Meteorol.**, v. 148, p. 1045–1054, 2008.
- KRAUSE, G. et al. Spatial patterns of mangrove ecosystems: The Bragantian mangroves of northern Brazil (Bragança, Pará). **Ecotropica (Bonn)**, v. 7, p. 93–107, 2001.
- KRAUSS, K. W. et al. Environmental drivers in mangrove establishment and early development: A review. **Aquatic Botany**, v. 89, n. 2, p. 105–127, 2008.
- KRUG, L. A.; LEÃO, C.; AMARAL, S. Dinâmica espaço-temporal de manguezais no complexo estuarino de paranaguá e relação entre decréscimo de áreas de manguezal e dados sócio-econômicos da região urbana de município de paranaguá - Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis. Anais, 2007. p. 2753-2760.
- KRUIJT, B. et al. Sources and sinks of CO<sub>2</sub> in Rondônia tropical rain forest. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R.L. **Amazonian Deforestation and Climate**. 1ª ed. Chichester: [s.n], 1992. p. 331–351.
- KUTSCH, W. et al. Advection and resulting CO<sub>2</sub> exchange uncertainty in a tall forest in central Germany. **Ecological Applications**, v. 18, n. 6, p. 1391–1405, 2008.
- LANA, P. C. **Novas formas de gestão dos manguezais brasileiros: a Baía de Paranaguá como estudo de caso. Desenvolvimento e meio Ambiente**. 1ª ed. Curitiba: 2004.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. 1ª ed. São Carlos: 2000.
- LASSLOP, G. et al. Separation of net ecosystem exchange into assimilation and respiration using a light response curve approach : critical issues and global evaluation. **Global Change Biology**, v. 16, p. 187–208, 2010.
- LEFF, H. **Aventuras da epistemologia ambiental: da articulação das ciências ao diálogo de saberes**. São Paulo: [s.n.], 2012.
- LIU, X. et al. A study of correlations of scalar quantities in the atmospheric surface layer. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 87, n. 3, p. 499–508, 1998.

LOVELOCK, C. E.; FELLER, I. C. Photosynthetic performance and resource utilization of two mangrove species coexisting in a hypersaline scrub forest. **Oecologia**, v. 134, p. 455–462, 2003.

LUIZÃO, S. P.; NOBRE, F.; DIAS, C. A. Ecological research in the large-scale Biosphere-Atmosphere experiment in Amazônia: Early results. **Ecological Applications**, v. 14, n. sp4, p. 3–16, ago. 2004.

MACIEL, M. N. M. L. et al. Efeito da radiação solar na dinâmica de uma floresta. **Rev. Ciênc. Exatas Nat.**, v. 4, 2002.

MAFRA, A. et al. Variabilidade da concentração média de CO<sub>2</sub> acima da floresta Amazônica durante a noite associada a distintos regimes turbulentos. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 1, p. 429–433, 2016.

MAHRT, L. On the shallow motion approximations. **Journal of the Atmospheric**, v. 43, n. 10, p. 1036–1044, 1986.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. 2ª ed. Brasília, DF, 2007.

MATTHEW, J. A.; HERBERT, D. T. "Unity of geography. Prospects for the discipline. In: MATTHEW, John A.; HERBERT, David T. (Eds.). **Unifying geography**. New York: [s.n.], 2004. p. 369-393.

MCBEAN, G. A. Instruments requirements for eddy correlation measurements. **Journal of Applied Meteorology**, v. 11, n. 7, p. 1078–1084, 1972.

MEA. **Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends**. 2005. ed. Washington, DC.

MEHLIG, U. Phenology of the red mangrove, *Rhizophora mangle* L., in the Caeté Estuary, Pará, equatorial Brazil. **Aquatic Botany**, v. 84, p. 158–164, 2006.

MENEZES, M.; BERGER, U.; MEHLIG, U. Mangrove vegetation in Amazonia : a review of studies from the coast of Pará and Maranhão States , north Brazil. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 403–420, 2008.

MIELNICK, P. A. et al. Long-term measurements of CO<sub>2</sub> flux and evapotranspiration in a Chihuahuan desert grassland. **J. Arid Environ**, v. 60, p. 423–436, 2005.

MOLION, L. C. Climatologia dinâmica da região amazônica: Mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 107–117, 1987.

MONCRIEFF, J. B. et al. A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide. **Journal of Hydrology**, v. 188, p. 589–611, 1997.

MONIN, A. S.; YAGLOM, A. M. **Statistical fluid mechanics: mechanics of turbulence**. 1ª ed. Massachusetts:MIT. 1971.

MORAES, S. C.; ALMEIDA, N. J. R. Saberes e sustentabilidade no manguezal de São Caetano de Odivelas-PA. **Revista Movendo Ideias**, v. 17, n. 1, p. 6–15, 2012.

NUNES, Y. R. F. ET AL. Aspectos ecológicos da aroeira (*Myracrodruon urundeuva* ALLEMÃO - Anacardiaceae): fenologia e germinação de sementes. **R. Árvore**, v. 32, n. 2, p. 233–243, 2008.

ØSTRENG, W. **Science without boundaries interdisciplinarity in research, society and politics**. 1ª ed. United Kingdom: [s.n], 2010.

PASCOALINI, S. et al. Abordagem ecofisiológica dos manguezais: uma revisão. **Biotemas**, v. 27, n. 3, p. 1–11, 2014.

PEREIRA, P. L.; RODRIGUES, H. J. B. Análise e estimativas dos componentes do balanço de energia em ecossistema de manguezal Amazônico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, p. 75–84, 2013.

PEREIRA, T. S. et al. Fenologia de espécies arbóreas em Floresta Atlântica da Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Iheringia**, v. 63, n. 2, p. 329–339, 2008.

PEREIRA, B. E.; DIEGUES, A. C. Conhecimento de populações tradicionais como possibilidade de conservação da natureza: uma reflexão sobre a perspectiva da etnoconservação. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 22, n. jul./dez., p. 37–50, 2010.

POMBO, O. Epistemologia da Interdisciplinaridade. **Revista do centro de educação e letras**, v. 10, n. 1, p. 9–40, 2008.

PORTILLO, J. T. M.; LONDE, V.; MOREIRA, F. W. A. Aboveground biomass and carbon stock are related with soil humidity in a mangrove at the Piraquê-Açu River, Southeastern Brazil. **Journal of Coastal Conservation**, v. 21, n. 1, p. 139–144, 2017.

QUERINO, C. A. S. et al. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (Kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas-Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, 2011.

RAUPACH, M. R.; FINNIGAN, J. J.; BRUNET, Y. Coherent eddies and turbulence in vegetation canopies: The mixing-layer analogy. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 78, n. 3–4, p. 351–382, 1996.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185–204, 2010.

REICHSTEIN, M. et al. On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. **Global Change Biology**, v. 11, 2005.

RODDA, S. R. et al. Seasonal Variations of Carbon Dioxide, Water Vapor and Energy Fluxes in Tropical Indian Mangroves. **Forests**, v. 7, n. 35, p. 1–18, 2016.

RODRIGES, H. J. B. et al. Variabilidade sazonal da condutância estomática em um ecossistema de manguezal amazônico e suas relações com variáveis meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 189–196, 2011.

RYAN, M. G. Effects of climate change on plant respiration. **Ecological Applications**, v. 1, p. 157–167, 1991.

SALATI, E.; MARQUES, J. Climatology of the amazon region. In: SIOLI, H. (Ed.). **The Amazon: Liminology and landscape ecology of a mighty tropical river and basin.** [S.l.: s.n.], 1984.

SALOMÃO, R. P. Manejo florestal na várzea: caracterização, restrições e oportunidades para a sua doação. In: JARDIM, M.A.G.; SALOMÃO, R.P.; TEREZO; E.F.M. (Org.). **Manejo florestal nas várzeas: oportunidades e desafios.** Belém: MPEG, 2007. p. 11–138.

SALVUCCI, M. E.; CRAFTS-BRANDNER, S. J. Inhibition of photosynthesis by heart stress: the activation state of Rubisco as a limiting factor in photosynthesis. **Physiologia plantarum**, v. 120, n. 2, p. 179–186, 2004.

SAN-JOSÉ, J.; MONTES, R.; NOKONOVA, N. Diurnal patterns of carbon dioxide, water vapour, and energy fluxes in pineapple [Ananas comosus (L.) Merr. cv. Red Spanish]field using eddy covariance. **Photosynthetica**, v. 45, n. 370–384, 2007.

SANTOYO, A. H. et al. La Ciencia Económica y el Medio Ambiente: un aporte desde la valoración económica ambiental. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v. 34, n. 125, p. 25–38, 2013.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Brazilian mangroves. **Aquatic Ecosystem Health Management**, v. 3, p. 561–570, 2000.

SILVA-DIAS, M. A. da. Sistemas de Mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 133–150, 1987.

SILVA JUNIOR, J. et al. Sazonalidade de elementos meteorológicos de manguezal na região equatorial do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 241–247, 2006.

SOUZA, D. L. de. Urbanização turística, políticas públicas e desenvolvimento: O caso de Salinópolis/Pa. **Geografia em questão**, v. 7, n. 1, p. 65–86, 2004.

SOUZA, E. B. de; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern Amazon/Northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic sst anomalies on weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 113–122, 2004.

SOUZA FILHO, J. et al. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da amazônia. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 223–229, 2005.

SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: Cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 427–435, 2005.

STRONG, C. et al. Daytime cyclr of low-lrvel clouds and the tropical convective boundary layer in Southwestern Amazonia. **American Meteorological Society**, v. 44, n. 10, p. 1607–1619, 2005.

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology.** 1ª ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988.

TEEB. **The Economics of Ecosystems and Biodiversity in local and regional policy and management.** 1ª ed. London: [s.n], 2012.

THOM, A. S. et al. Comparison of aerodynamic and energy budget estimatives of fluxes over a pine forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological society**, v. 101, n. 427, p. 93–105, 1975.

TRINDADE, A. **Para entender LUHMANN e o direito como sistema autopoietico**. 1ª ed. Porto Alegre: [s.n.], 2008.

URTEGA, E. La teoría de sistemas de niklas Luhmann. **Revista Internacional de Filosofia**, v. 15, p. 301–317, 2010.

VALE, M. M.; ALVES, M. A. S.; LORINI, M. L. Mudanças climáticas: desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade brasileira. **Oecologia brasiliensis**, v. 13, n. 3, p. 518–535, set. 2009.

VIDAL, J. A Realidade é externa ao indivíduo? Uma aproximação à pesquisa qualitativa. **Paper do Naea**, v. 203, p. 1–24, 2006.

VIDAL, J. Teoria de sistemas autorreferenciales: Posibilidades para la observación del dedarrollo sostenible. **Paper do Naea**, v. 15, 2012.

VILANI, M. et al. Sazonalidade da radiação e umidade em uma floresta de transição Amazônia Cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 331–343, 2006.

VO, Q. et al. Review of valuation methods for mangrove ecosystem services. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 431–446, 2012.

VO, T. Q.; KUENZER, C.; OPPELT, N. How remote sensing supports mangrove ecosystem service valuation : A case study in Ca Mau province , Vietnam. **Ecosystem Services**, v. 14, p. 67–75, 2015.

WERE, A. et al. Ventillation of subterranean CO<sub>2</sub> and eddy covariance incongruities over carbonate ecosystems. **Biogeosciences**, v. 7, p. 859–867, 2010.

WYNGAARD, J. C. **Boundary-layer modeling**. In: **Nieuwstadt, F.T.M.; van Dop, H.** 1ª ed. Dordrecht: Reidel, 1984. Cap. 3, p. 69-106.

ZERI, M. et al. Variability of carbon and water fluxes following climate extremes over a tropical forest in Southwestern Amazonia. **PLoS ONE**, v. 9, n. 2, p. 1–13, 2014.

ZERI, M.; SÁ, L. D. A. Horizontal and vertical turbulent fluxes forced by a gravity wave event in the nocturnal atmospheric surface layer over the Amazon Forest. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 138, n. 3, p. 413–431, 2011.

ZHONG, Q. et al. Carbon Dioxide Fluxes and Their Environmental Control in a Reclaimed Coastal Wetland in the Yangtze Estuary. **Estuaries and Coasts**, v. 39, p. 344–362, 2016.

## **APÊNDICE**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ



MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

## PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

## APÊNDICE A - COMUNIDADE DA VILA DE CUIARANA – SALINÓPOLIS – PARÁ

**I. Identificação**

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/2017

1. Nome do entrevistado: \_\_\_\_\_
2. Gênero do entrevistado: 1. Masculino [ ] 2. Feminino [ ]
3. Cargo/Função que ocupa: \_\_\_\_\_
4. Como se deu a forma de ocupação do cargo? 1. Eleição [ ] 2. Indicação [ ]  
3. Convite [ ] 4. Outros [ ]
5. Grau de Escolaridade: \_\_\_\_\_
6. Você participa de alguma associação? 1. [ ] sim; 2. [ ] não  
Qual sua participação? \_\_\_\_\_  
(exemplo: cargo na prefeitura, diretor ou secretário de escola, líder de associação ou sindicato, etc.)
7. Nome da associação ou organização que faz parte:  
\_\_\_\_\_
8. Qual a finalidade do grupo ou associação e quais assuntos são tratados nas reuniões?  
\_\_\_\_\_

**II. Capital físico - Infraestrutura****Água e saneamento**

9. Quais são as fontes de água disponíveis para as residências de Cuiarana?

Fonte de água	Sim	Não	Qual a mais importante fonte de água em sua casa?
Rio ou igarapé			
Água encanada com torneira fora da casa			
Água encanada dentro da casa			
Tanque de água			
Poço			
Outros, especificar			

Outros, especificar \_\_\_\_\_





UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ



MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

## PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

### III. Capital social - Inclusão social

10. Existem pessoas em Cuiarana que são privadas de qualquer um dos seguintes serviços (marque com um **x**):

	Sim	Não	Se sim, por favor, dê no máximo três razões para a exclusão: 1= Nível de renda                      2= Religião 3= Etnia/língua                         4= Ocupação 5= Desconhecido                        6= Idade 7= Outros, ( Especificar)
Educação/Escola			
Serviços de saúde/ clínicas			
Fornecimento de água			
Justiça			
Transporte			
Terra			
Outros, especificar			

### IV. Características da área da propriedade

11. Como se deu a forma de aquisição do terreno em que os moradores de Cuiarana residem?

\_\_\_\_\_

12. Você sabe afirmar o motivo de estabelecimento dos moradores o na área?

a. herança [ ]                      b. mudança para a região por perspectiva de emprego [ ]

c. mudança por questões familiares [ ]                      d. arrendamento para cultivo [ ]

13. A área de propriedade do morador é utilizada de que maneira para a obtenção de renda?

a. roça [ ]                      b. extrativismo [ ]                      c. criação de animais [ ]                      d. catação de mariscos [ ]



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ



MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

## PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

### V. Mecanismos de financiamento

14. Quais são as fontes de renda das famílias nativas de Cuiarana?

Fonte de renda	Sim	Não	Valor R\$ (anual)
Venda de caranguejo, siri, camarão, etc.			
Aposentadoria			
Bolsa família			
Pesca			
Trabalho assalariado em outras empresas			
Venda de madeira do manguezal			
Venda de mandioca			
Venda de frutos (ex. manga, entre outras)			
Outros, especificar.			

### VI. Sobre o mangue e as relações com a floresta e os produtos ecossistêmicos

15. Que importância a floresta do mangue e seus produtos (Caranguejo, siri, camarão, peixe, mexilhão, etc.) tem para você?

a.  muito importante      b.  importante      c.  não tem muita importância      d.  nenhuma

faça uma breve descrição de sua opinião: \_\_\_\_\_.

16. Quem são os principais compradores desses produtos do manguezal? (Caranguejo, siri, camarão, peixe, mexilhão, etc.)

a. população local       b. supermercados       c. bares, hotéis e restaurantes       d. feirantes

17. Em que período do ano ocorre o corte das árvores do mangue?

a. de janeiro a maio       b. em junho e julho

c. de agosto a dezembro       d. durante todos os meses do ano

18. Quem são os principais compradores dessa madeira?

a. padarias       b. pescadores       c. construção civil       d. outros (especifique)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ



MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

## PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

19. Como é feito a venda desta madeira?

- a. kilo [ ]      b. cubagem [ ]      c. carrada (carroça) [ ]      d. caminhão [ ]

20. Qual o valor aproximado de venda desta madeira?

---

21. Você tem conhecimento da utilização da madeira do mangue nas residências dos moradores, para suas próprias necessidades?

- a. sim [ ]      b. não [ ]      (caso tenha marcado sim, especifique)

---

22. Existe alguma preocupação ambiental entre os moradores da área quando retiram madeira do mangue?

- a. sim [ ]      b. não [ ]      (caso tenha marcado sim, especifique)

---

23. A floresta do mangue e seus produtos, (caranguejo, siri, peixe etc.) são retratados em manifestações religiosas pela comunidade?

- a. sim [ ]      b. não [ ]      (caso tenha marcado sim, especifique)

---

24. Existe alguma forma de transmissão para os filhos, netos, sobrinhos, etc. o valor que a floresta tem para a comunidade?

- a. sim [ ]      b. não [ ]      (caso tenha marcado sim, especifique como isso é feito e como você avalia a compreensão desses conhecimentos).

---



---



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ



MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

## PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

### VII. De sua liderança na comunidade

25. Você participou ou tem participado de reuniões em sua área de atuação, em que são tratados assuntos em relação a conservação do mangue (manutenção da floresta em pé), proteção dos produtos do manguezal durante o período de defeso?

Sim [ ] 1 Não [ ] 0

26. Há alguma forma de discussão ou orientação de sua parte, para com as pessoas com quem você lidera, sobre evitar o desmatamento do mangue, respeito do período do seguro defeso, manifestações culturais sobre o ecossistema de manguezal?

Sim [ ] 1 Não [ ] 0

27. Durante o tempo de ocupação deste cargo, você tem sido orientado ou cobrado sobre a implementação de ações que tornem os seus liderados mais conscientes sobre os serviços ecossistêmicos gerados pelo mangue?

Sim [ ] 1 Não [ ] 0

28. Pela natureza do cargo que você ocupa, quais procedimentos você considera relevante tratar com os membros de sua organização a fim de implementar uma postura mais consciente e comprometida sobre a manutenção da floresta em pé e consequente manutenção dos serviços ecossistêmicos do mangue para a população?

---



---



---

### VIII. Percepção sobre os serviços ecossistêmicos.

29. Você acredita que a chuva tem algum vínculo com as florestas de mangue?

a. sim [ ] b. não [ ]

30. Você considera que o bem-estar (conforto térmico, ventilação natural, etc.) dos moradores de Cuiarana tem algum vínculo com a mangue?

a. Sim [ ] b. não [ ]

31. Você acredita que a retirada das árvores do mangue compromete a proteção do solo, permitindo a expansão de áreas alagadas?

a. sim [ ] b. não [ ]



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ



MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

## PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

32. Você acredita que a retirada das árvores do mangue afeta o clima no município de Salinópolis?

a. sim [ ]      b. não [ ]

33. Você acredita que a conservação do mangue contribui para a manutenção das populações de camarão, siri, caranguejo, aves, etc.

a. Sim [ ]      b. não [ ]

34. Você acredita que o manguezal é importante para as próximas gerações?

a. Sim [ ]      b. não [ ]

35. Você acredita que o manguezal é capaz de se regenerar com a retirada de sua madeira?

a. Sim [ ]      b. não [ ]

36. Você acredita que a conservação do manguezal é importante para a beleza natural do lugar?

a. Sim [ ]      b. não [ ]

37. Você apoia a diminuição das áreas de manguezal para expansão imobiliária ou implantações de áreas comerciais ou indústrias, visando melhorar a receita do comércio do município?

a. Sim [ ]      b. não [ ]

38. Você acredita que as das árvores do mangue são capazes de remover o gás carbônico da atmosfera, contribuindo assim para a manutenção do clima no município de Salinópolis, assim como o clima regional e global?

a. sim [ ]      b. não [ ]