

ROMMEL BENICIO COSTA DA SILVA

**EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA E DA RADIAÇÃO EM UM ECOSISTEMA  
DE MANGUEZAL NO ESTADO DO PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2005

ROMMEL BENICIO COSTA DA SILVA

**EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA E DA RADIAÇÃO EM UM ECOSISTEMA  
DE MANGUEZAL NO ESTADO DO PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de fevereiro de 2005.

---

Prof. Antonio Carlos Lôla da Costa  
(Conselheiro)

---

Prof. José Eduardo M. Pezzopane  
(Conselheiro)

---

Prof. Paulo José Hamakawa

---

Profª Maria José Hatem de Souza

---

Prof. José Maria Nogueira da Costa  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, pela vida, saúde e perseverança.

Aos meus pais, pelos ensinamentos fundamentais para minha vida, pelo apoio, carinho e amor.

À minha esposa, Lívia Rejane Gomes da Silva, e aos meus filhos, Kaio Gomes da Silva e Diego Benicio Gomes da Silva, por estarem comigo durante a realização deste curso.

À equipe “operacional” do projeto LBA, sítios experimentais sediados em Caxiuanã e Bragança-PA, cujos componentes são: coordenadores professores Dra. Júlia Clarinda Paiva Cohen e Dr. Antonio Carlos Lola da Costa e aos pesquisadores-bolsistas, Rafael Ferreira da Costa, Paulo Jorge de Oliveira Pontes de Souza, Maria das Graças Pires Pereira, João de Athaydes Silva Junior, Paulo Henrique Lopes Gonçalves e Alan Pantoja Braga. Em especial, à minha grande amiga e companheira de campo, Vanda Maria Sales de Andrade

(Vandeca), que sempre participou direta e incondicionalmente junto comigo dos trabalhos de campo e pelos grandes momentos em nossa vida acadêmica.

À Universidade Federal de Viçosa e à área da Meteorologia Agrícola pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do Programa de Pós-Graduação.

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

Ao professor José Maria Nogueira da Costa, pela orientação, paciência, dedicação, amizade e honestidade.

Aos professores conselheiros Dr. Antonio Carlos Lola da Costa e Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane, pelas sugestões e informações necessárias à correção deste trabalho.

Aos pesquisadores da Comunidade Européia, Universidade de Edinburg, com quem diretamente participei das campanhas de campo na Amazônia.

Aos colegas e amigos Rosecélia (Celita), Hernani (cara-de-lata) e Vanda Maria (Vandeca), pelos momentos de alegria, pela descontração, pelo companheirismo e pela convivência na mesma sala sob mesma orientação.

Aos meus companheiros de luta, Rosandro (Mula), Ricardo (Tá-com-sorte), Dalmácio, Zé Luis (Gordo), Givanildo (Só Recheio), Fernando (Zebrado), Alexandro, Rogério, Dayan (Cepacol), Wellian, Evaldo, Ranieri (Louro-José), Marcos (Bicudo), Hewlley, Sílvia, Mônica e Danilo (Daneca).

Ao amigo Murilo Mesquita Baesso, pelas mudanças residenciais na qual dedicamos ajuda recíproca, tornando esta atividade uma aventura, embora muito cansativa e a sua mãe D. Diva pela excepcional culinária e atenção impar a todos ao seu redor.

A todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

ROMMEL BENICIO COSTA DA SILVA, filho de Joel Benicio Nascimento da Silva e Maria de Nazaré Costa da Silva, nasceu em 8 de dezembro de 1965, em Belém, Pará.

Em outubro de 1999, graduou-se em Meteorologia, pela Universidade Federal do Pará (UFPA), em Belém, Pará.

Em março de 2003, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, na área de Interação Solo-Planta-Atmosfera, submetendo-se à defesa de tese em 23 de fevereiro de 2005.

## CONTEÚDO

	<b>Página</b>
LISTA DE TABELA.....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. O ecossistema de manguezal.....	3
2.2. Eficiência de uso da radiação em ecossistemas.....	5
2.3. Eficiência de uso de água em ecossistemas .....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	13
3.1. Sítio experimental .....	13
3.2. Caracterização climática da área experimental .....	14
3.3. Instrumentos e medidas .....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
4.1. Variação diurna.....	21

4.1.1. Eficiência de uso da água (EUA).....	21
4.1.2. Eficiência de uso da radiação (EUR).....	24
4.2. Variação sazonal.....	24
4.2.1. Eficiência de uso da água.....	24
4.2.2. Eficiência de uso da radiação.....	25
4.2.3. Variação sazonal do saldo de radiação, radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa.....	25
4.3. Regressões lineares entre a radiação fotossinteticamente ativa, radiação solar global e saldo de radiação.....	29
4.3.1. Relações lineares entre a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e a radiação solar global (Rsg).....	29
5. CONCLUSÕES.....	35
6. BIBLIOGRÁFIAS CONSULTADAS .....	37

## LISTA DE TABELA

	<b>Página</b>
1 Valores encontrados para eficiência de uso da radiação ( $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) e eficiência de uso de água [ $\text{mg}(\text{CO}_2)\cdot\text{g}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$ ] em alguns ambientes.....	10
2 Valores quantificados para eficiência de uso da água e da radiação para o ecossistema de manguezal .....	35

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
1 Distribuição mundial dos manguezais. As linhas vermelhas indicam as regiões onde se situam os manguezais (Duke, 1992).....	4
2 Imagem de satélite da área experimental de manguezal, a linha amarela indica o furo grande às proximidades do Atlântico tropical, o ponto vermelho indica a localização do sítio experimental e a linha vermelha indica a estrada que corta o manguezal, ligando a cidade de Bragança à Praia de Ajuruteua.	14
3 Balanço hídrico de tracuateua, conforme as normais climatológicas, para o período de 1973 a 1990.....	15
4 Gráfico de temperatura média do ar e precipitação total anual, no período de novembro de 2002 a agosto de 2003, dados coletados na estação automática instalada na torre meteorológica .....	16
5 Sistema Edisol, desenvolvido por Moncrieff et al. (1997) .....	19
6 Variação diurna da EUA e radiação solar global nos meses de novembro de 2002 a agosto de 2003.....	23
7 Variação média horária total da eficiência de uso da água (EUA) e irradiância solar global (RSG) durante o período de novembro de 2002 a agosto de 2003.....	24
8 Variação diurna da EUR e da radiação fotossinteticamente ativa	

	(PAR) nos meses de novembro de 2002 a agosto de 2003.....	26
9	Varição média diurna da eficiência de uso da radiação (EUR) associada com a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para o manguezal. ....	27
10	Varição sazonal da EUA para o manguezal a seta azul indica comportamento anômalo registrado em um período considerado de transição entre época chuvosa para época seca, suspeita-se que seja devido ao aumento de LE que ocasionou maior evapotranspiração, provocando inibição na absorção dos fluxos de CO <sub>2</sub> , tendo, com isso, acarretado um decréscimo nos valores médios da EUA.....	27
11	Varição sazonal da EUR para o manguezal a seta vermelha indica anomalia registrada durante o mês de junho, suspeita-se que seja devido ao aumento de LE que ocasionou maior evapotranspiração, provocando inibição na absorção dos fluxos de CO <sub>2</sub> , tendo, com isso, acarretado um decréscimo nos valores médios da EUA.....	28
12	Varição sazonal do saldo de radiação (Rnet), irradiância solar global (RSG) e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), durante o período diurno de 9 h às 16 h, a falha apresentada no gráfico de Rnet deve-se ao fato de o mês de abril apresentar apenas 10 (dez) dias de dados de Rnet .....	28
13	Varição da relação RSG/PAR durante o período de novembro de 2002 a agosto de 2003.....	30
14	Varição sazonal da razão entre a irradiância solar global (RSG) e a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) .....	31
15	Relações entre a PAR e a radiação solar global para os meses de novembro de 2003 a agosto de 2003 .....	32
16	Relações entre a PAR e o saldo de radiação para os meses de novembro de 2002 a agosto de 2003.....	33
17	Relações entre a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e a irradiância solar global (RSG) para todo o período.....	34
18	Relações entre a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e o saldo de radiação (Rnet) para todo o período.....	34

## RESUMO

SILVA, ROMMEL BENICIO COSTA DA, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2005. **Eficiência de Uso da Água e da Radiação em um Ecossistema de Manguezal no Estado do Pará.** Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Conselheiros: Antonio Carlos Lôla da Costa e José Eduardo Macedo Pezzopane.

Um estudo micrometeorológico foi realizado num sítio experimental de manguezal em Bragança-PA, no período de novembro de 2002 a agosto de 2003, com o objetivo de quantificar as variações diurnas e sazonais dos índices de eficiência de uso da água (EUA) e da eficiência de uso da radiação (EUR) no ecossistema de manguezal, e examinar a influência de variáveis meteorológicas na oscilação das magnitudes desses índices além de estabelecer relações quantitativas entre a radiação fotossinteticamente ativa, irradiância solar global e saldo de radiação. Uma estação meteorológica automática foi instalada no topo de uma torre micrometeorológica de 25 m de altura para registrar continuamente os parâmetros meteorológicos, tais como: a temperatura do ar e do solo, umidade relativa, pressão atmosférica, direção e velocidade do vento, irradiância solar global, saldo de radiação, radiação fotossinteticamente ativa e precipitação. A técnica de covariância dos vórtices

turbulentos foi utilizada na medição dos fluxos de CO<sub>2</sub>, vapor d'água e calor sensível, usando o sistema Edisol. A eficiência de uso da água (EUA) foi determinada pela relação entre os fluxos de CO<sub>2</sub> e de calor latente, enquanto a eficiência de uso da radiação (EUR) foi calculada pela razão entre os fluxos de CO<sub>2</sub> e a radiação fotossinteticamente ativa. A EUA variou em média de  $3,18 \pm 0,58 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$  às 9 h, chegando ao mínimo de  $2,49 \pm 0,46 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$  às 14h e atingindo o valor de  $2,46 \pm 0,50 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$  às 16 h. A variação diurna da EUR foi de  $10,44 \pm 2,07 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  às 9 h, decrescendo até atingir o mínimo de  $10,10 \pm 1,70 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  às 12h30 e atingindo o valor de  $11,79 \pm 2,25 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  às 16 h. Quanto à variação sazonal, esses índices apresentaram valores maiores durante a estação chuvosa. O valor médio da EUA no período estudado foi de  $2,68 \pm 0,20 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$ , enquanto o valor médio da EUR foi de  $8,47 \pm 0,83 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$ . A EUA atingiu o valor médio máximo de  $3,26 \pm 0,40 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$  no mês de fevereiro (mês típico do início da estação chuvosa), e um valor médio mínimo de  $1,69 \pm 0,09 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$  em junho (mês que representa a transição entre a estação chuvosa e a estação menos chuvosa). A EUR atingiu um valor médio máximo de  $11,11 \pm 0,92 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  em abril (mês típico da estação chuvosa) e um valor mínimo de  $5,75 \pm 0,79 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  em novembro (mês típico da estação menos chuvosa). As variáveis mais fortemente correlacionadas com os índices de eficiência de uso da água e de eficiência de uso da radiação foram: o saldo de radiação, a irradiância solar global e a radiação fotossinteticamente ativa. A relação entre a irradiância solar global e a radiação fotossinteticamente ativa ( $R_g/\text{PAR}$ ) variou de 0,40 a 0,45, com uma média de  $0,43 \pm 0,02$ . Os resultados das regressões lineares entre a radiação fotossinteticamente ativa e a irradiância solar global, com exceção dos resultados em fevereiro que apresentou um coeficiente de determinação de 0,60, nos outros meses obtiveram-se valores de coeficiente de determinação superiores a 0,80 mostrando a forte relação entre PAR e  $R_g$ . Os resultados das regressões lineares entre o saldo de radiação e PAR, também apresentaram resultados muito satisfatórios.

## ABSTRACT

SILVA, ROMMEL BENICIO COSTA DA, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2005. **Water Use Efficiency and Radiation Use Efficiency at A Mangrove Ecosystem in the State of Pará.** Adviser: José Maria Nogueira da Costa. Committee members: Antonio Carlos Lôla da Costa and José Eduardo Macedo Pezzopane.

A micrometeorological study was conducted at a mangrove experimental site in Bragança-PA, during the period of November 2002 to August 2003, with the objective to quantify the diurnal and seasonal variations of the water use efficiency (WUE) and radiation use efficiency (RUE) indices at a mangrove ecosystem, and to examine the influence of meteorological variables in the magnitude of these indices and to establish quantitative relationships between photosynthetic active radiation, solar global radiation and net radiation. An automatic weather station was installed on the top of a 30 m micrometeorological tower for continuous monitoring of the air and soil temperature, relative humidity, atmospheric pressure, rainfall, wind speed and direction, global solar radiation, net radiation and photosynthetic active radiation. The eddy covariance technique (EdiSol system) was used to measure the fluxes of CO<sub>2</sub>, water vapor and sensible heat. The water use efficiency was

determined by the ratio between the fluxes of CO<sub>2</sub> and water vapor, while the radiation use efficiency was calculated by the ratio between the CO<sub>2</sub> fluxes and the photosynthetic active radiation. The WUE varied in average from  $3,18 \pm 0,58 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$  at 9 h, reaching the minimum of  $2,49 \pm 0,46 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$  at 14 h and reaching the value of  $2,46 \pm 0,50 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$  at 16 h. The RUE diurnal variation was from  $10,44 \pm 2,07 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  at 9 h, decreasing until the minimum of  $10,10 \pm 1,70 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  at 12h30 and reaching the value of  $11,79 \pm 2,25 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  at 16 h. In regard to the seasonal variation, these indices were greater during the wet season. The average WUE during the studied period was  $2,68 \pm 0,20 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$ , while the averaged RUE was  $8,47 \pm 0,83 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$ . The WUE reached the maximum averaged value of  $3,26 \pm 0,40 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$  in February (typical month of the beginning of wet season), and a minimum averaged value of  $1,69 \pm 0,09 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$  in June (a transition month between the wet and dry seasons). The RUE reached an averaged maximum value of  $11,11 \pm 0,92 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  in April (typical month of the wet season) and a minimum value of  $5,75 \pm 0,79 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  in November (typical month of the less wet season). The variables more strongly correlated with WUE and RUE indices were: net radiation, global solar radiation and the photosynthetic active radiation. The ratio between global solar radiation and the photosynthetic active radiation (Rg/PAR) ranged from 0,40 to 0,45, with an average of  $0,43 \pm 0,02$ . The results of linear regressions between the photosynthetic active radiation and the global solar radiation, except for the results in February, which presented a coefficient of determination of 0,60, the other months these coefficient of determination values were greater than 0,80, suggesting a strong relationship between the PAR and the global solar radiation. The results of the linear regressions between net radiation and PAR, also showed very good results.

## 1. INTRODUÇÃO

A caracterização do ecossistema de manguezal com base em índices calculados a partir de medições dos fluxos de CO<sub>2</sub>, vapor d'água e da radiação fotossinteticamente ativa permite que sejam avaliadas as interações desse ecossistema com a atmosfera em função da eficiência de uso da água e da radiação.

Segundo LAMAUD et al. (1996), a eficiência de uso da água (EUA), representa a capacidade que a vegetação possui em assimilar carbono, enquanto limita as perdas de água, através dos estômatos. O conceito de eficiência de uso da radiação (EUR) foi inicialmente proposto por MONTEITH (1977), com base em várias pesquisas sobre produtividade, representando a capacidade da vegetação em usar a radiação solar para a fotossíntese.

Trabalhos realizados por LANDSBERG (1986) e CANNELL et al. (1989) mostram que, sob condições adequadas de água e de nutrientes, a EUR pode ser considerada constante para cada espécie. Todavia, segundo os mesmos autores, a eficiência de uso da radiação será menor do que o valor máximo teórico ( $3 \text{ g. MJ}^{-1}$ ) dependendo da ocorrência de condições ambientais desfavoráveis durante a estação de crescimento. Segundo LANDSBERG e WRIGHT (1989), o conceito de eficiência de uso da radiação é bastante promissor para estudos de produtividade em florestas, uma vez que poucos

dados fisiológicos são necessários em comparação com os complexos modelos do balanço do carbono.

A maioria dos estudos sobre eficiência de uso da água e da radiação tem sido realizada em culturas agrícolas, com poucos trabalhos em ecossistemas florestais, enquanto, nenhuma referência sobre tais estudos foi encontrada para o ecossistema de manguezal. Somente com o desenvolvimento de técnicas micrometeorológicas, particularmente (aquelas) relacionadas com a técnica da covariância dos vórtices turbulentos, que possibilita uma maior confiabilidade nas medições dos fluxos de CO<sub>2</sub> e de vapor d'água, tornaram-se possíveis tais estudos em vários ecossistemas.

Recentemente tem havido um grande aumento no número de pesquisas sobre a quantificação dos fluxos de CO<sub>2</sub> e de energia entre a atmosfera e os ecossistemas terrestres, não só para avaliar a situação atual desses ecossistemas, mas também a fim de analisar as suas variações ao longo do tempo. Esses estudos estão tendo prioridade no âmbito do LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia), atualmente em andamento.

Os objetivos do presente trabalho consistem em:

- Quantificar as variações diurnas e sazonais dos índices de eficiência de uso da água e da radiação no ecossistema de manguezal e;
- Examinar a influência de grandezas meteorológicas na variação da magnitude desses índices, além de estabelecer relações quantitativas entre a radiação fotossinteticamente ativa, irradiância solar global e saldo de radiação.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O ecossistema de manguezal

Os manguezais são quase exclusivamente tropicais. Isto sugere uma limitação, deste ecossistema, pelo microclima, em particular, pela temperatura (HOGARTH, 1999). Embora os manguezais possam sobreviver a temperaturas do ar tão baixas quanto 5° C, esse mesmo autor afirma que este ecossistema é intolerante a temperaturas extremamente baixas. As mudas da vegetação desse tipo de ecossistema são particularmente vulneráveis a baixas temperaturas.

A distribuição dos manguezais correlaciona-se diretamente com a temperatura do mar (HOGARTH, 1999). Na América do Sul, os manguezais são limitados na costa do Atlântico até 33° S. Na costa do Pacífico, a corrente fria de Humboldt limita-os à 3° 40' S (Figura 1). Na Austrália e Nova Zelândia, eles se estendem mais ao sul. A latitude mais alta na qual são encontrados os manguezais está em Corner Inlet, Victoria, e Austrália, onde algumas espécies de *Avicennia* foram encontradas a 38° 45' S (HOGARTH, 1999).

Os manguezais ocupam as costas tropicais e subtropicais do planeta, margeiam estuários, enseadas, baías, lagoas e sobem os rios. No litoral

brasileiro estendem-se desde Santa Catarina até o limite da Guiana Francesa (RIZZINI, 1988). As espécies vegetais dos manguezais possuem adaptações especiais às diferentes condições do meio, algumas árvores vistosas têm

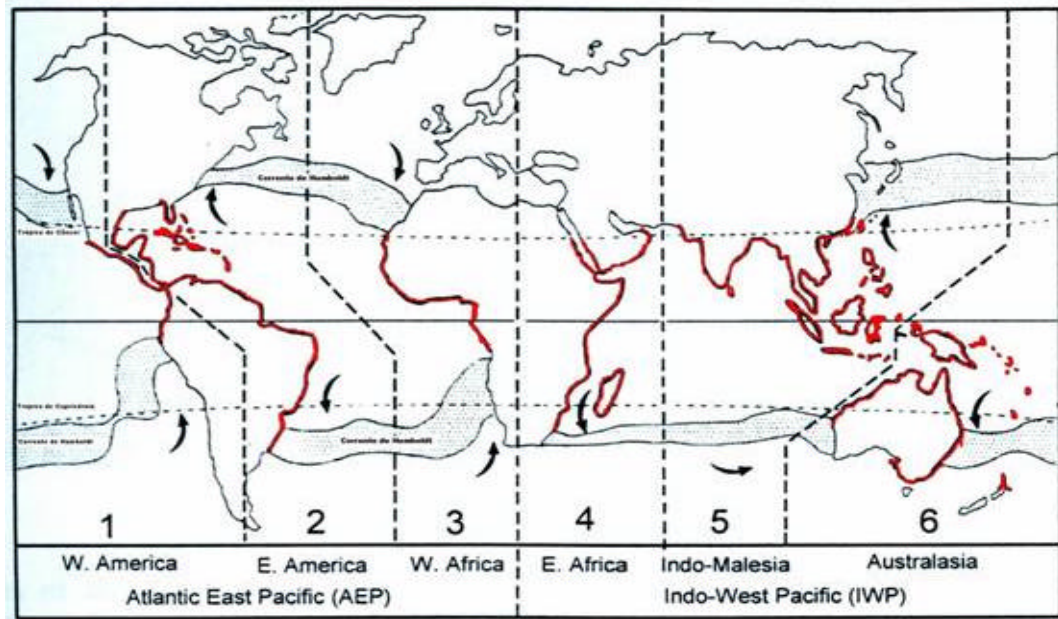


Figura 1 – Distribuição mundial dos manguezais. As linhas vermelhas indicam as regiões onde se situam os manguezais (Duke, 1992).

raízes que descem dos troncos e se afundam pelo substrato. A *Rhizophora mangle*, a *Avicennia germinans* e a *Laguncularia racemosa* constituem as três espécies mais importantes nos manguezais do Brasil, de acordo com RIZZINI (1988).

Cerca de 80% das famílias, que vivem em torno dos manguezais na região bragantina a nordeste do estado do Pará, dependem exclusivamente do ecossistema de manguezal, sendo a pesca e a captura de caranguejo a base de sua economia (RIBEIRO et al 1997). Segundo HOGARTH (1999), os manguezais são sistemas muito produtivos, por oferecerem espaço vital para numerosas espécies de peixes, moluscos e caranguejos, apresentando alto rendimento pesqueiro e representando, assim, a base da existência para grande parte da população local. Em vastas regiões do planeta, estes ecossistemas vêm sendo progressivamente perturbados pela industrialização, pelo turismo, pelo crescimento demográfico e pela urbanização. Em muitos locais, as florestas de manguezal já se encontram destruídas. Segundo RIBEIRO et al. (1997), sob o ponto de vista meteorológico, é necessário que

seja limitada a forma de exploração dos manguezais, pois a conversão de bosques de mangues em áreas degradadas expõe a superfície à irradiação solar direta, causando um ambiente adverso à regeneração das espécies, conduzindo alterações fisiológicas extremas, levando-as à extinção.

Segundo SCHAEFFER-NOVELLI et al. (1997), é estimado que dois terços da população mundial viva atualmente em regiões costeiras. No Brasil, estima-se que 73% das capitais litorâneas possuem população acima de 500.000 habitantes, sendo que 73% (dos 73%) destas capitais possuem mais de 1.000.000 de habitantes. Até mesmo as cidades balneárias, que se caracterizam por sua população flutuante, encontram-se sob ritmo acelerado de crescimento urbano, impulsionado pela especulação imobiliária. Conseqüentemente, os espaços costeiros, incluindo os manguezais encontram-se sob crescente pressão, provocada pelo processo de urbanização, industrialização, agricultura, maricultura etc.

A penetração da radiação na copa das plantas depende da arquitetura da planta, do ângulo de inclinação das folhas, da idade, das condições nutricionais e, também, da disponibilidade de água no solo para a planta (ROSEMBERG et al, 1983). Ao penetrar na copa das árvores, a radiação é atenuada de forma não linear, sendo afetada pela densidade da folha de modo que as folhas superiores recebam maior quantidade de radiação. A transmissão da radiação através das folhas é dependente do comprimento de onda, pois os pigmentos das folhas das plantas absorvem 80% a 90% da radiação fotossinteticamente ativa, mas apenas 20% da radiação infravermelha (SZEICZ, 1974).

## **2.2. Eficiência de uso da radiação em ecossistemas**

Segundo LAMAUD et al. (1996), o desenvolvimento da vegetação pode ser caracterizado pela eficiência de uso da água (EUA), e pela eficiência de uso da radiação (EUR). O mesmo autor afirma que o crescimento das árvores está diretamente relacionado com a fração de carbono fixada pela fotossíntese, que é convertida em biomassa. O conceito de eficiência de uso da radiação foi inicialmente proposto por MONTEITH (1977), com base em várias pesquisas sobre produtividade. Esse conceito, segundo LAMAUD et al. (1996), baseia-se

em resultados experimentais que mostram que a fotossíntese depende da radiação fotossinteticamente ativa e da atividade estomática do dossel.

LAMAUD et al. (1996), usando a parametrização de SPITTERS et al. (1986), estimaram a entrada da radiação difusa a partir da irradiância solar global. Os resultados, que foram comparados com medidas diretas da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), realizadas durante campanhas em 1994 e 1995, exibiram diferenças na relação linear entre o fluxo de CO<sub>2</sub> e PAR, mostrando um decréscimo de 1,26 g(CO<sub>2</sub>).mol<sup>-1</sup>(PAR) em 1994 e 0,52 g(CO<sub>2</sub>).mol<sup>-1</sup>(PAR) em 1995, sob condições de céu coberto (nublado) e acréscimo de 0,52 g(CO<sub>2</sub>).mol<sup>-1</sup>(PAR) em 1994 e 0,95 g(CO<sub>2</sub>).mol<sup>-1</sup>(PAR) em 1995, sob condições de céu claro.

Estes resultados, como observado previamente por HOLLINGER et al. (1994) e ROCHETTE et al. (1996), mostram que a proporção da radiação difusa tem forte influência na eficiência de uso da radiação no dossel, confirmando, claramente, que a eficiência de uso da radiação cresce linearmente com a radiação fotossinteticamente ativa. Para CAMPBELL et al. (2001), durante o crescimento de uma cultura primária de arroz, a eficiência de uso da radiação apresentou declínio uniforme de 3,18 μg(CO<sub>2</sub>).μmol<sup>-1</sup>(PAR) em 1998 e 2,65 μg(CO<sub>2</sub>).μmol<sup>-1</sup>(PAR) em 1999, com índice de área foliar oscilando entre 1 e 2 para 1,57 μg(CO<sub>2</sub>).μmol<sup>-1</sup>(PAR) em 1998 e 1,55 μg(CO<sub>2</sub>).μmol<sup>-1</sup>(PAR) em 1999, com índice de área foliar maior que 5.

Segundo MONTEITH (1997), a relação entre a radiação fotossinteticamente ativa absorvida e a quantidade de matéria seca produzida, que representa a eficiência de uso da radiação, seria um parâmetro conservativo. Essa afirmação tem sido confirmada tanto em culturas agrícolas (STOCKLE e KINIRY, 1990), como em espécies de árvores (CANNELL et al., 1988). Nesses estudos foram constatados que existe uma relação linear entre a radiação fotossinteticamente ativa e o crescimento da vegetação. O valor do carbono assimilado por unidade interceptada da densidade de fluxo da radiação disponível para fotossíntese na eficiência de uso da radiação é importante para entender e modelar a relação entre o crescimento da planta e o ambiente físico.

CAMPBELL et al. (2001) encontraram alta correlação entre a média de cada meia hora da taxa de troca de CO<sub>2</sub> e da densidade de fluxo da radiação disponível para fotossíntese. Durante o crescimento primário da cultura, a eficiência de uso da radiação declina continuamente.

Trabalhos realizados por LANDSBERG (1986) e CANNELL et al. (1989) mostram que sob condições adequadas de água e de nutrientes a eficiência de uso da radiação pode ser considerada constante para cada espécie. Todavia, segundo os mesmos autores, a eficiência de uso da radiação será menor do que o valor máximo teórico (3 g. MJ<sup>-1</sup>) dependendo da ocorrência de condições ambientais desfavoráveis durante a estação de crescimento. Segundo LANDSBERG e WRIGHT (1989), o conceito de eficiência de uso da radiação é bastante promissor para estudos de produtividade em florestas, uma vez que poucos dados fisiológicos são necessários em comparação com os complexos modelos do balanço do carbono.

Com o propósito de estudar a estimativa da eficiência de uso da radiação e investigar esta adequabilidade como ferramenta para simular o desenvolvimento de florestas mistas, BARTELINK et al. (1997) aplicaram um modelo mecanístico de crescimento de florestas, o FORGRO (*Forest Growth Model*) para pesquisar diferenças entre a eficiência de uso da radiação, em um tipo de floresta com árvores decíduas, conhecida como Faia e árvores coníferas de folhas perenes, conhecidas como Douglas-Fir, e analisar os efeitos das estruturas e composições permanentes da eficiência de uso da radiação em espécies de florestas mistas. As análises mostraram que a eficiência de uso da radiação é relativamente insensível às mudanças nos valores dos parâmetros fotossintéticos. Dependendo da espécie, a temperatura apresenta algum efeito, por isso, espera-se resposta da temperatura em espécies específicas afetando o interrelacionamento competitivo, no caso de mudanças climáticas. Ainda que a eficiência de uso da radiação tenha mostrado grande variabilidade diária, o que deriva da radiação solar fotossinteticamente ativa absorvida acumulada e produção primária líquida, foi virtualmente constante ao longo do ano e durante um período de 10 anos em ambas monoespécies e espécies mistas permanentes.

Para determinar o efeito de adaptação da estação de crescimento sobre eficiência de uso da radiação em árvores coníferas de folhas perenes (Douglas-

fir), BARTELINK et al. (1997) consideraram, durante esta estação, apenas a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR) e a produção primária líquida (NPP). Os resultados mostraram uma estimativa de eficiência de uso da radiação de  $1,26 \text{ g.MJ}^{-1}$  para árvores coníferas de folhas perenes. Este valor é muito próximo de árvore decídua (Faia), que foi de  $1,44 \text{ g.MJ}^{-1}$ . Assumindo que o conteúdo do  $\text{CO}_2$  seja 50% da matéria seca estrutural, estima-se em  $0,72 \text{ gC.MJ}^{-1}\text{APAR}$  para árvore decídua e  $0,63 \text{ gC.MJ}^{-1}\text{APAR}$  para árvores coníferas durante a estação de crescimento. Estes valores são ligeiramente menores do que aqueles encontrados em espécies de *Pinus*, que foram de  $0,87 \text{ gC.MJ}^{-1}\text{APAR}$  (McMURTRIE et al., 1994).

RADIN et al. (2003) observaram que, em relação à maior densidade de árvores (ou capim) *Panicum maximum cv. Aruana*, a eficiência de uso da radiação foi maior, atingindo valores em torno de  $2,27 \text{ g.MJ}^{-1}$  ( $3 \times 2 \text{ m}$ ), quando comparada com menores densidades, onde a eficiência de uso da radiação atingiu  $1,89 \text{ g.MJ}^{-1}$  ( $5 \times 2 \text{ m}$ ),  $1,49 \text{ g.MJ}^{-1}$  ( $6 \times 2 \text{ m}$ ) e  $1,39 \text{ g.MJ}^{-1}$  ( $10 \times 2 \text{ m}$ ). Esses valores ficaram abaixo dos resultados encontrados por ANDRADE et al. (2000), que obteve  $3,6 \text{ g.MJ}^{-1}$  para a *Panicum maximum cv. Tanzânia* em sistemas silvipastoril.

### 2.3. Eficiência de uso de água em ecossistemas

A água exerce influência em diversos processos como a assimilação de  $\text{CO}_2$ , transpiração, expansão foliar e partição de fotoassimilados para os diversos órgãos da planta, a redução na quantidade de água disponível às plantas leva a aceleração da respiração, ao aumento da atividade das enzimas hidrolíticas e a redução da intensidade fotossintética (KUDREV, 1994).

Uma importante questão em estudos sobre o ciclo do carbono está relacionada com as respostas da vegetação às crescentes concentrações de  $\text{CO}_2$  atmosférico. A maioria dos estudos realizada nesta área foi feita sob condições controladas em culturas agrícolas e mostraram aumento nas taxas de fotossíntese e de biomassa com a elevação ao teor de  $\text{CO}_2$  do ar e com o conseqüente aumento na eficiência de uso da água (LINDROTH e CIENCIALA, 1995). GARCIA et al. (1998) verificaram que o trigo, cultivado sob condições de concentração de  $\text{CO}_2$  de 550 ppm apresentou aumento, de cerca de 33,3%, na

eficiência de uso da água quando comparados com plantas que encontravam-se sob concentração de CO<sub>2</sub> de 370 ppm,. Resultados obtidos por SERRAJ et al. (1999) com a cultura de soja a 700 ppm também apresentaram aumento significativo da eficiência de uso de água com elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>.

Usando técnicas de isótopos de carbono, FENG (1999) analisou as tendências na eficiência de uso da água em árvores dos últimos 100 a 200 anos, em resposta à concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, tendo concluído que a eficiência de uso da água de quase todas as árvores aumentou com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. Segundo o mesmo autor, esse resultado é devido a um aumento na taxa de assimilação de carbono e, ou, um decréscimo na condutância estomática, indicando um aumento na eficiência de transpiração tendo uma conexão direta com mudanças de biomassa da planta. Somente com o desenvolvimento de métodos micrometeorológicos, particularmente relacionados com a técnica de covariância dos vórtices turbulentos, as medições de fluxos de CO<sub>2</sub> e de vapor d'água em vários tipos de vegetações tornaram-se mais comuns e mais confiáveis.

A maioria dos estudos sobre eficiência de uso da água tem sido realizada em florestas de terra firme e culturas agrícolas, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Valores encontrados para eficiência de uso da radiação ( $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) e eficiência de uso de água [ $\text{mg}(\text{CO}_2)\cdot\text{g}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$ ] em alguns ambientes

	Ambiente	EUR	EUA
BALDOCCHI et al. (1985)	Cultura de Soja		$\text{CO}_2$ decresce logaritmicamente com o aumento da resistência estomática ( $r_s$ )
BALDOCCHI et al. (1987)	Floresta		6 -12 $\text{mg}(\text{CO}_2)\cdot\text{g}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$
BALDOCCHI (1994)	Culturas de Milho e Trigo		-15 $\text{mg}(\text{CO}_2)\cdot\text{g}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$
LINDROTH et al. (1995)	Floresta de Eucalipto		50% > p/ dias claros
MASTRORILLI et al. (1995)	Cultura de Sorgo	3.7 $\text{g}(\text{MS})\cdot\text{MJ}^{-1}(\text{PAR})$	193 $\text{mm}(\text{H}_2\text{O})\cdot\text{kg}^{-1}(\text{MS})$
LAMAUD et al. (1996)	Floresta de <i>Pinus</i>	1.26 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ (céu coberto) contra 0.52 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ (céu claro)	6.42 - 9.13 $\text{mg}(\text{CO}_2)\cdot\text{g}^{-1}(\text{MS})$
BARTELINK (1997)	Floresta Permanente	2.3 $\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ (Douglas-Fir) e 2.7 $\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ (Faia)	
CAMPBELL et al. (2001)	Cultura de Arroz	decresce de 3.18 $\mu\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ e 2.65 $\mu\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ c/ IAF entre 1 e 2 para 1.57 $\mu\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ e 1.55 $\mu\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ c/ IAF>5	
RADIN et al. (2003)	Floresta de Acácia	2.27 $\text{g}(\text{MS})\cdot\text{MJ}^{-1}(\text{PAR})$	

Segundo DENMEAD et al. (1993), a utilização de câmaras nas medições dos fluxos de  $\text{CO}_2$  e de vapor d'água em árvores superestima as eficiências de uso da água em torno de 50% em relação aos métodos micrometeorológicos. De acordo com esses autores, essas diferenças foram causadas pelo aumento da assimilação de radiação no interior das câmaras devido a maior proporção de luzes difusas dentro das câmaras em comparação com o observado fora delas. Todavia, LINDROTH e CIENCIALA (1995) questionaram a explicação apresentada por DENMEAD et al. (1993). Segundo LINDROTH e CIENCIALA (1995), a eficiência de uso da água é inversamente proporcional ao déficit de pressão de vapor d'água de acordo com a teoria!!!. Esses mesmos autores afirmaram que DENMEAD et al. (1993) omitiram essa dependência entre eficiência de uso da água e déficit de pressão de vapor. Resultados obtidos em culturas agrícolas por BALDOCCHI (1994) indicaram que a eficiência de uso da

água no trigo foi inversamente proporcional ao déficit de umidade absoluta da atmosfera, enquanto a eficiência de uso da água no milho foi relativamente independente dos déficits de umidade.

O objetivo de uma planta é assimilar carbono para a fotossíntese e isto não pode ser feito sem consumir água. Em uma floresta de mangue, água, em resumo, não é provisão, mas sua aquisição passa a ser difícil por causa do problema da salinidade HOGART (1999). Embora as árvores sejam rodeadas de água, elas não podem dispor de seu uso em exagero, tendo como índice útil de economia de água, a eficiência de uso de água, ou seja, embora exista água por todos os lados, esta água passa a ser imprópria devido ao alto índice de salinidade.

Quando a planta é submetida a um déficit de água no solo, ocorre uma série de reações bioquímicas em seu interior, para contornar essa situação, uma das primeiras conseqüências do déficit hídrico é o fechamento dos estômatos, com este fechamento, a planta reduz a perda de água ocorrendo, também, diminuição da taxa fotossintética em razão de uma menor difusão de CO<sub>2</sub> para a camada subestomática (SOUZA, 2004).

Após calcular a eficiência de uso da radiação e a eficiência de uso da água e comparar com outras culturas tradicionalmente cultivadas (girassol, sorgo e soja) na região do mediterrâneo MASTRORILLI et al. (1995) obtiveram resultados que mostram que, sob condições de alto potencial de campo, o sorgo produz alto nível de biomassa; sendo, assim, é possível evitar o risco que envolve o crescimento desta cultura por ser, o potencial de campo, muito baixo e porque o uso da água, consumida na plantação de sorgo, é de modo consistente e alto potencial de campo.

Para a eficiência de uso da água, LAMAUD et al. (1996) encontraram, para floresta de *Pinus*, valores de 6,42 mg.g<sup>-1</sup> na campanha de 1994 e 9,13 mg.g<sup>-1</sup> na campanha de 1995, que são da mesma ordem de valores encontrados por BALDOCCHI et al (1987), (entre 6mg.g<sup>-1</sup> e 12 mg.g<sup>-1</sup>) para uma floresta decídua. Entretanto, a correlação entre os fluxos de CO<sub>2</sub> e o vapor d'água foi bastante pobre, apresentando R<sup>2</sup> < 0,4, mostrando que a variação do fluxo de CO<sub>2</sub> é fracamente controlada pela variação do fluxo de vapor d'água. BALDOCCHI (1994) encontrou uma declividade na relação linear entre os fluxos de CO<sub>2</sub> e vapor d'água em torno de -11 mg (CO<sub>2</sub>). g(H<sub>2</sub>O)<sup>-1</sup> para culturas

de trigo e milho. MASTRORILLI et al. (1995) obtiveram resultados para a eficiência de uso da radiação de  $3,7 \text{ g. MJ}^{-1}$  e a eficiência de uso de água de  $193 \text{ mm.kg}^{-1}$  para o sorgo, que apresentou produtividade de  $32 \text{ t.ha}^{-1}$  de matéria seca com apenas 550 mm de consumo de água.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Sítio experimental

Na área experimental de manguezal natural a classe de cobertura vegetal do mangue é do tipo exuberante, denso e alto, com altura média das árvores em torno de 20 m. Os gêneros de mangue mais encontradas são *Rhizophora* e *Avicennia*, nesta ordem de predominância. Segundo RIBEIRO et al. (1997), sob o ponto de vista estrutural o manguezal natural é do tipo arbóreo de dossel semifechado. Faz parte da franja externa do manguezal, de maior proximidade ao canal e troca mais freqüente das águas de inundação por efeitos da maré. A característica da produção foliar é de aumento na estação chuvosa com a redução da salinidade intersticial, favorecendo a formação de folhas novas e diminuindo a produção foliar na estação menos chuvosa. O manguezal no nordeste do Estado do Pará abrange o estuário do rio Caeté, em cujas margens se localiza o município de Bragança (01° 03' S, 46° 45' W, e altitude de 29 m). A vegetação possui um dossel com altura média de 20 m, e árvores emergentes de até 25 m; as espécies vegetais predominantes são a

*Rhizophora mangle* (mangue-vermelho), *Avicennia germinans* (siriúba ou mangue-preto) e *Lagunculária racemosa* (mangue-branco) (OLIVEIRA et al., 2003).

O presente trabalho foi desenvolvido em uma área localizada a 28 km do centro do município de Bragança-PA e a 9 km da Vila de Ajuruteua, com acesso pela rodovia que liga os dois pólos de referência, distante, em linha reta, de 1 km das margens da rodovia e, aproximadamente, 300 metros das margens do Furo Grande (Figura 2).

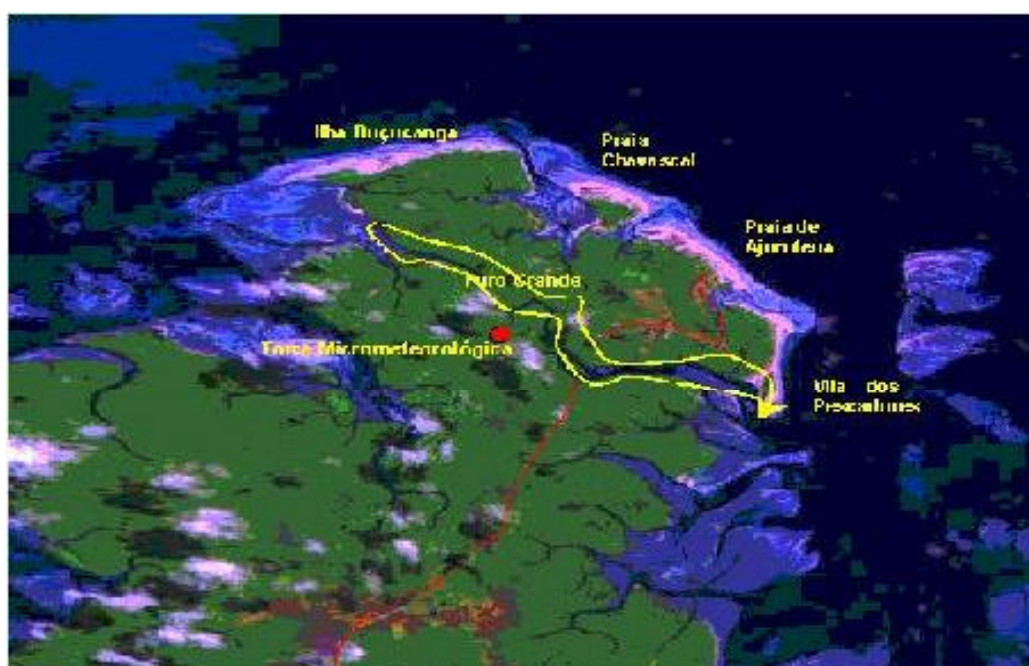


Figura 2 – Imagem de satélite da área experimental de manguezal, a linha amarela indica o furo grande às proximidades do Atlântico tropical, o ponto vermelho indica a localização do sítio experimental e a linha vermelha indica a estrada que corta o manguezal, ligando a cidade de Bragança à Praia de Ajuruteua.

### 3.2. Caracterização climática da área experimental

Tendo como base as Normais Climatológicas para o município de Tracuateua, na região do Salgado, a temperatura apresenta média de 25,1°C, em julho, e 26,6°C, em novembro, com média anual de 25,7°C. A precipitação varia de 11,7 mm em novembro a 453,6 mm em abril, com total anual de 2.544,8 mm. A estação chuvosa inicia-se em dezembro, atinge um máximo em abril e termina em agosto. A estação seca compreende os meses de setembro

e novembro e o percentual de chuvas nesses três meses, em relação ao total anual é de 2,3%.

De acordo com o balanço hídrico de Tracuateua, a evapotranspiração potencial é inferior à precipitação mensal nos meses representativos da estação chuvosa, de janeiro a julho, tendo sido superior à precipitação nos outros meses. A deficiência hídrica total foi de 334,44 mm.ano<sup>-1</sup> e o excedente hídrico total de 1.266,78 mm.ano<sup>-1</sup>. A evapotranspiração total anual é de 1.612,45 mm, cerca de 63% da precipitação anual. A precipitação total anual registrada no sítio experimental, está com sua sazonalidade apresentada na figura 4, no qual se constatou que durante o mês de março, o registro dos índices pluviométricos foi superior a 700mm, caracterizando um índice maior do que os das normais climatológicas.

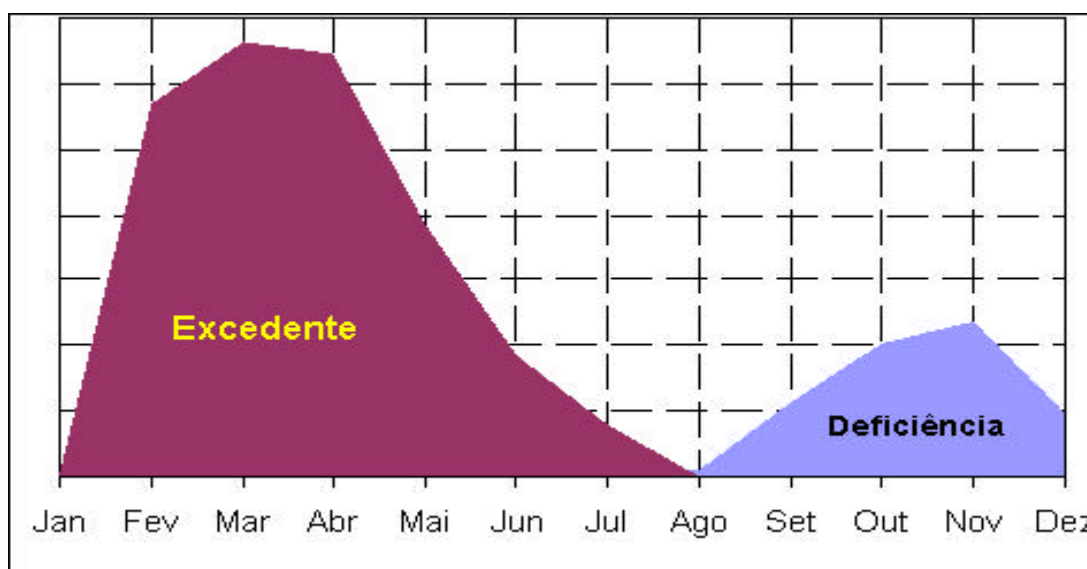


Figura 3 - Balanço hídrico de tracuateua, conforme as normais climatológicas, para o período de 1973 a 1990.

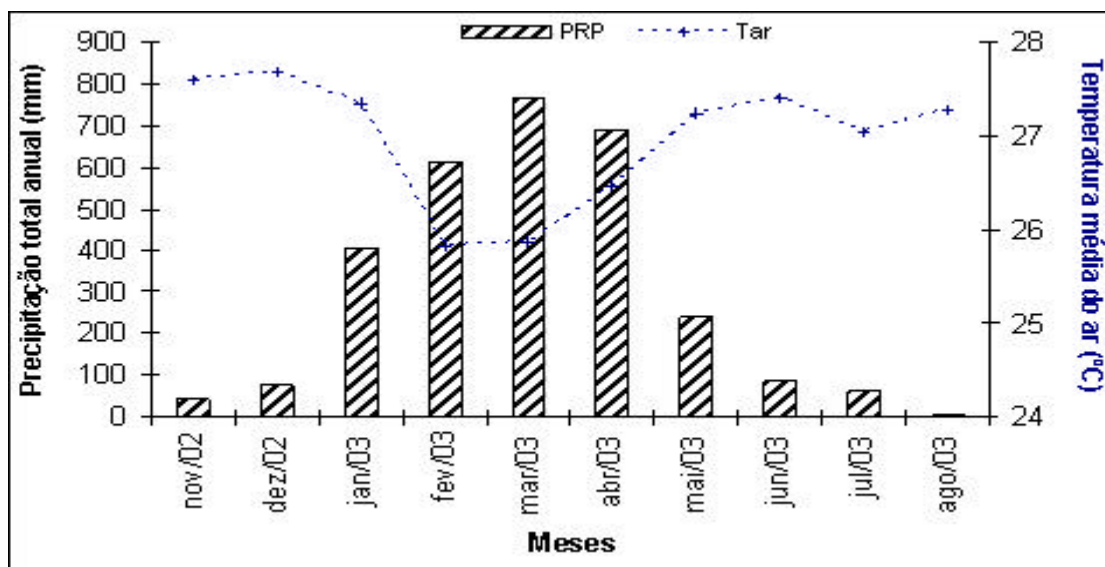


Figura 4 - Gráfico de temperatura média do ar e precipitação total anual, no período, caracterizando um dos anos de maior precipitação na região do salgado.

A duração do brilho solar varia de 99,7 h em fevereiro, um mês típico da estação chuvosa, a 247,5 h em outubro, um mês típico da estação seca, com um total anual de 2.143,8 h. A nebulosidade (0-10) varia de 4,1 nos meses de setembro e outubro (estação seca) a 7,3 nos meses de fevereiro e março (estação chuvosa) com uma média anual de 5,6.

A classificação climática de KÖPPEN (1918) para esta região é caracterizada como Aafi, ou seja, tropical chuvoso de floresta, isotérmico com temperatura média anual do mês mais quente acima de 22° C e a classificação climática segundo THORTHWAITE & MATHER (1955), caracteriza o município de Tracuateua como de um clima do tipo  $A'aB_2w$ , ou seja, clima de floresta tropical úmida, megatérmico, com menos de 48% da evapotranspiração potencial concentrada na época de estiagem, com índice de umidade maior ou igual a 40% e menor que 60% e déficit de água moderada no período das chuvas. Para Bragança, também na região do salgado no nordeste do Estado do Pará, os mesmos autores caracterizaram o clima como do tipo  $AwA'a'$ , ou seja, clima muito úmido megatérmico, com deficiência de água moderada no período de agosto a dezembro, com evapotranspiração anual de 1.449 mm e concentração de evapotranspiração potencial nos três meses mais quentes (outubro, novembro e dezembro) igual a 28%.

### 3.3 Instrumentos e Medidas

Dentro do manguezal foi montada uma torre micrometeorológica, com 25 m de altura, tendo sido instalada, em seu topo, uma estação meteorológica automática marca Campbell, modelo CR10X, com a coleta contínua das principais variáveis meteorológicas como: **A temperatura do ar e a umidade relativa do ar** medidas com o uso de um psicrômetro do tipo *MODEL HMP45C*, **a direção e velocidade do vento** medidas com anemômetro do tipo *MODEL 03001-5 WIND SENTRY*, a **radiação solar global** medida por um piranômetro, modelo *SP Lite Kipp & Zonen*, a **pressão atmosférica do Ar** medida por um sensor de pressão do tipo *VAISALA CS105 Barometric Pressure Sensor*, a **precipitação** medida usando-se um pluviógrafo do tipo *CSI Model TB4-L Rain Gage*, a **radiação fotossinteticamente ativa** medida por um sensor *LI190SB Quantum Sensor* e o **Saldo de radiação**, medido por um sensor do tipo *NR Lite FT 006, da Kipp e Zonen*.

Os sensores utilizados nas medições dos fluxos foram instalados a 3 m acima da torre, ou seja, 28 m de altura em relação ao solo. A técnica de covariância dos vórtices turbulentos foi utilizada na medição dos fluxos de CO<sub>2</sub>, vapor d'água e calor sensível, usando o sistema *Edisol* desenvolvido por MONCRIEFF et al. (1997). Essa técnica é reconhecida atualmente como a forma mais direta e confiável no monitoramento de fluxos de ecossistemas de longo prazo. Atualmente, essa metodologia vem sendo utilizada em 65 sítios experimentais distribuídos no mundo, através da rede FLUXNET na medição de fluxos de CO<sub>2</sub>, vapor d'água e energia.

O sistema *Edisol* é um sistema completo que executa medidas contínuas de fluxos de momentum, calor sensível, vapor d'água e de CO<sub>2</sub> através da técnica de covariância dos vórtices turbulentos. Esse sistema consiste de um anemômetro sônico e um sistema que minimiza perturbações dos fluxos. O ar para ser analisado é deslocado em direção ao banco óptico, sendo aspirado por um tubo, localizado logo abaixo do anemômetro sônico. O sistema consome relativamente pouca energia e pode operar por células solares apropriadas ou bateria recarregável além de energia de linha. Embora o equipamento possa consumir pouca energia, esta energia, as vezes, causa problemas devido as diversas oscilações na transmissão de energia elétrica,

ocasionando parada total do equipamento, principalmente no *notebook*, responsável por armazenar os dados de fluxos de CO<sub>2</sub>, vapor d'água e energia. Desde sua instalação, o sistema EDISOL apresentou diversos problemas que ocasionavam parada total no sistema, tais como: queda de energia, incidência de raios (relâmpagos) as proximidades da torre, corte do cabo de energia pelos moradores da áreas (catadores de caranguejo), vandalismo (violação do equipamento e furto do notebook) e etc...

Devido aos problemas, acima citados, durante todo o período de coleta dos dados, desde sua instalação (de maio de 2002 a outubro de 2003) foram adquiridos somente 207 dias de dados de fluxos de CO<sub>2</sub>, vapor d'água e energia, de boa qualidade, isto adquirido diariamente a cada 30 minutos no formato SLT, após coletado estes dados (extraídos do notebook), os mesmos foram convertidos para o formato XLS através do software EDIRE, desenvolvido especificamente para calcular os fluxos de CO<sub>2</sub>, vapor d'água, momentum e energia. Após esta conversão, os dados foram relacionados mês a mês e colocados em planilhas separadas, em um formato em que os dias foram posicionados na horizontal e as horas foram posicionadas na vertical, no intervalo de tempo compreendido entre as 09:00h e as 16:00h, período de tempo adotado no intuito de diminuir as discrepâncias e falhas nos dados e adquirir, ao máximo, boas correlações.

Como os dados de fluxos de CO<sub>2</sub> não estavam (dentro do período de maio de 2002 a setembro de 2003) 100% bons, resolvemos equiparar os outros parâmetros (LE, H, U\*, Tar, UR, PAR, etc...) aos do fluxos de CO<sub>2</sub>, ou seja, nos dias e horários onde não haviam dados de CO<sub>2</sub>, os demais parâmetros foram excluídos e utilizamos, apenas os períodos e intervalos de tempo correspondentes aos mesmos períodos e intervalos de tempo do fluxo de CO<sub>2</sub>, em resumo, foi utilizado o fluxo de CO<sub>2</sub> como base para os demais parâmetros e a partir daí, determinamos quais parâmetros seriam utilizados e quais correlações deveríamos adotar.

A calibração do CO<sub>2</sub> pelo analisador de gás pode ser feita automaticamente. O sistema requer manutenção mínima e pode ser operado para a coleta rotineira de dados de fluxos por longos períodos (Figura 6).



Figura 5 - Sistema Edisol, desenvolvido por Moncrieff et al. (1997).

O índice de eficiência de uso da água (EUA), que é a relação entre o fluxo de  $\text{CO}_2$  e o vapor d'água, foi obtido pela relação do fluxo de  $\text{CO}_2$ , em  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , com o fluxo de calor latente (LE), em  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  ( $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) cuja unidade final do índice de eficiência de uso da água ficou em  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\text{mmol}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$ . Para se ter obtido a conversão do fluxo de calor latente de  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  para  $\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})$ , CAMPBELL et al (2001) recomenda-se obter a relação do fluxo de calor latente por um fator 44, ou seja, através da relação  $1\text{LE}(\text{W}\cdot\text{m}^{-2})= 1\text{LE}/44$  [ $\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})$ ], BALDOCCHI et al (1987) e LAMAUD et al (1996), obtiveram, para florestas, seus resultados na unidade de  $\text{mg}(\text{CO}_2)\cdot\text{g}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$ , já MASTRORILLI et al (1995) determinou seus resultados na unidade de  $\text{mm}(\text{H}_2\text{O})\cdot\text{kg}^{-1}(\text{MS})$ , para uma cultura de sorgo.

O índice de eficiência de uso da radiação (EUR) foi obtido através da relação direta do fluxo de  $\text{CO}_2$  e a radiação fotossinteticamente ativa na unidade de  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\text{mmol}^{-1}(\text{PAR})$ . A radiação fotossinteticamente ativa é obtida, através do sensor quântico, na unidade de  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  e reduzida a unidade de  $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  através da relação:  $1\mu\text{mol} = 1000\text{mmol}$ , com esta conversão obtivemos o índice de eficiência de uso da radiação em unidade de  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\text{mmol}^{-1}(\text{PAR})$ , MASTRORILLI et al (1995), para a cultura do sorgo, BATERLINK et al (1997), para uma floresta permanente e RADIN et al (2003), para uma floresta de acácia, obtiveram seus resultados na unidade de

$\text{g}(\text{CO}_2).\text{MJ}^{-1}(\text{PAR})$ , LAMAUD et al (1996), para uma floresta de pinus, obteve seus resultados na unidade de  $\text{g}(\text{CO}_2).\text{mol}^{-1}(\text{PAR})$ , já CAMPBELL et al (2001), para uma cultura de arroz, obteve seus resultados na unidade de  $\mu\text{g}(\text{CO}_2).\mu\text{mol}^{-1}(\text{PAR})$ .

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Variação diurna**

#### **4.1.1. Eficiência de uso da água (EUA)**

A EUA expressa a eficiência com que a vegetação utiliza água ao mesmo tempo em que realiza a fotossíntese. A EUA foi definida pela relação entre os fluxos de CO<sub>2</sub> e de vapor d'água, ambos estimados pela técnica de covariância de vórtices turbulentos.

A Figura 6 apresenta as variações diurnas da EUA e da irradiância solar global durante o período de novembro de 2002 a agosto de 2003. A influência da radiação solar sobre o índice de EUA justifica-se pela relação de dependência bem estabelecida entre os fluxos que constituem esse índice e a radiação solar global. De um modo geral, a EUA apresenta uma grande variação de um valor máximo às 9 h até em torno do meio-dia, variando a partir daí gradualmente até atingir um mínimo, em torno de 16 h. Segundo ANDERSON et al. (1984), essa característica de ocorrência do máximo da EUA no início da manhã também foi observada para a cultura de soja e, segundo ele, deve-se às condições de maior hidratação das plantas pela manhã. A variação média horária total da EUA e da RSG, durante o período de novembro

de 2002 a agosto de 2003 está apresentada na Figura 7. A EUA variou de  $3,18 \pm 0,58 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$  às 9 h, decrescendo gradualmente até atingir um mínimo de  $2,46 \pm 0,50 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$  às 16 h. O valor médio de EUA no período diurno foi de  $2,68 \pm 0,20 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$ .

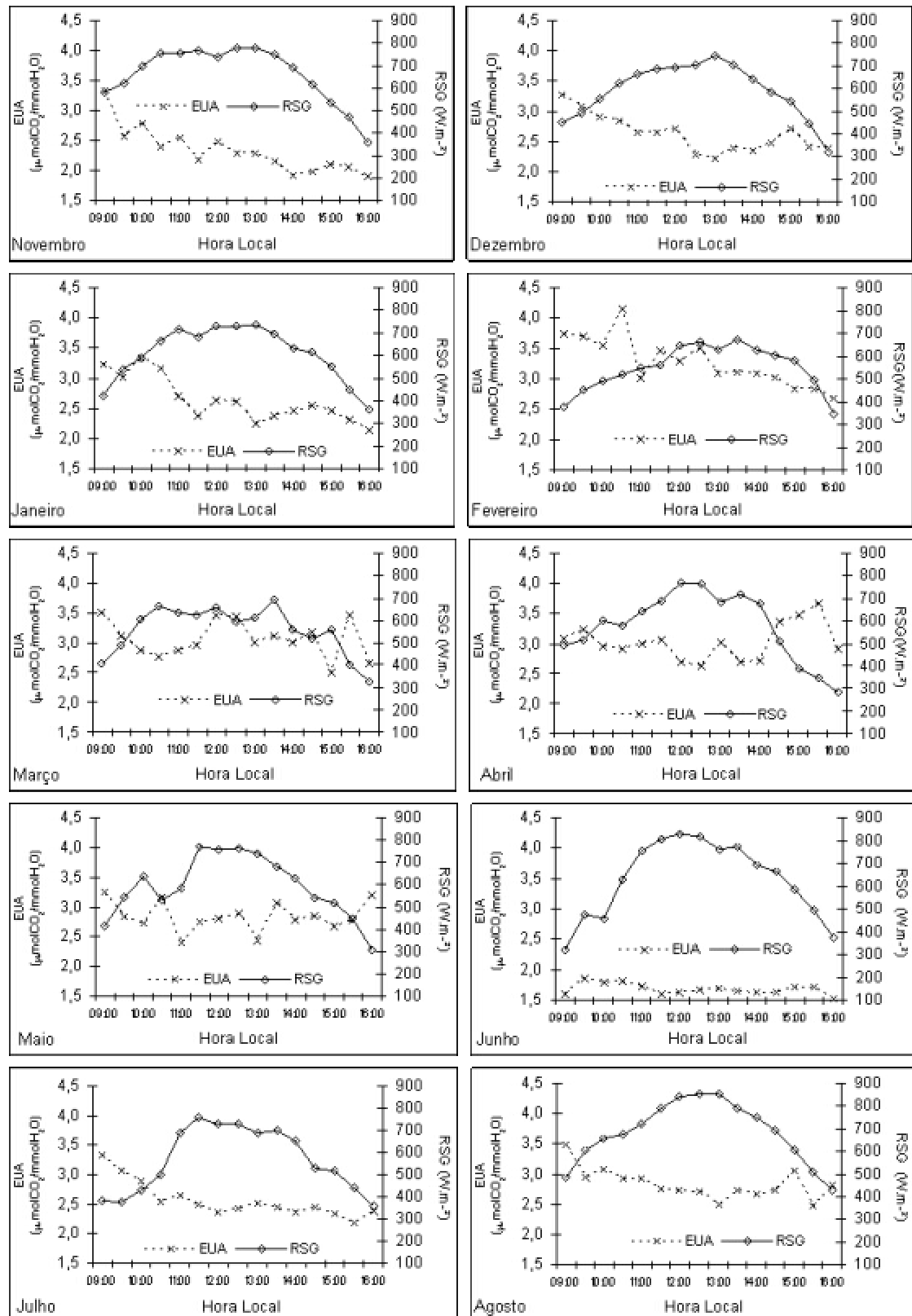


Figura 6 – Variação diurna da eficiência de uso da água (EUA) e irradiância solar global (RSG) nos meses de novembro de 2002 a agosto de 2003.

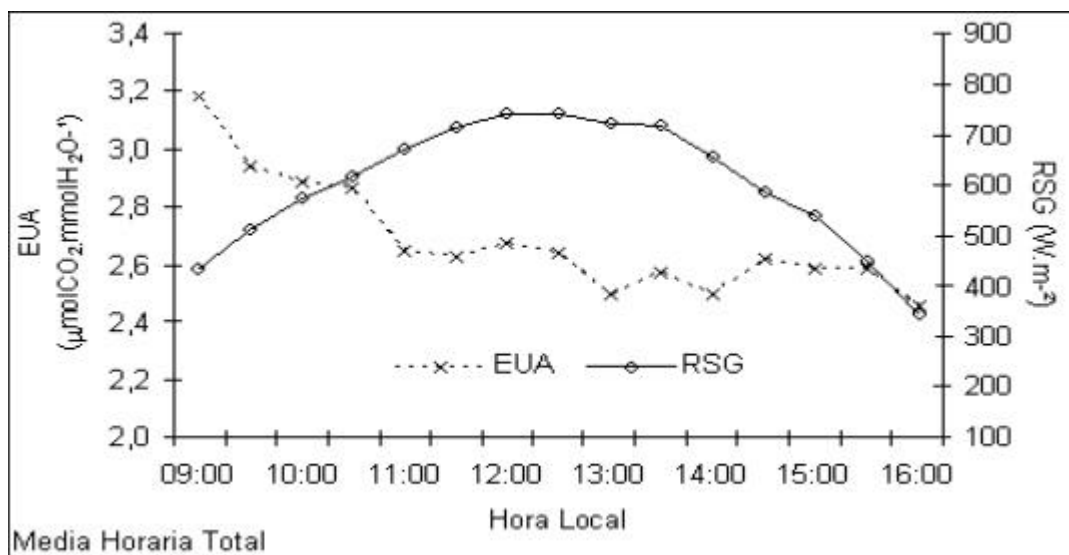


Figura 7 – Variação média horária total da eficiência de uso da água (EUA) e da irradiância solar global (RSG), durante o período de novembro de 2002 a agosto de 2003.

#### 4.1.2. Eficiência de uso da radiação (EUR)

A Figura 8 apresenta a variação diurna da EUR e da radiação fotossinteticamente ativa durante o período de novembro de 2002 a agosto de 2003. A EUR apresentou uma tendência de variação diurna semelhante à EUA, com um máximo às 9 h, porém com um decréscimo mais gradual até o meio-dia, variando lentamente até às 16 h. A Figura 9 ilustra a variação média diurna da EUR para o manguezal para todo o período de estudo. A EUR variou de  $10,44 \pm 2,07 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  às 9 h, decrescendo gradualmente até atingir o valor  $10,10 \pm 1,70 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  às 12h30, atingindo o valor de  $11,79 \pm 2,25 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$  às 16 h. O valor médio da EUR para o manguezal durante o período diurno foi de  $8,47 \pm 0,83 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$ .

### 4.2. Variação sazonal

#### 4.2.1. Eficiência de uso da água (EUA)

A variação sazonal da EUA está apresentada na Figura 10. Os maiores valores da EUA ocorreram durante a estação chuvosa. A EUA variou de  $3,26 \pm 0,40 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$ , em fevereiro (início da estação chuvosa) a

$1,69 \pm 0,09 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$ , em junho (mês de transição entre a estação chuvosa e menos chuvosa). O valor médio da EUA no período estudado foi de  $2,68 \pm 0,20 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$ .

#### **4.2.2. Eficiência de uso da radiação (EUR)**

A Figura 11 apresenta a variação sazonal da EUR. A EUR variou de  $11,11 \pm 0,92 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$ , em abril (mês típico da estação chuvosa) a  $5,75 \pm 0,79 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$ , em novembro (mês típico da estação menos chuvosa). O valor médio da EUR para o manguezal foi de  $8,47 \pm 0,83 \mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$ . Resultados sobre a variação sazonal da EUR obtidos por CAMPBELL et al. (2001) para a cultura de arroz irrigado, mostraram que a EUR diminuiu com o crescimento da cultura, de 3,18 a  $2,65 \mu\text{g}.\mu\text{mol}^{-1}\text{quanta}$ , tendo apresentado uma grande dependência do índice de área foliar. Segundo LAMAUD et al. (1997) os resultados de EUR em florestas coníferas mostraram que esse índice aumenta significativamente de céu claro para condições de céu nublado, em consequência da maior eficiência da radiação difusa ao nível do dossel.

#### **4.2.3. Variação sazonal do saldo de radiação, irradiância solar global e radiação fotossinteticamente ativa**

A Figura 12 apresenta a variação sazonal do saldo de radiação, radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa, durante o período diurno, de novembro de 2002 a agosto de 2003. O saldo de radiação variou de  $429 \text{ W}.\text{m}^{-2}$  em março (período chuvoso) a  $527 \text{ W}.\text{m}^{-2}$  em agosto (período menos chuvoso), com uma média para todo o período de  $480 \pm 37 \text{ W}.\text{m}^{-2}$ . A irradiância solar global variou de  $545 \text{ W}.\text{m}^{-2}$  em fevereiro (início do período chuvoso) a  $685 \text{ W}.\text{m}^{-2}$  em agosto, com um valor médio para todo o período de  $601 \pm 45 \text{ W}.\text{m}^{-2}$ . A radiação fotossinteticamente ativa variou de  $1.230 \mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  em março (período chuvoso) a  $1.561 \mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  em agosto, com um valor médio para todo o período de  $1.394 \pm 105 \mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

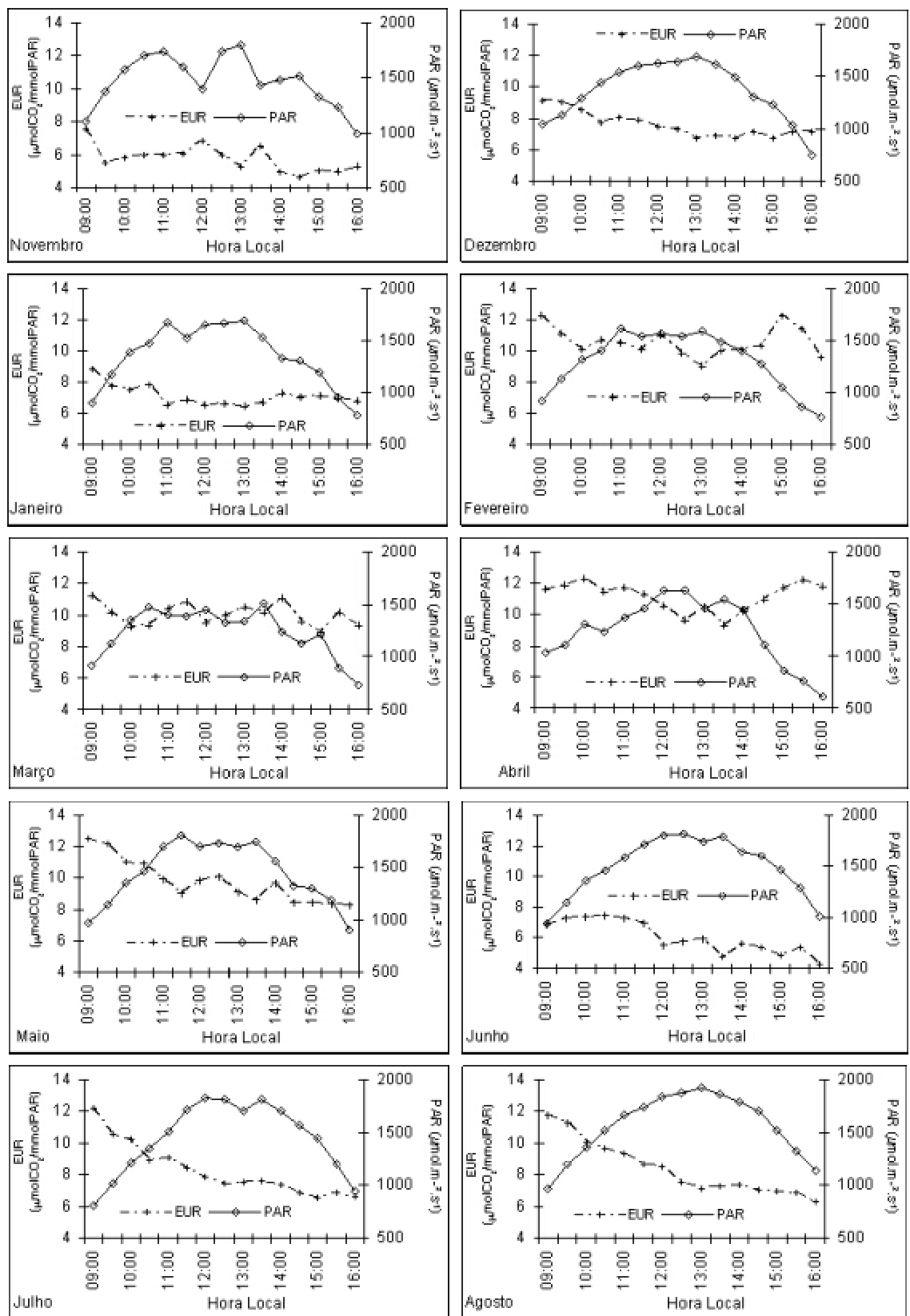


Figura 8 – Variação diurna da eficiência de uso da radiação (EUR) e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) nos meses de novembro de 2002 a agosto 2003.

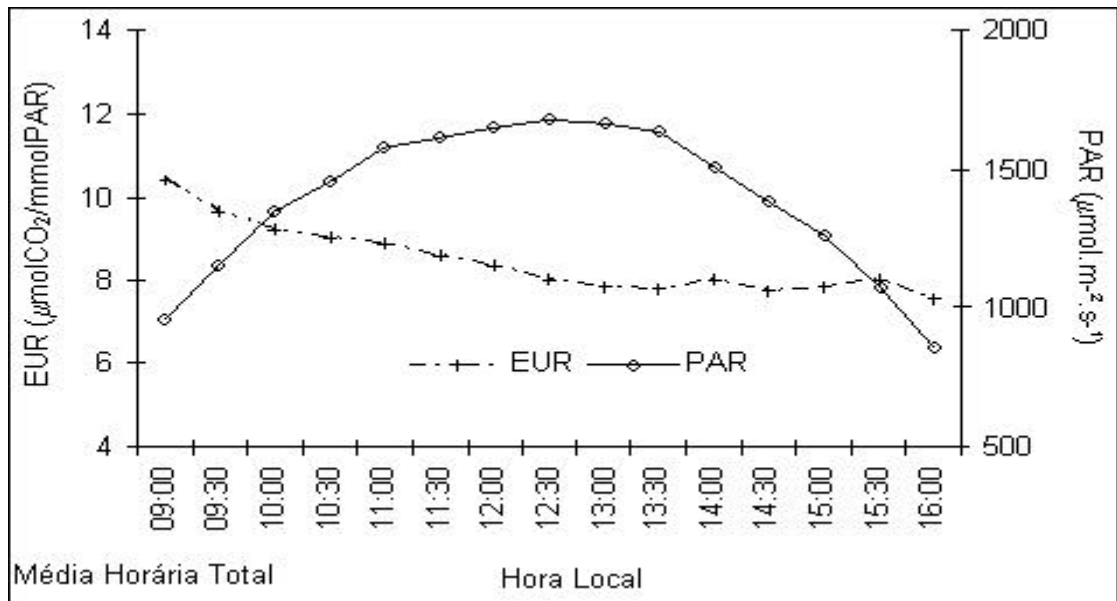


Figura 9 – Variação média diurna da eficiência de uso da radiação (EUR) associada com a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para o manguezal.

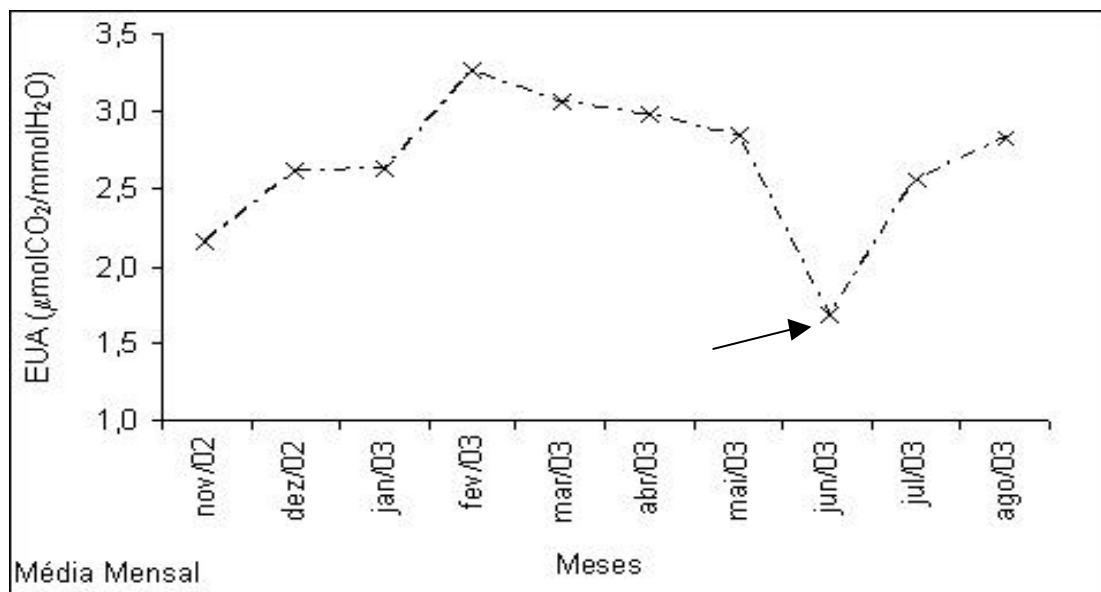


Figura 10 – Variação sazonal da eficiência de uso da água (EUA) para o manguezal, a seta indica comportamento anômalo registrado em um período considerado de transição entre época chuvosa para época seca, suspeita-se que seja devido ao aumento de LE que ocasionou maior evapotranspiração, provocando inibição na absorção dos fluxos de CO<sub>2</sub>, tendo, com isso, acarretado um decréscimo nos valores médios da EUA.

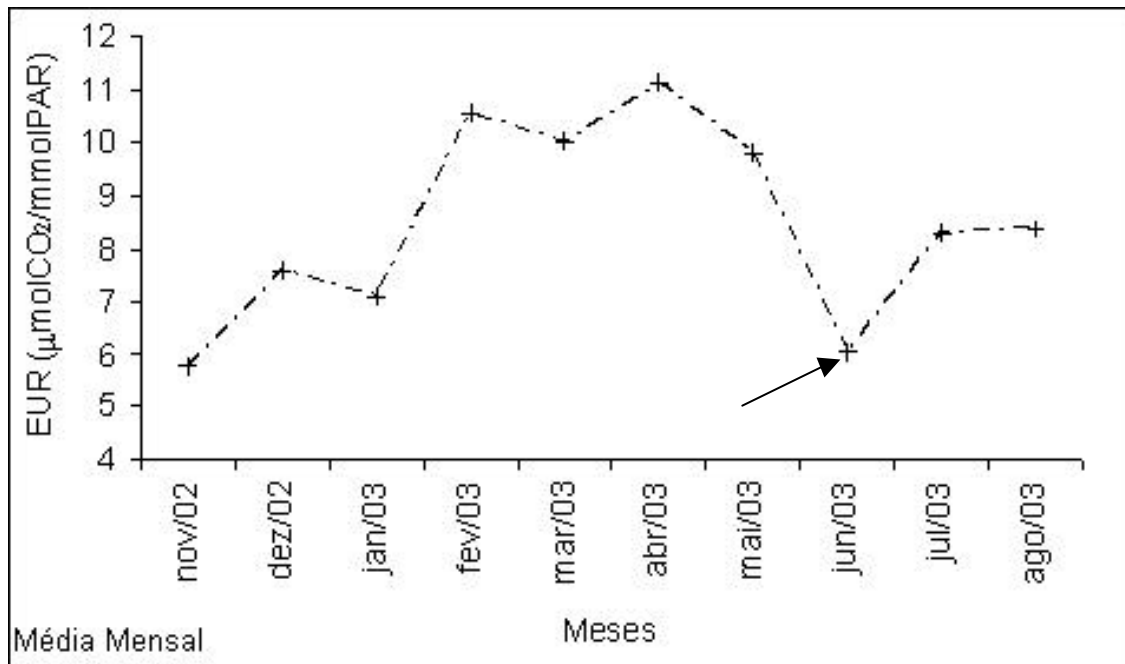


Figura 11 – Variação sazonal da eficiência de uso da radiação (EUR) para o manguezal, a seta indica anomalia registrada durante o mês de junho, suspeita-se que seja devido ao aumento de LE que ocasionou maior evapotranspiração, provocando inibição na absorção dos fluxos de CO<sub>2</sub>, tendo, com isso, acarretado um decréscimo nos valores médios da EUA.

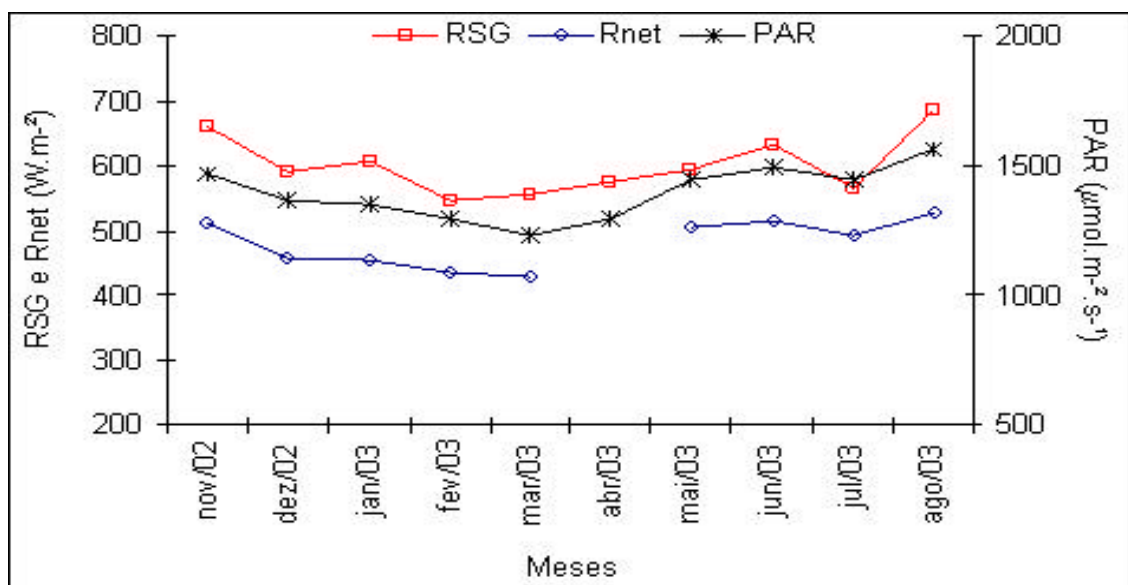


Figura 12 – Variação sazonal do saldo de radiação (Rnet), irradiância solar global (RSG) e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), durante o período diurno (de 9h às 16h), a falha apresentada no

gráfico de Rnet deve-se ao fato de o mês de abril apresentar apenas 10 (dez) dias de dados de Rnet.

### **4.3. Regressões lineares entre a radiação fotossinteticamente ativa, irradiância solar global e saldo de radiação.**

As variáveis mais fortemente correlacionadas com os índices de eficiência de uso da água e de eficiência de uso da radiação foram: o saldo de radiação, a irradiância solar global e a radiação fotossinteticamente ativa. Todavia, as regressões lineares entre essas variáveis e os referidos índices não foram satisfatórias, com baixos coeficientes de determinação. Por outro lado, considerando-se as relações de dependência bem estabelecidas entre essas variáveis e os termos que compõem esses índices, justifica-se a obtenção de relações quantitativas entre o saldo de radiação e a irradiância solar global e entre a radiação fotossinteticamente ativa e a irradiância solar global.

#### **4.3.1. Relações lineares entre a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e a irradiância solar global (RSG)**

O conhecimento da PAR é fundamental em trabalhos sobre regime de radiação de ecossistemas e estudos fotossintéticos. Szeicz (1974), com base em análises teóricas, afirmou que a fração PAR da irradiância solar global é aproximadamente constante ( $0,50 \pm 0,03$ ) e quase independente das condições atmosféricas e da elevação solar. Todavia, segundo Weiss e Norman (1985), os valores dessa fração baseados em resultados experimentais apresentados na literatura são bem variáveis, sugerindo a sua dependência de fatores sazonais, nebulosidade, elevação solar e hora do dia. Os resultados da relação entre a irradiância solar global e a radiação fotossinteticamente ativa no ecossistema de manguezal em Bragança-PA estão ilustrados nas Figuras 13 e 14.

Observou-se que os meses em que essa relação foi praticamente constante foram dezembro de 2002, março e abril de 2003. Nos outros meses constatou-se variação da relação durante o período diurno. A relação RSG/PAR variou de 0,40 a 0,45, com uma média de  $0,43 \pm 0,02$ . Houve uma

tendência de valores menores durante a estação chuvosa. Isso mostra o efeito das variações da nebulosidade, hora do dia e elevação solar na magnitude dessa relação.

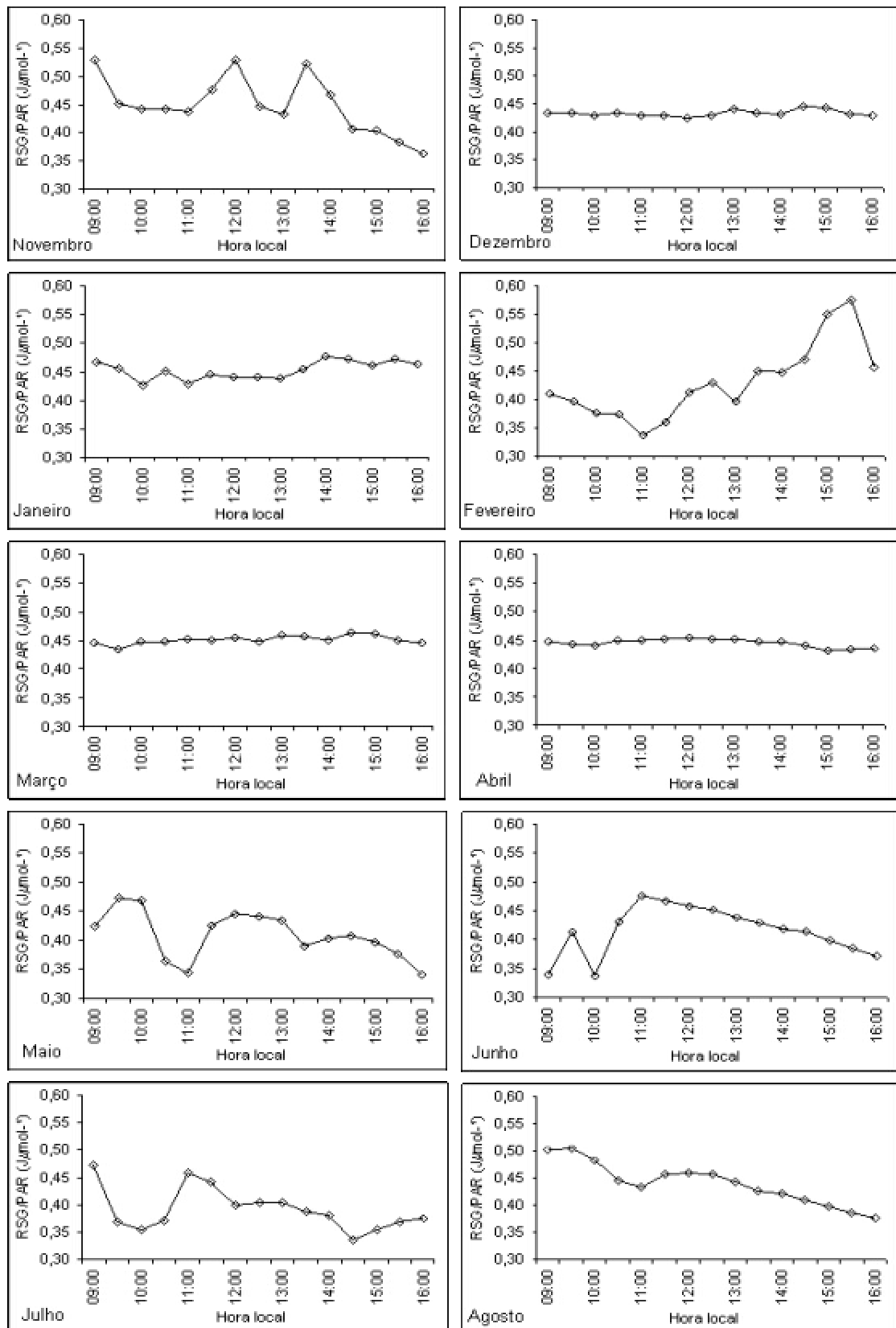


Figura 13 – Variação da relação RSG/PAR durante o período de novembro de 2002 a agosto de 2003.

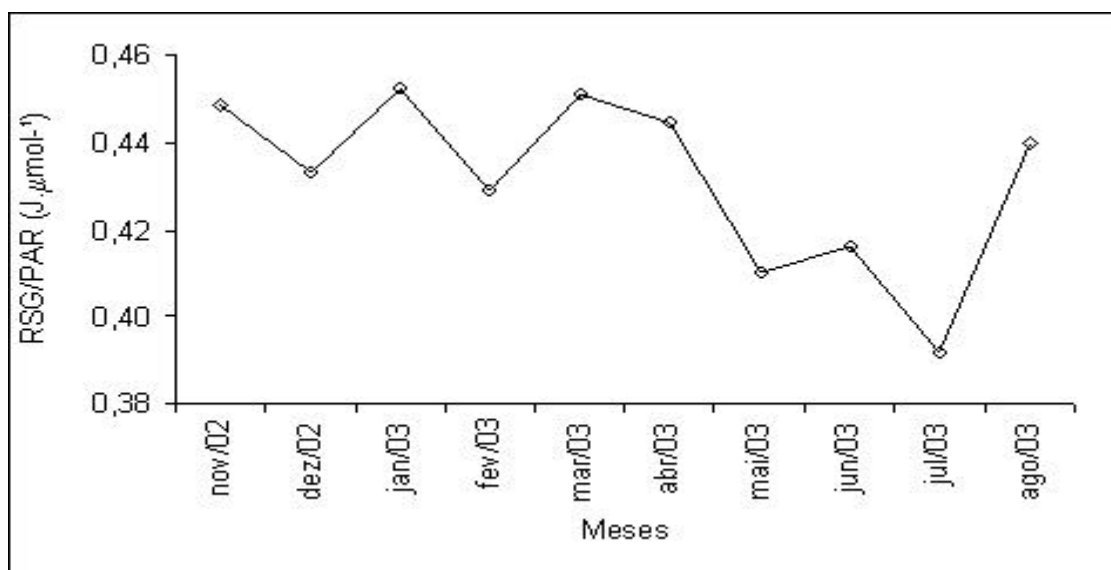


Figura 14 – Variação sazonal da razão entre a irradiância solar global (RSG) e a radiação fotossinteticamente ativa (PAR).

Os resultados das regressões lineares entre a radiação fotossinteticamente ativa e a irradiância solar global estão apresentados na Figura 15. Com exceção do resultado de fevereiro, que apresentou um coeficiente de determinação de 0,60, nos outros meses obtiveram-se valores de coeficiente de determinação superiores a 0,80 mostrando a forte relação entre PAR e a irradiância solar global. A Figura 16 apresenta os resultados das regressões lineares entre PAR e o saldo de radiação. Os resultados também foram muito satisfatórios. Apenas em dois meses os coeficientes de determinação ficaram em 0,78, nos outros meses prevaleceram valores em torno de 0,90. As regressões obtidas entre PAR e irradiância solar global e entre PAR e o saldo de radiação, apresentados nas Figuras 17 e 18, combinando-se os dados médios do período diurno de todos os meses, forneceram uma relação satisfatória entre PAR e irradiância solar global ( $y = 2,02x + 182,22 - R^2 = 0,85$ ), enquanto os resultados entre PAR e o saldo de radiação proporcionaram um coeficiente de determinação de 0,75 ( $y = 1,99x + 481,21$ ).

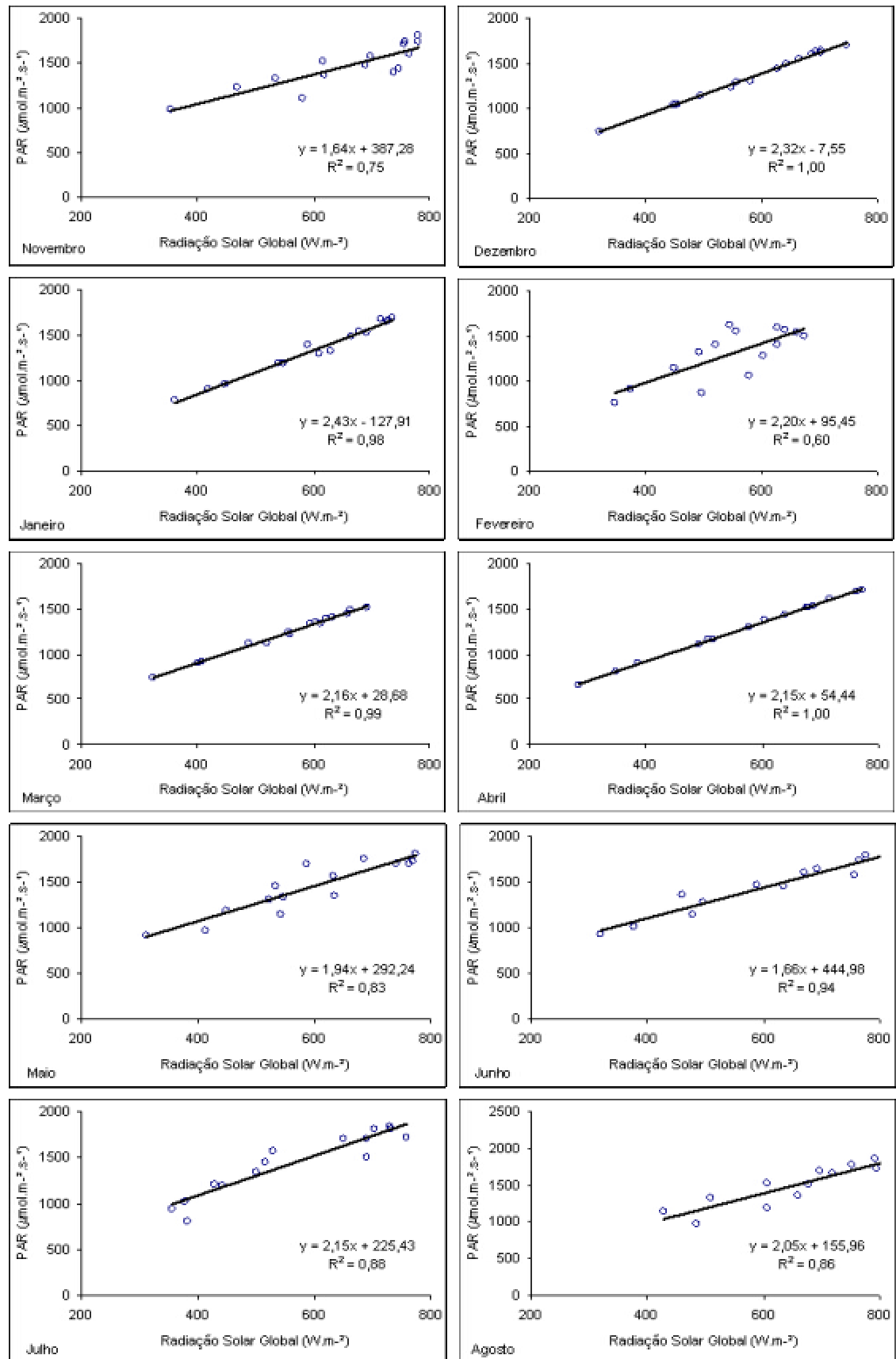


Figura 15 – Relações entre PAR e a irradiância solar global para os meses de novembro de 2002 a agosto de 2003.

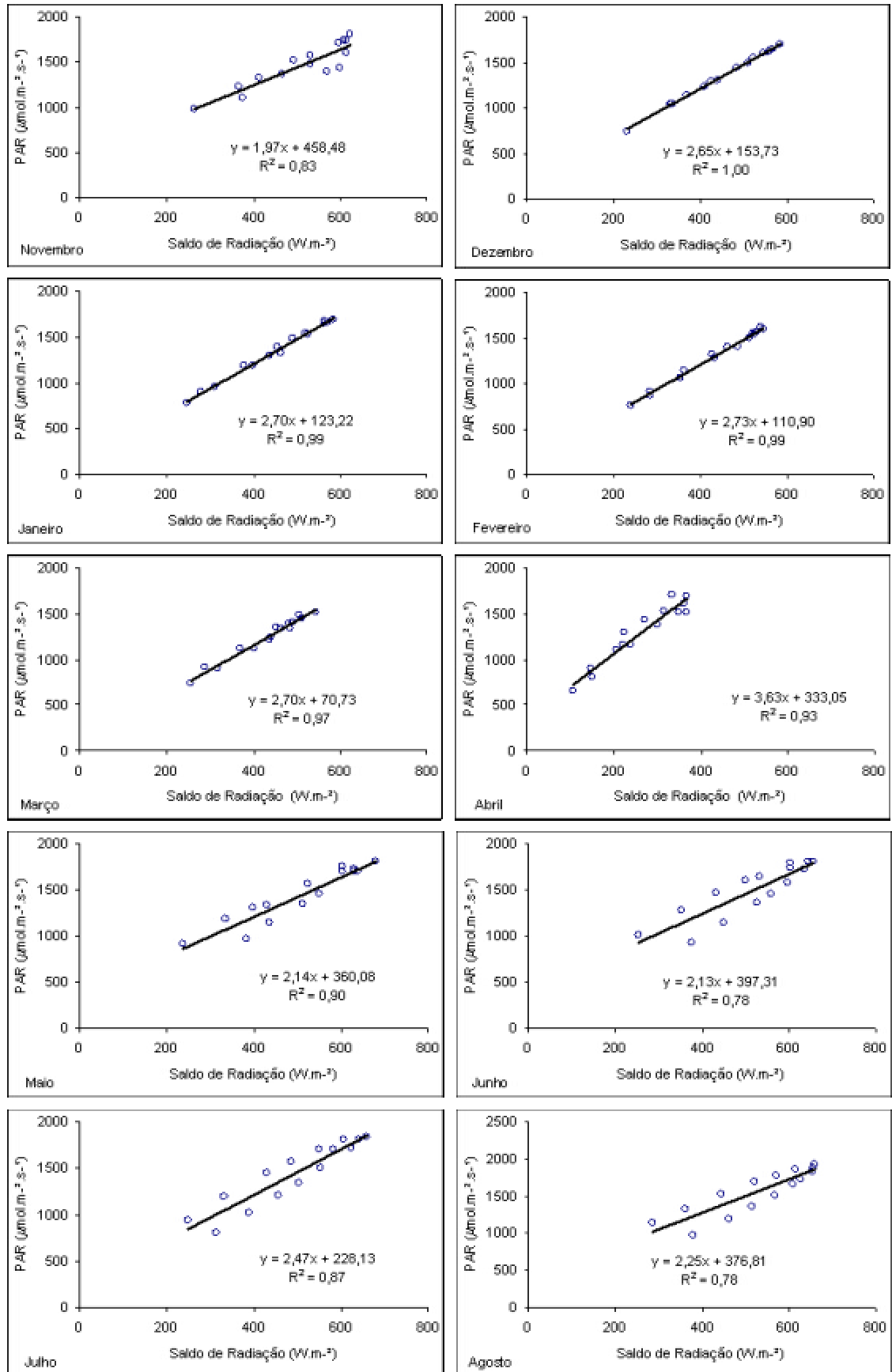


Figura 16 – Relações entre PAR e o saldo de radiação para os meses de novembro de 2002 a agosto de 2003.

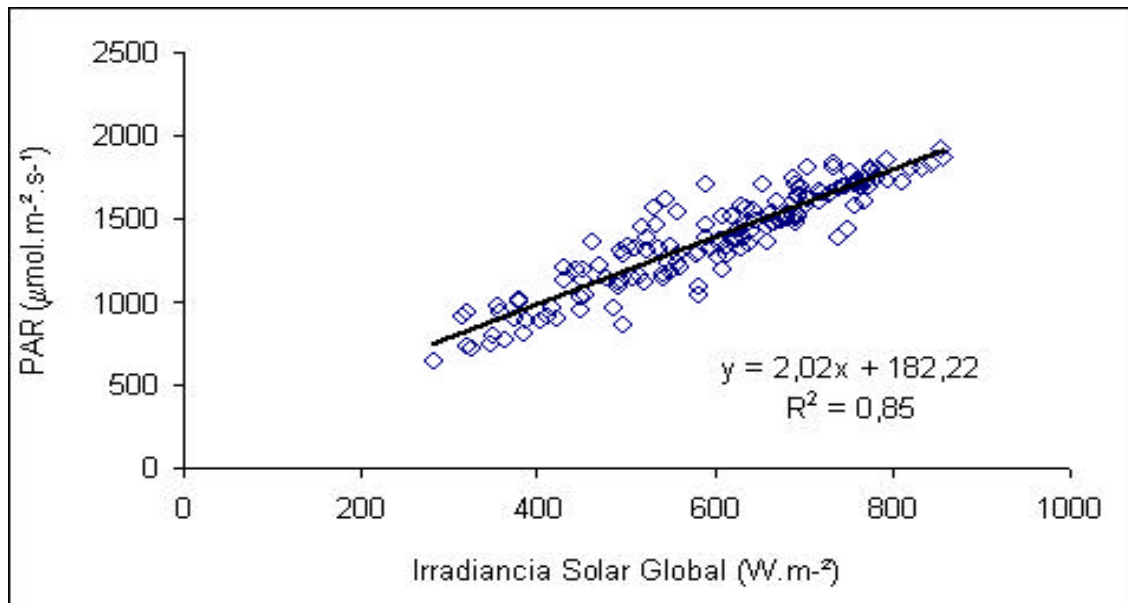


Figura 17 – Relação entre PAR e a irradiância solar global para todo o período.

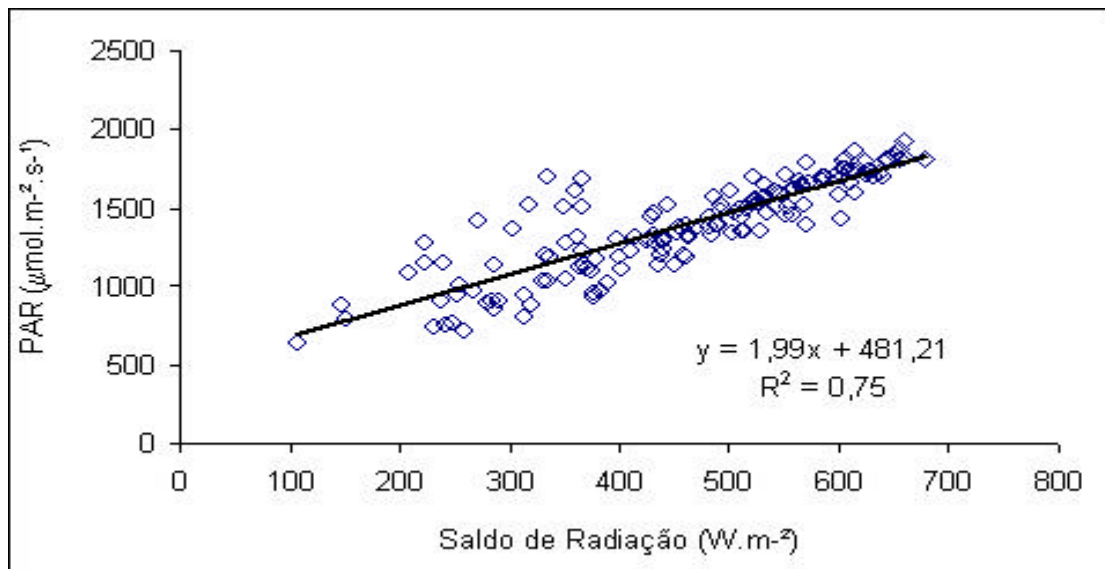


Figura 18 – Relação entre PAR e o saldo de radiação para todo o período.

## 5. CONCLUSÕES

1. Os índices de eficiência de uso da água e da radiação apresentaram tendências de variação diurna e sazonal semelhantes.

Tabela 2. Valores quantificados para eficiência de uso da água e da radiação para o ecossistema de manguezal.

	Período	09:00h	12:30h	14:00h	16:00h
EUA	2,68 ± 0,20 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$	3,18±0,58 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$		2,49±0,46 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$	2,46 ± 0,50 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})^{-1}$
EUR	8,47 ± 0,83 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$	10,44 ± 2,07 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$	10,10 ± 1,70 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$		11,79 ± 2,25 $\mu\text{mol}(\text{CO}_2).\text{mmol}(\text{PAR})^{-1}$

2. A tabela acima apresenta os primeiros valores de eficiência de uso da água (EUA) e da radiação (EUR) adquiridos para um ecossistema de manguezal, mostrando em quais horários prevalece as melhores eficiências e qual média do período (Novembro-2002 a agosto-2003). Nota-se que a EUA máxima ocorre pela manhã, enquanto que a EUR máxima ocorre pela parte da tarde.

3. A radiação fotossinteticamente ativa, o saldo de radiação e a irradiância solar global foram as variáveis meteorológicas mais fortemente correlacionadas com os índices, embora os coeficientes de determinação para as respectivas regressões lineares tenham sido baixos.

4. As regressões lineares entre PAR e irradiância solar global foram altamente satisfatórias, com coeficientes de determinação superiores a 0,80. As regressões lineares entre PAR e o saldo de radiação também foram satisfatórias, especialmente, quando se utiliza dados de cada mês.

6. A eficiência de uso da água mostra-se melhor durante o período da manhã, devido haver alta umidade pela presença do orvalho, enquanto que a eficiência de uso da radiação mostra-se melhor durante a tarde, ocasionado pela contribuição dos fluxos de calor sensível e fluxos de calor latente. Esta contribuição dá-se devido que, aos ecossistemas florestais, a distribuição de energia, além de depender da interação dos fatores físicos e fisiológicos, e da retenção, em maior quantidade, de energia solar de ondas curtas, acarreta indução ao aquecimento do dossel e uma maior emissividade de radiação de ondas longas, proporcionando uma melhora na obtenção dos fluxos de calor e conseqüentemente, na quantificação da eficiência hídrica e energética.

7. Pelo exposto, supõem-se que a vegetação assimila melhor o fluxo de CO<sub>2</sub> enquanto limita a perda de água, pela parte da manhã e utiliza melhor a radiação solar para a fotossíntese pela parte da tarde.

## 6 . BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

ANDERSON, D. E.; VERMAN, S. B.; ROSENBERG, N. J. **Eddy correlation measurement of CO<sub>2</sub>, latent heat and sensible heat fluxes over a crop surface.** Boudary-Layer Meteorology, v. 29, n<sup>o</sup> 3, p. 263-272, 1984

BALDOCCHI, D. D. **A comparative study of mass and energy exchange rates over a closed C<sub>3</sub> (wheat) and a open C<sub>4</sub> (corn) crop: II. CO<sub>2</sub> exchange and water use efficiency.** Agricultural and Forest Meteorology, v. 67, p. 291-321, 1994.

BALDOCCHI, D. D.; VERMA, S. B.; ROSENBERG, N. J. **Water use efficiency in a soybean field: influence of plant water stress.** Agricultural and Forest Meteorology, v. 34, p. 53-65, 1985.

- BARTELINK, H. H.; KRAMER, K.; MOHREN, G. M. J. **Applicability of the radiation-use efficiency concept for simulating growth of forest stands**, Agricultural and Forest Meteorology, v. 88, p. 169-179, 1997.
- CAMPBELL, C. S.; HEILMAN, J. L.; McINNES, K. J.; WILSON, L. T.; MEDLEY, J. C.; WU, G.; COBOS, D. R. **Seasonal variation in radiation use efficiency of irrigated rice**. Agricultural Forest Meteorology, v.110, p. 45–54, 2001.
- DENMEAD, O. T.; DUNIN, F. X.; WONG, S. C.; GREENWOOD, E. A. N. **Measuring water use efficiency of eucalypt trees with chambers and micrometeorological techniques**. Journal of Hydrology 1993; 150: 649-664  
13 refs, illus.
- FENG, X. **Trends in intrinsic water use efficiency of natural trees for the pass 100-200 years: a response to atmospheric CO<sub>2</sub> concentration**. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 63, n. 13/14, p.1891-1903, 1999.
- HOGARTH, P. J. **The biology of mangrove**. New York: Oxford University Press Inc., 1999.
- HOLLINGER, D. Y.; KELIHER, F. M.; BYERS, J. N., HUNT, J. E., McSEVENY, T. M., and WEIR, P. L., **Carbon dioxide exchange between an undisturbed old-growth temperate forest and the atmosphere**, Ecology, 75, 134-150,1994.
- KUDREV, T. G. **Água: vida das plantas**. São Paulo, SP editora Ícone, 1994, 178p.
- LAMAUD, E.; BRUNET, Y.; BERBIGIER, P. **Radiation and water use efficiencies of two coniferous forest canopies**. Phys. Chem. Earth, v. 21, n. 5-6, p. 361-365, 1996.

LINDROTH, A.; CIENCIALA E. **Measuring water use efficiency of eucalypt tress with chambers and micrometeorological techniques – comment, a short communication.** Journal of Hidrology, v. 164, p. 281-283, 1995.

MASTRORILLI, M.; KATERJI, N.; RANA, G.; STEDUTO, P. **Sweet sorghum in Mediterranean climate: radiation use and biomass water use efficiencies,** Industrial Crops and Products, 3, 253-260, 1995.

MONCRIEFF, J. B.; MASSHEDER, J. M.; DE BRUIN, H.; ELBERS, J.; FRIBORG, T.; HEUSINKVELD, B.; KABAT, P.; SCOTT, S.; SOEGAARD, H. VERHOEF, A. **A system to measure surface fluxes of momentum, sensible heat, water vapour and carbon dioxide.** Journal of Hydrology, p. 589-611, 1997.

MONTEITH, J. L. **Climate and the efficiency of crop production in Britain.** Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B 281: 277–294. 1977.

OLIVEIRA, P. J.; FERREIRA DA COSTA, R.; COSTA, A. C. L.; COSTA, J. M. N.; MALHI, Y.; MEIR, P.; SILVA, R. B. C.; ANDRADE, V. M. S.; SILVA JUNIOR, J. A.; GONÇALVES, P. H. L.; BRAGA, A. P. **Fechamento do Balanço de Energia em um ecossistema de manguezal paraense.** In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Santa Maria-RS, 2003.

RADIN, B.; CASTILHOS, Z. M. S.; SAVIAN, J. F.; FERRÃO, P. S. **Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa por *Panicum maximum* CV. Aruana em sub-bosque de acácia-negra.** In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Anais..., 2003.

RIBEIRO, J. B. M.; COSTA, A. C. L.; SOUZA FILHO, J. D. C. **Uma abordagem meteorológica preliminar sobre impacto ambiental** – Projeto MADAM, Belém-PA. 1997.

ROCHETTE, P., DESJARDINS, R. L., PATTEY, E., and LESSARD, R., **Instantaneous measurements of radiation and water use efficiencies of a corn crop**, Agros, J., submitted, 1996.

RIZZINI, C. T.; COIMBRA FILHO, A. F.; HOUAISS, A., **Manguezal**, Revista Ecosistemas Brasileiros, Index ED, 1988.

ROSEMBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate The Biological Environmental**, Wiley-Interscience, Estados Unidos, 1983.

SOUZA, M. J. H.; RAMOS, M. M.; SIQUEIRA, D. L.; COSTA, L. C.; LHAMAS, A. J. M.; MANTOVANI, E. C.; CECON, P. R.; SALOMÃO, L. C.C. **Absorção da radiação fotossinteticamente ativa pela limeira ácida “Tahiti” sob diferentes condições de déficit hídrico**, Revista brasileira de agrometeorologia, v.12, n.1, p.pi-pf, 2004.

SPITTERS, C. J. T., TOUSSAINT, H. A. J. M. and GOUDRIAN, J., **Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modeling canopy photosynthesis. Part. I Componentes of incoming radiation**, Agric. For. Meteorol., 38, 217-229, 1986.

SZEICZ, G. **Solar radiation in crop canopies**, Journal applied Ecology, Oxford, v.11, p.1117-1156, 1974.

WEISS, A.; NORMAN, J. M. **Partitioning solar radiation into direct and diffuse, visible and near-infrared components**, Agricultural e Forest Meteorology, pag 205-213, 1985.