

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE DEFASAGEM MAIS  
ADEQUADO PARA ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS DE  
VARIÁVEIS MICROCLIMATOLÓGICAS MEDIDAS NUMA  
FLORESTA DE TRANSIÇÃO NO NORTE DE MATO GROSSO**

**ADRIANA ESTER REICHERT PALÚ**

**ORIENTADOR: PROF. DR. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO**

**CUIABÁ-MT, JULHO DE 2008.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE DEFASAGEM MAIS ADEQUADO  
PARA ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS DE VARIÁVEIS  
MICROCLIMATOLÓGICAS MEDIDAS NUMA FLORESTA DE  
TRANSIÇÃO NO NORTE DE MATO GROSSO**

**ADRIANA ESTER REICHERT PALÚ**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Física e Meio Ambiente.

**ORIENTADOR: PROF. DR. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO**

CUIABÁ-MT, JUNHO DE 2008.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Título: DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE DEFASAGEM MAIS ADEQUADO PARA ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS DE VARIÁVEIS MICROCLIMATOLÓGICAS MEDIDAS NUMA FLORESTA DE TRANSIÇÃO NO NORTE DE MATO GROSSO

Autor: **ADRIANA ÉSTER REICHERT PALÚ**

Dissertação defendida e aprovada em 11 de julho de 2008, pela comissão julgadora:

Prof. Dr. Pedro José Iunes  
Universidade Estadual de Campinas  
Examinador externo

Prof. Dr. Alfredo Jorge  
Universidade Federal de Mato Grosso  
Examinador interno

Prof. Dr. Sérgio Roberto de  
Universidade Federal de Mato Grosso  
Orientador

# DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho ao meu Pai, que nos deixou, e onde quer que esteja tenho certeza que compartilha junto de mim mais essa vitória.*

*Dedico a minha filha, ao meu irmão e minha mãe a quem eu sou muito grata, pela paciência e por sempre estarem presentes incentivando a minha formação e as minhas decisões.*

# AGRADECIMENTOS

- Primeiramente agradeço a todos os meus professores, sejam eles do meu ensino infantil, fundamental, médio ou superior, pela paciência e motivação, pois só somos capazes de vitórias quando nossos sonhos são alimentados. Obrigado professores.
- À Deus e a Nossa Senhora, por sempre acompanharem a mim e a minha família, nos guiando e protegendo.
- Agradeço ao professor e orientador prof. Dr. Sérgio Roberto de Paula pela excelente orientação e principalmente pela paciência que teve mesmo diante das minhas dificuldades.
- Agradeço ao meu irmão Luiz Carlos Reichert que sempre me ouviu com paciência e incentivou-me a nunca desistir.
- Agradeço a minha filha, Karine Reichert Palú, que sempre compreendeu a minha ausência me incentivando com carinho e muita paciência.
- Em especial à minha mãe, Leni Reichert, pelo apoio, compreensão e amor incondicional.
- Aos todos os colegas e professores do programa de pós-graduação em Física e Meio Ambiente.
- Aos meus amigos Silvana Perin Faccio e Leocir José Faccio, por serem esses grandes amigos e essas pessoas maravilhosas.
- Ao professor Dr. José de Souza Nogueira (Paraná), pelo incentivo e compreensão que sempre demonstrou, mesmo nas horas mais difíceis dessa caminhada.
- Ao prof. Dr. Francisco Lobo (Chico), Dr. Campelo que exercem com louvor a profissão de professor, pelas muitas horas de ajuda e apoio.
- Aos amigos Carlos, Ângela e Márcio pelos momentos felizes em que estivemos juntos.
- Ao meu colega Denilton, pela presença marcante em nossa turma, nos ensinado muitas coisas, entre elas a grande força de lutar e vencer.
- FAPEMAT - pela bolsa de estudos tão providencial.
- A Soilse Carrilho, pela atenção e colaboração desde o início do mestrado.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
1 Introdução .....	1
2 Revisão Da Literatura .....	3
2.1 Método de Correlação de Vórtices Turbulentos (Eddy Covariance) .....	3
2.2 TEORIA DA COMPLEXIDADE .....	3
2.3 DINAMICA DOS SISTEMAS COMPLEXOS .....	4
2.4 CLIMA ATMOSFÉRICO .....	5
2.5 FORMAÇÃO DOS VENTOS .....	6
2.6 FLUXO DE ENERGIA .....	8
2.7 FLUXO DE CARBONO .....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	111
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	111
3.2 CLIMA E VEGETAÇÃO .....	122
3.3 INSTRUMENTOS MICROMETEOROLÓGICOS .....	132
3.4 METODOLOGIA .....	133
3.5 TRATAMENTO DOS DADOS .....	166
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	177
4.1 RESULTADO SOBRE A DIREÇÃO DO VENTO .....	21
4.2 RESULTADO SOBRE O VELOCIDADE DO VENTO .....	25
4.3 RESULTADO SOBRE FLUXO DE CALOR LATENTE .....	29
4.4 RESULTADO SOBRE FLUXO DE CABONO .....	33
5 CONCLUSÕES .....	34
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	35

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema do Ciclo de carbono.....	10
Figura 2. Coordenadas geográficas do local de estudo.....	11
Figura 3. Esquema do sistema de medições micrometeorológicas de correlação de vórtice Turbulentos ( <i>ou eddy covariance</i> ) .....	12
Figura 4. Informação mútua versus tempo de defasagem.....	15
Figura 5. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período chuvoso (Fev/02).....	18
Figura 6. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período seco (Jun/02).....	19
Figura 7. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período seco (Jul/02).....	19
Figura 8. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período chuvoso (Fev/03).....	20
Figura 9. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período seco (Jul/05).....	20
Figura 10. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período chuvoso (Jan/06).....	21
Figura 11. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período chuvoso (Fev/06).....	21
Figura 12. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período chuvoso (Fev/01).....	22
Figura 13. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período seco (Jun/02).....	23
Figura 14. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período seco (Jul/01).....	23
Figura 15. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período chuvoso (Fev/03).....	24
Figura 16. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período seco (Jul/05).....	24
Figura 17. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período chuvoso (Jan/06).....	25

Figura 18. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período chuvoso (Fev/06).....	25
Figura 19. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período chuvoso (Fev/02).....	26
Figura 20. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período seco (Jun/02).....	27
Figura 21. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período seco (Jul/02).....	27
Figura 22. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período chuvoso (Fev/03).....	28
Figura 23. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período seco (Jul/05).....	28
Figura 24. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período chuvoso (Jan/06).....	29
Figura 25. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período chuvoso (Fev/06).....	29
Figura 26. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período chuvoso (Fev/02).....	30
Figura 27. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período seco (Jun/02).....	31
Figura 28. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período chuvoso (Jul/02).....	31
Figura 29. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período chuvoso (Fev/03).....	32
Figura 30. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período seco (Jul/05).....	32
Figura 31. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período chuvoso (Jan/06).....	33
Figura 32. Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período chuvoso (Fev/06).....	33



## RESUMO

O presente trabalho se refere a variáveis microclimatológicas medidas em uma região de floresta de transição entre cerrado e floresta tropical úmida distante aproximadamente 50 km da cidade de Sinop, norte do Estado de Mato Grosso. Os dados utilizados foram coletados no período de 2001 a 2006, sendo analisadas somente séries mensais referente à estação chuvosa e estação seca. Foram utilizadas seis séries temporais, sendo três do período de estação seca e três do período de estação chuvosa. As variáveis analisadas são: fluxo de calor latente, fluxo de carbono, velocidade do vento e direção do vento. O objetivo é encontrar o tempo de defasagem mais adequado para a realização de análises de séries temporais envolvendo a Teoria da Complexidade, que corresponde ao tempo de defasagem que forneça correlação mínima entre a série defasada e a original. O método adotado foi o do cálculo do coeficiente de informação mútua. Os resultados mostram que o melhor tempo de defasagem é de aproximadamente 5 horas, não existindo uma diferenciação aparente entre as estações de chuva e seca. Verificou-se ainda que para as variáveis do fluxo de calor latente e do fluxo de carbono este valor de tempo é mais evidente, tendo um mínimo bem definido para o valor do coeficiente de informação mútua em função de diferentes tempos de defasagem; enquanto que nas variáveis de velocidade e direção do vento os mínimos não são tão evidentes, embora o tempo de 5 horas pareça ser compatível também para essas variáveis.

**Palavras-chaves:** Sistemas Complexos, Séries Temporais, Defasagem.

## ABSTRACT

This work refers to microclimatological variables measured in a transition forest at a local 50 km far from Sinop, at the north of Mato Grosso, Brazil. The employed data were collected between 2001 and 2006. It were analyzed monthly time series data both in the wet and dry seasons. Six time series were considered: three for the wet season and three for the dry one. The analyzed variables were: the latent heat flux, the carbon flux, the wind direction and the wind velocity. The main objective was to find the most adequate time lag for the time series analysis according to the Complexity Theory, which is the time lag that corresponds to the minimum correlation between the delayed time series and the original one. The adopted method was the calculation of the mutual information coefficient. According to the results, the most adequate time lag is approximately equal to 5 hours, with no appreciable differences between the wet and dry seasons. It was also observed that, for the carbon and latent heat fluxes, the most adequate value for the time lag is more evident, with a well defined minimum in the mutual information value in function of different time lags; while, for the wind direction and velocity, the minimum values are not well defined. However, the value of 5 hours seems to be compatible also with these variables.

**Keywords:** Complex Systems, Time Series Analysis, Time Delays.

# 1 INTRODUÇÃO

A floresta amazônica desempenha um importante papel devido as suas áreas com um índice de biodiversidade elevado e a sua possível capacidade de regular o clima global. Nos últimos anos, devido à exploração da madeira, desenvolvimento industrial, extensão das áreas povoadas, entre outros fatores, a floresta Amazônica, bem como as demais florestas no mundo, tem sofrido grandes impactos.

Florestas tropicais são de considerável interesse científico porque possuem estruturas diversificadas. A Amazônia Brasileira, correspondente a 60% do território brasileiro e 40% das florestas remanescentes no mundo. Ela desempenha um papel vital na manutenção da biodiversidade, ciclo hidrológico e clima regional (Barbosa e Fearnside, 1999), além de ser uma das principais fontes de aquecimento da atmosfera terrestre graças à enorme quantidade de calor latente liberado na atmosfera pelas chuvas (Molion, 1976).

Diante de tal diversidade e importância, é fundamental que estudos e pesquisas sejam feitos, possibilitando um entendimento cada vez maior sobre a importância e o impacto provocado por tal floresta.

Apesar da mídia muito divulgar sobre os problemas ambientais, tais como, degelo das calotas polares, aquecimento global, provocado pelo aumento do chamado efeito estufa, a sociedade parece aceitar um único “valor”: o econômico-financeiro, ou seja, aquilo que pode ser produzido ou evidenciado hoje. Isso se deve principalmente por poucos saberem qual a efetiva influência da Floresta Amazônica em nossas vidas.

Os desmatamentos somados às queimadas liberam muitos gases na atmosfera entre eles metano, óxido nitroso e o dióxido de carbono, que tem sido um gás cuja concentração no ar vem aumentando muito após a revolução industrial. O aumento da concentração desses gases na atmosfera provoca um aumento no efeito estufa e conseqüentes mudanças no micro clima da região. O efeito estufa quando ocorre naturalmente é um processo benéfico ao planeta, este auxilia na regulação da temperatura, entre outros é responsável pela existência de água nos três estados físicos.

Pode-se fazer simulações do clima através de modelos matemáticos simples ou em muitos casos complexos. Esses modelos procuram representar o comportamento da atmosfera através da interação de vários elementos do sistema e para garantir sua eficiência é necessário que representem adequadamente um processo de transição entre massa e energia. Para todo modelo

matemático de simulação sempre existe uma margem de erro que pode ser grande ou pequena dependendo da complexidade da interação entre as variáveis estudadas.

Dessa forma é fundamental que se tenha análises que levem em conta a relação natural entre as variáveis ambientais. Ambientes florestais são sistemas complexos e é muito importante tratá-los dessa forma. Os sistemas complexos são dinâmicos não-lineares em evolução permanente, abertos para o exterior, constituídos por um grande número de unidades que interagem. O sistema pode desenvolver, ao longo de seu processo evolutivo, acoplamento espaço-temporal, apresentando correlações de longo alcance temporal (memória) e espacial (estruturas fractais). Assim, o sistema se auto-organiza de forma espontânea, criando ordem a partir de um estado inicialmente desordenado ou desprovido por completo de estrutura. A formação de estruturas hierarquizadas é um exemplo típico e fascinante deste efeito de *ordem emergente*. Assim a Teoria da Complexidade é uma ferramenta adequada para entender a floresta.

Considerando a grande importância em se conhecer a Amazônia Legal bem como seus ecossistemas, este estudo que foi realizado em uma floresta de transição entre Amazônia e Cerrado, localizada próximo ao município de Sinop, no estado do Mato Grosso. Ele tem como principal objetivo determinar o tempo de defasagem mais adequado para a realização de análises de séries temporais envolvendo a Teoria da Complexidade, que corresponde ao tempo de defasagem que forneça correlação mínima entre a série defasada e a original. Para isso adotamos como variáveis de estudo, velocidade e direção do vento, Fluxo de Calor Latente e Fluxo de Carbono.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 MÉTODO DE CORRELAÇÃO DE VÓRTICES TURBULENTOS (EDDY COVARIANCE)**

Para KANEMASU et al. (1979) o método da correlação de vórtices turbulentos é o mais utilizado, pois, faz medidas diretas dos fluxos fazendo uma correlação entre os fluxos verticais e as concentrações escalares. As observações são feitas em uma frequência de 10 Hz, podendo-se registrar uma média a cada 30 ou 60 minutos.

Este método geralmente é utilizado com os sensores montados sobre torres. Essa posição apresenta algumas vantagens tais como, não influenciam no meio ambiente, aumenta a abrangência da área percebida pelos sensores, possibilita verificar as diferenças existentes entre o período do dia e da noite além da possibilidade de serem distribuídos em diferentes alturas dentro das florestas ou área estudada.

Como exemplo, em um período de 24 horas, em regiões de florestas, observa-se que durante o dia verifica-se um fluxo de carbono negativo, ou seja, a taxa diminui com o tempo, devido principalmente à fotossíntese. No período noturno, verificamos um fluxo positivo, aumento na taxa, graças à respiração da vegetação e a ausência da fotossíntese. O exemplo evidencia a característica vetorial utilizada, sendo que sinais positivos demonstram um aumento do fluxo, e sinais negativos uma queda nos valores totais dos fluxos, bem como uma quantificação escalar nos valores modulares registrados.

### **2.2 TEORIA DA COMPLEXIDADE**

Quando analisamos alguns fatos cotidianos, poderão ocorrer explicações relativamente simples, se consideramos a ciência até o século XIX, onde leis Físicas poderiam explicar movimentos como de um objeto caindo em queda livre ou um Pêndulo, quando considerados sob influência de apenas uma ou poucas forças. No entanto os sistemas reais, tais como economia, a linguagem e comunidades de plantas, são considerados sistemas complexos por apresentarem um grande número de interação entre o sistema.

Sistemas biológicos, como árvores ou comunidades florestais, possuem uma auto similaridade independente da escala de observação. Por exemplo, a copa de uma árvore se

assemelha às nervuras de uma folha. Este padrão de repetição de estruturas pode ser associado à construção de estruturas fractais.

A complexidade é correlacionada a experiências cotidianas, enquanto a ciência clássica prioriza a ordem e a estabilidade, atualmente reconhece-se o papel fundamental da instabilidade e das flutuações para melhor caracterizar muitos eventos. Pensar complexamente é refletir sobre as incertezas, sobre sistemas não lineares onde equações simples podem gerar explicações bastante complexas.

### **2.3 DINÂMICA DOS SISTEMAS COMPLEXOS**

Sistemas complexos podem ser considerados como um conjunto de valores e dados que requerem certas séries de dados ou valores para efetuar sua explicação. Um sistema complexo pode ser explicado através de seu estado preferencial, que pode ser caracterizado como o “atrator” do sistema. A dimensionalidade do sistema pode ser medida através da determinação do menor número de variáveis necessárias para explicar o próprio sistema (CAPISTRANO, 2007).

Quando se deseja experimentalmente analisar um sistema complexo pode-se fazê-lo através de séries temporais. A primeira vista pode parecer o estudo de uma única variável, porém essa variável conta com um grande conjunto de informações, devido à sua correlação (acoplamento) com as outras variáveis que são importantes para a dinâmica do sistema. Nos sistemas complexos geralmente temos um conjunto de variáveis que, quando combinadas entre si ou uma a uma, podem nos fornecer informações precisas sobre o referido acontecimento. Em modelos matemáticos geralmente buscamos o estado preferencial da variável, e a este ponto chamamos de atrator (NICOLIS and PRIGOGINE, 1989).

Encontrar o atrator nos leva a refletir primeiramente sobre algumas questões, tais como: Existe a possibilidade de utilizando esta série de dados identificar o atrator do sistema? Quando encontrar o estado preferencial, ou seja, o atrator, determinar sua dimensão (a dimensionalidade de um sistema complexo pode ser qualquer número real)? Qual será o mínimo de dados necessários para caracterizar o sistema? Para responder a estas indagações faz-se necessário utilizar com coerência as variáveis, afim de determinar o espaço de fase mais adequado para caracterizar o sistema.

A estimativa da dimensionalidade da dinâmica de um sistema é feita tomando-se uma série temporal de uma das variáveis e comparando-se essa série com outras séries obtidas a partir da defasagem temporal da série original por um intervalo de tempo fixo, chamado de “tempo de

defasagem” (“time lag” ou “time delay”) (NICOLIS and PRIGOGINE, 1989; ECKMANN and RUELLE, 1985; ABARBANEL et al., 1993). Contudo, para se obter o máximo de informação possível dessa comparação, é desejável que exista uma correlação mínima entre a série original e a série defasada. A análise da dimensionalidade das variáveis microclimatológicas medidas pelo método dos vórtices turbulentos em Sinop foi feita previamente por CAPISTRANO (2007), que utilizou, para o tempo de defasagem o valor de 5,5 horas, valor esse estimado com base em um estudo de correlação simples entre as séries originais e defasadas. Contudo, alguns autores (ABARBANEL et al., 1993) recomendam que, para a medida da correlação entre as séries, seja utilizado o coeficiente de informação mútua, o qual é mais adequado para o estudo de sistemas complexos do que o coeficiente de correlação simples. Assim, neste trabalho, o método utilizado é o do cálculo da informação mútua.

## **2.4 CLIMA ATMOSFÉRICO**

As características atmosféricas de um determinado local são influenciadas pelas condições reinantes no lugar resultante da combinação de algumas grandezas físicas denominadas elementos climáticos. Tais condições são chamadas de tempo meteorológico, popularmente chamado de “condições do tempo” (AYOADE, 2002). O clima seria a síntese; a generalização das diferentes condições de tempo prevalentes nesse lugar, e considera um número bem maior de dados, como a frequência de ocorrência de alguns fenômenos meteorológicos mais comuns no local, além das condições médias de tempo. O tempo varia em curto espaço de tempo cronológico, por exemplo, um dia. O clima, entretanto, varia de um local para outro principalmente devido às variações da intensidade, quantidade e distribuição dos elementos climáticos entre os quais, os mais simples de serem obtidos, e mais importantes são a temperatura e a precipitação.

A região Amazônica é caracterizada por apresentar clima quente e úmido, dando assim a conotação de uniformidade climática, porém apresenta na realidade, nítida variação térmica e acentuada variabilidade hídrica, esta em termos espacial e temporal (BASTOS, 2005). De acordo com BASTOS (2005), a maior flutuação na radiação solar, na temperatura do ar e umidade atmosférica, está associada com o padrão das chuvas, verificando-se que por ocasião do período mais chuvoso, ocorre redução na temperatura do ar, radiação solar global, brilho solar e aumento na umidade do ar, com o oposto ocorrendo por ocasião do período de menor pluviosidade.

Ao pensarmos em plantas, o efeito de elementos do clima sobre elas tem sido abordado do seguinte modo: a temperatura do ar afeta a maioria dos processos físicos e químicos das plantas e considera-se que cada espécie exige certa amplitude térmica e temperaturas máximas e mínimas, além da qual a planta não se desenvolve satisfatoriamente. A insolação, como reflexo da radiação solar incidente, é considerada elemento climático de extrema importância na produção agrícola, visto que insolação e radiação solar estão associadas a produtividade das plantas pelo processo da fotossíntese, transpiração, floração e maturação.

A importância da umidade do ar deve-se principalmente ao fato de estar relacionada pela influência na demanda evaporativa da atmosfera e assim pode-se dizer que quando muito baixa ou muito elevada torna-se prejudicial para a maioria das plantas. Bastos (2005) diz que a umidade relativa abaixo de 60% pode ser prejudicial por aumentar a taxa de transpiração e acima de 90% reduz a absorção de nutrientes, devido à redução da transpiração, além de favorecer a propagação de doenças fúngicas.

A chuva é um elemento climático fundamental para as plantas, pois a água é elemento essencial para o crescimento e desempenha importante papel na fotossíntese e, portanto na produção. Essa importância se torna maior nas regiões tropicais úmidas e na Amazônia, porque, ao contrário das regiões fora dos trópicos, onde o cronograma agrícola é determinado pela temperatura, o elemento regulador da agricultura é a chuva dada a sua função na disponibilidade de água para as plantas durante o ano.

Desta forma, através do entendimento desses processos periódicos e constantes de certos elementos climáticos, é que se produziu um conhecimento empírico que permite o desenvolvimento de certas práticas, como na agricultura. Com esses dados, associados aos dados dinâmicos que podem ser levantados pelos instrumentos de medição, serão obtidas as condições para o melhor planejamento para as culturas de nossa região.

## **2.5 FORMAÇÃO DOS VENTOS**

Os ventos são formados, principalmente, devido à diferença de pressão ou devido à diferença entre as temperaturas das superfícies. O ar mais quente torna-se menos denso e dessa forma sobe, enquanto o ar, sobre superfícies mais frias, desce, isso também influencia na pressão do local, sendo que regiões onde o ar apresenta-se ascendente a pressão tende a ser mais baixa. Essas diferenças formam um gradiente de pressão, sendo assim o ar flui da maior pressão para a menor.



Diversas atividades humanas têm o vento como um importante fator. Ele desempenha um importante papel no desenvolvimento das plantas, facilitando as trocas de calor, de dióxido de carbono e do vapor d'água entre a atmosfera e a vegetação. No processo de polinização as flores bem como o pólen podem ser suspensas com o auxílio dos ventos. Porém, os ventos em grandes intensidades são bastante temidos, podendo provocar catástrofes, gerando prejuízos tanto na agropecuária como nas cidades.

O conhecimento da direção dos ventos pode ser útil quando se trata de fatores como localização de indústrias, aproveitamento eólico e instalação de quebra-ventos para melhor aproveitamento do suprimento hídrico das plantas através de processos de irrigação. Os principais fatores que podem influenciar na direção dos ventos são o clima e a estação do ano em cada região.

O estudo da velocidade e direção dos ventos pode ser muito útil em alguns casos, porém representa pouca importância quanto ao seu poder destrutivo, tendo em vista que as forças críticas são atingidas apenas em algumas rajadas.

As correntes de vento podem afetar a evaporação por possibilitar a renovação da massa de ar em contato com a superfície evaporante. Porém, verifica-se que a razão da evaporação não aumenta diretamente com a velocidade média dos ventos, percebe-se que seu aumento está relacionado à frequência com que ocorre corrente de vento, sendo que, quanto mais frequentes forem as correntes, maior sua influência na evaporação das plantas.

Nas florestas o vento pode agir criando um diferencial de calor na atmosfera e por consequência outro diferencial na superfície. A velocidade do vento, e das correntes de energia em geral, são determinadas pela radiação (diferença de temperatura) e pelo relevo (podendo ser alterado ao passar por montanhas ou vales). Devido à movimentação de energia provocada pelo vento, este também influencia na fotossíntese e conseqüentemente no crescimento das plantas.

A influência sobre a realização da fotossíntese, se deve ao fato de que ao redor dos estômatos sempre forma-se uma camada de ar úmido, que é transportada pelo vento. Isso faz com que a transpiração aumente e com isso renovam-se as concentrações de ar aumentando a quantidade de CO<sub>2</sub> e conseqüentemente a fotossíntese realizada pelas plantas.

Em relação à camada limite atmosférica sabe-se que grande parte da turbulência aí gerada tem origem na própria superfície, podendo-se destacar o aquecimento solar durante o período diurno, sendo chamada de Turbulência Térmica. Esta turbulência está associada aos efeitos de flutuabilidade gerada pelo empuxo do ar. Além dessa também conhecemos a Turbulência Mecânica gerada pela fricção do ar bem como seu escoamento através de obstáculos, estes efeitos são percebidos em toda a camada limite, embora sejam mais evidentes na superfície.

## **2.6 FLUXO DE ENERGIA**

Segundo a primeira lei da Termodinâmica “num sistema fechado a energia não se perde, mas se transforma de uma forma em outra”. Como consequência dessa lei, a energia que entra em um ecossistema é toda transformada em outras formas de energia através de aquecimento, fotossíntese e a grande parte dela liberada na forma de calor.

De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, todos os processos dinâmicos ecofisiológicos se processam de forma que uma parte significativa da energia seja perdida na forma de calor, assim sendo, os vivos não são capazes de aproveitar integralmente a energia disponível no ambiente para seus processos vitais.

Para um ecossistema a principal fonte de energia é o Sol, esta energia é em parte utilizada para manutenção das funções vitais dos seres vivos, a maior parte é liberada novamente na forma de calor. O calor liberado pode ser sensível, aquecendo o meio, ou latente, mudando substâncias, principalmente a água, de estado físico. Esse aquecimento e mudança de estado físico é que possibilitam fatores importantes tais como o ciclo hidrológico.

As florestas têm sido um importante receptor e armazenador orgânico de radiação solar (OLIVEIRA 2001). Verifica-se que as coberturas vegetais são como um filtro para a radiação que chega até a superfície, controlando a entrada desta conforme a mudança do albedo.

Segundo ARRUDA et al. (2004) a floresta Amazônica e o Cerrado têm sido considerados importantes ecossistemas devido à grande quantidade de troca de energia e água com a atmosfera. Devido a essas trocas essas florestas desempenham um importante papel no controle do clima local. Devido ao desmatamento em grande escala poderemos perceber mudanças no clima bem como no ciclo hidrológico do local.

## **2.7 FLUXO DE CARBONO**

As florestas em geral são consideradas sumidouros de carbono. Devido ao desmatamento e a queima de biomassa, a emissão de carbono na atmosfera tem aumentado muito nos últimos anos. O gás carbônico faz parte da composição do ar atmosférico, é inofensivo em quantidades normais e é um dos principais componentes para que as plantas realizem a fotossíntese. Além disso, funciona como um teto para o efeito estufa. Ele, juntamente com os gases do efeito estufa e vapor d'água são responsáveis pelas condições de temperatura do nosso planeta.

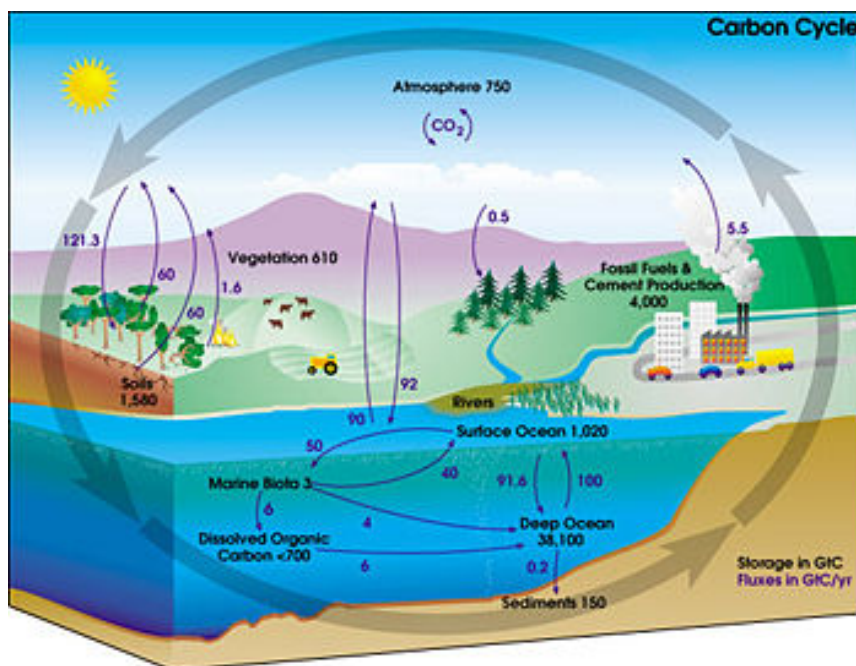
Na formação do ciclo do carbono este pode ser originado através da combustão de materiais de origem orgânica, tais como petróleo carvão ou madeira. Pode ainda, ser produzido através da respiração do homem, animais, plantas ou microorganismos.

Com a expansão das atividades industriais percebidas desde a revolução industrial no século XIX, a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada é muito maior que a capacidade de assimilação das plantas. Esse aumento na produção de gás carbônico representa uma das maiores preocupações dos cientistas. Atualmente, teme-se que esse aumento pode causar um superaquecimento do planeta com conseqüente desequilíbrio climático ameaçando a sobrevivência da humanidade.

Os oceanos são os que estocam maiores quantidades de carbono em seus ciclos. Uma parte pequena é dissolvida em água e a maior parte na forma de íons de carbonato e bicarbonato. Na atmosfera o gás carbônico se apresenta disponível para que os vegetais o utilizem para realizar a fotossíntese, e assim transformar-se em alimento para concluir a cadeia alimentar, retornando para a atmosfera pelos processos de respiração ou de combustão de matérias orgânicas.

As florestas são as grandes fixadoras terrestres do carbono existente na atmosfera. Somente as tropicais contém cerca de 350 bilhões de toneladas de carbono, quase a metade do que possui a atmosfera, sendo que cada hectare retira da atmosfera, em média, 9 kg de carbono por ano. SARRIEGO (1994).

Em florestas tropicais a taxa de transferência de CO<sub>2</sub> é controlada por vários fatores, tais como, taxa de produção no solo, gradientes de temperatura, concentração na interface solo-atmosfera, pelas propriedades físicas do solo e flutuações na pressão atmosférica do local. (SOTTA, 1998). Dessa forma percebemos que as próprias florestas tropicais podem produzir e transferir CO<sub>2</sub> internamente, no entanto o que percebemos é uma grande influencia externa, com fontes de produção e não de consumo de CO<sub>2</sub>, estas são as que provocam o desequilíbrio percebido atualmente.



**Figura 1.** Esquema do ciclo do carbono.

Fonte: SARIEGO (1994)

Podemos observar na figura que o carbono, dentro do ambiente, não é apenas produzido, mas também consumido. Plantas verdes, realizadoras de fotossíntese, utilizam-se do dióxido de carbono para sintetizarem a glicose. Isso acontece na presença da luz e com a participação de água. Tal processo é denominado fotossíntese e é através desse que as plantas crescem e efetuam seus ciclos de vida.

Devido a grande expansão industrial e tendo como consequência a queima de combustíveis, tem-se produzido muito mais dióxido de carbono do que as florestas têm capacidade de assimilar. Isso entre outros fatores acredita-se que pode influenciar no clima do planeta.

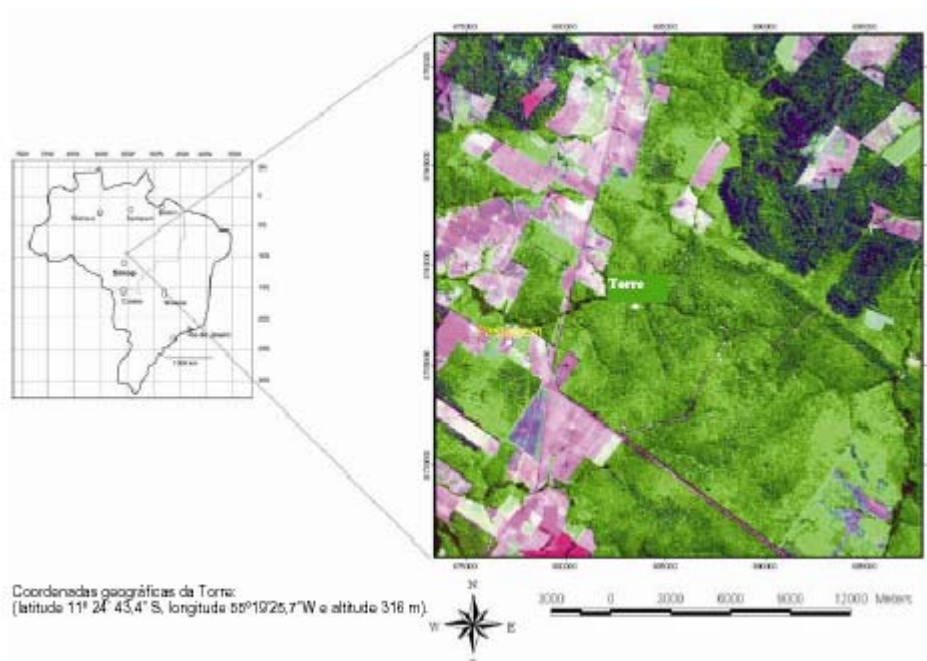
A crescente emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, em razão do uso generalizado de combustíveis fósseis representa uma grande preocupação. Teme-se que o aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera possa causar um superaquecimento da mesma, com consequente desequilíbrio climático do Globo, o que poderá, em última análise, colocar em risco a sobrevivência da humanidade. VIANELLO and ALVES (1991).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

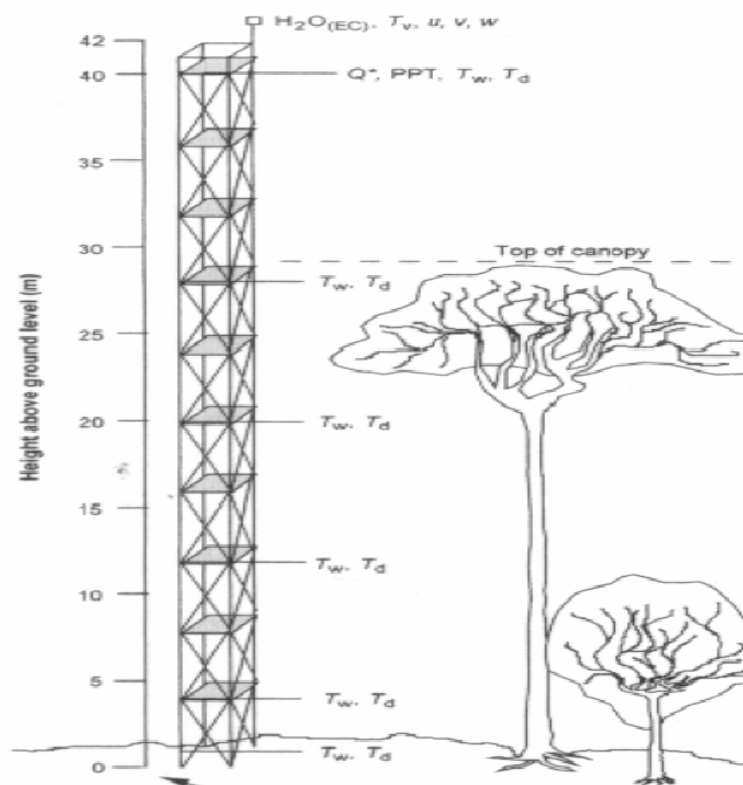
#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados foram coletados no município de Sinop no estado do Mato Grosso na fazenda Macaraí, cerca de 20 km<sup>2</sup>, localizada na região Centro Oeste, a 50 km da cidade de Sinop, Mato Grosso, Brasil (longitude 55° 19'50'' W latitude 11 24'75'' S). Essa região caracteriza-se como floresta de transição entre floresta tropical úmida e o cerrado os dados foram coletados em uma torre a 40 metros da superfície onde funciona o sistema de correlação de vórtices turbulentos (Eddy Covariance).

A coleta ocorreu com uma frequência de 10 Hz (0,1 em 0,1 segundos), registrando-se e armazenando-se uma média a cada 30 minutos. Os dados analisados foram direção e velocidade do vento, fluxo de calor latente e fluxo de carbono. O tempo da coleta compreendeu-se entre os anos de 2001 e 2006, sendo que foram analisados dados apenas das estações seca e chuvosa, desconsiderando então os meses de transição. Ao total foram três séries do período de estação seca e três séries do período de estação chuvosa.



**Figura 2.** Localização da área de estudo  
Fonte: IBGE, 2000



**Figura 3.** Esquema do sistema de medições micrometeorológicas de correlação de vórtice Turbulento (ou *eddy covariance*)  
 FONTE Vourlitis et al. (2002)

### 3.2 CLIMA E VEGETAÇÃO

Na região onde os dados foram coletados, o clima segundo a classificação Köppen é do tipo Aw predominantemente do tipo tropical que apresenta uma sazonalidade característica, com duas estações bem definidas de chuva e seca. A média de temperatura anual é de 24 °C. A estação de chuva ocorre de dezembro a fevereiro enquanto a seca de maio a agosto, existindo dessa forma um percentual do ano que pode ser caracterizado como período de transição.

Quanto à vegetação a região é caracterizada como Floresta Tropical de Transição entre floresta Amazônica e Cerrado. A torre está instalada em um terreno aproximadamente plano, onde a altura média das árvores é de 28 a 30m. O solo apresenta-se bastante arenoso e as espécies vegetais mais abundantes no local são *Tovomita sp*, *Brosimum sp*, *Casearia sp*, *Qualea sp*, *Vochysia sp*, *Ocotea spixiana*, *Dinizia excelsa*, *Quina pteridophila*, *Mezilaurus itauba* (VOURLITIS ET AL., 2002)

### 3.3 INSTRUMENTOS MICROMETEOROLÓGICOS

Os dados foram coletados através de sensores de correlação de vórtices turbulentos que foram montados a uma altura de 42 m acima do solo sendo aproximadamente 13 metros acima do dossel da floresta, onde funciona o sistema de correlação de vórtice turbulento (*eddy covariance*), usado para medir o Fluxo de Calor Latente (LE) e sensível. Em vários pontos da torre foram instalados medidores de temperatura de bulbo úmido e bulbo seco, radiômetro líquido, pluviômetro sensores de chuva e termopares para medir fluxo de calor latente.

Para medir as flutuações de velocidade do vento, temperatura e vapor d'água, foram utilizados através do sistema de vórtice turbulento um sistema de anemômetro sônico em três dimensões (SWS-211/3K, *applied technologies, Inc. Boulder, Colorado*) e um analisador de gás infravermelho de caminho aberto (NOAA-ATDD, *Oak Ridge, Tennessee*). Todos os aparelhos foram instalados pelo grupo de estudo da Física e Meio Ambiente. A manutenção, bem como a calibração também é feita pelo mesmo grupo.

### 3.4 METODOLOGIA

Para analisar os dados foi utilizado um método que têm uma componente caótica, com base no artigo de revisão de ABARBANEL et al. (1993) que discute os principais métodos empregados nas últimas décadas, para a análise de dados complexos. Tal método procura uma relação entre série original,  $s(n)$ , e os dados da mesma série com determinada defasagem,  $s(n+T)$ , onde  $s(n)$  é o enésimo valor da série e  $T$  é o tempo de defasagem. Por exemplo, se a série corresponde a valores de temperatura medidos ao longo de um mês com dados a cada trinta minutos,  $s(1)$  corresponde ao valor da temperatura a zero hora do primeiro dia,  $s(2)$ , à temperatura às 0:30 h,  $s(3)$ , à temperatura às 1:00 h, etc. Se o tempo de defasagem considerado for de 6 horas,  $s(1+T)$  corresponde à temperatura às 6:00 hs,  $s(2+T)$ , à temperatura às 6:30 h, e assim por diante.

A correlação é estabelecida através do parâmetro denominado *informação mútua*,  $I(T)$ , que consiste em uma somatória através de uma relação entre o logaritmo de base 2 da divisão entre os fatores com determinada defasagem pelo produto dos fatores da série total:

$$I(T) = \sum_{n=1}^N P(s(n), s(n+T)) \log_2 \left[ \frac{P(s(n), S)_{n+t}}{P(s(n))P(s(n+T))} \right]$$

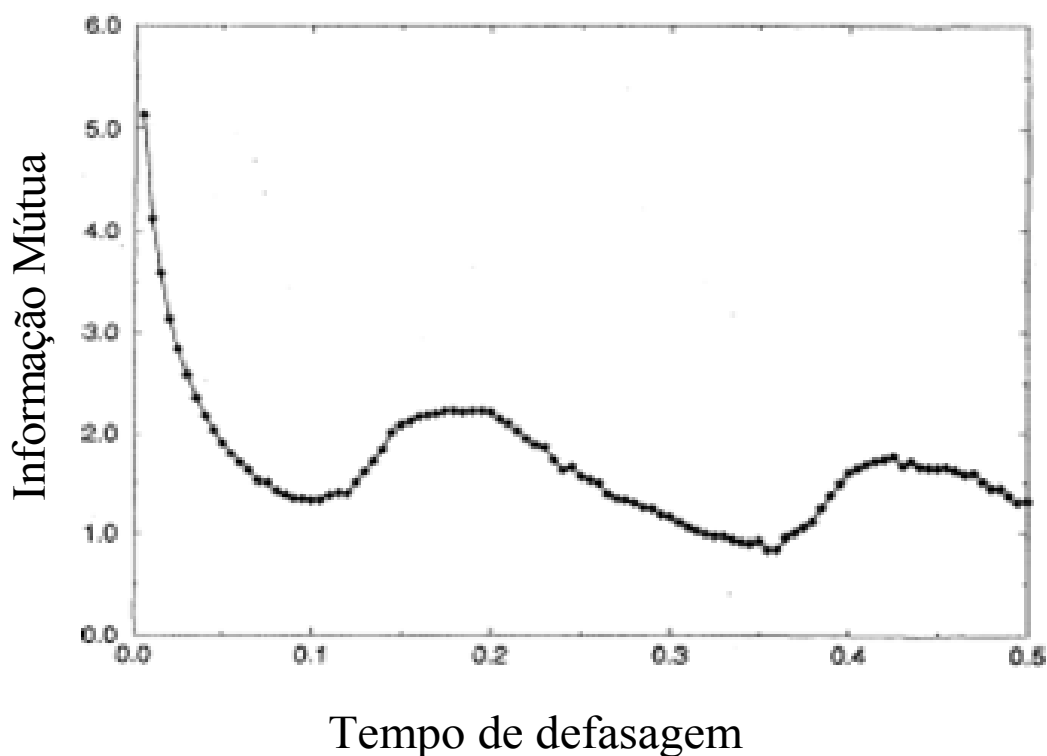
A probabilidade  $P$  da somatória consiste na probabilidade de encontrar determinado valor

na série original  $P(s(n))$  e defasada  $P(s(n+T))$ ). Já  $P(s(n),s(n+T))$  representa a probabilidade de que, quando o  $n$ -ésimo valor da série original for  $s$ , o  $n$ -ésimo valor da série defasada também seja  $s$ .

Tais probabilidades podem ser calculadas simplesmente contando quantos valores numéricos pertencem a um dado intervalo pré-estabelecido, dividindo-se pelo número total de dados.

O parâmetro  $N$  é o número total de dados registrados na série analisada.

O método de informações mútuas efetua uma correlação, informando o quanto a série original e defasada trazem a mesma informação. Isso acontece através de observações de efeitos físicos onde se faz uma comparação entre a medida de uma variável e um respectivo tempo de defasagem. Posteriormente uma média das informações contidas na série correspondente à medida física e um novo tempo de defasagem.



**Figura 4.** Informação mútua versus tempo de defasagem

Fonte: Abarbanel et al. Analysis of observed chaotic data. P.1345

Na representação gráfica da figura 3 temos uma correlação entre a informação mútua e o tempo de defasagem considerado. Sendo a correlação mútua uma informação gerada a partir de considerações de tempos, quantidades de valores total da série e quantidades de valores



considerados após a defasagem, podemos dizer que os mínimos mostrados nos gráficos correspondem aos melhores tempos de defasagem.

Considerando que o primeiro mínimo do gráfico corresponde ao menor tempo de defasagem que possibilita uma boa idéia do que está ocorrendo no referido sistema, pode-se utiliza-lo para explicar os fatores de um sistema aberto como é o caso da floresta de transição.

Quando se faz uma análise, através de um plano cartesiano, entre as médias de correlação das medidas e seus respectivos tempos de defasagens, encontramos curvas de correlação. Através destas poderemos concluir qual será o melhor tempo de defasagem para explicar o atrator de cada uma das variáveis.

Depois dos cálculos, os valores obtidos são compilados em um gráfico, que os relaciona com os tempos de defasagem. Segundo os critérios estabelecidos pelos pesquisadores que trabalham nessa área de conhecimento (ABARBANEL, et.al. 1993), o melhor tempo de defasagem para caracterizar um determinado evento será obtido no tempo que determina o primeiro ponto mínimo do gráfico. Tal critério se justifica pois, para se obter o máximo de informação do conjunto formado pela série original e defasada, deseja-se obter o mínimo de correlação possível, sem, contudo, utilizar um tempo de defasagem muito grande, pois, quanto maior  $T$ , mais dados são necessários. Se um valor muito grande de  $T$  for adotado na reconstituição da dinâmica do sistema, o procedimento pode não ser sensível a fenômenos de alta frequência, ou seja, que ocorrem relativamente rápido (poucas horas, no caso dos dados que consideramos nesse trabalho).

Os sistemas físicos, geralmente, possuem suas variáveis distribuídas de forma mais ou menos uniforme, sendo que, sua distribuição gira em torno de uma curva ou superfície bem definida. A essa curva ou superfície chamamos de atrator do sistema, ou seja, os valores ou locais – definidos no *espaço de fase*, ou seja, no espaço constituído pelas variáveis do sistema - nos quais o sistema tende a permanecer. Da mesma forma analisar séries com uma determinada defasagem de tempo, nos possibilita verificar qual é o melhor tempo para explicarmos determinado evento.

O método de análise aqui empregado possibilita investigar o melhor tempo de defasagem que poderá ser usado para explicar algumas das variáveis ambientais. A referida análise é importante para a área investigativa deste trabalho pois, além de ser inédito para os estudos da interação biosfera-atmosfera, a determinação do melhor tempo de defasagem para caracterizar um sistema aberto é de grande valia para o estabelecimento de modelos teóricos (CAPISTRANO, 2007). Além disso, conhecer os melhores tempos de defasagem, que possibilitam explicar as variáveis é muito importante para melhor caracterizar as variáveis estudadas no presente

trabalho.

### 3.5 TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados brutos coletados na torre micrometeorológica localizada na Floresta de Transição, foram trabalhados em uma planilha eletrônica, separados por variável, mês e ano. Sendo que cada coluna representa uma variável e estas são divididas em meses, cada linha corresponde a meia hora de tempo, onde foram registradas as médias coletadas na frequência de 10 Hz. Os dados foram acumulados no datalogger, a cada meia hora, começando as 0:00 horas até as 23:30 horas. Para esse estudo foram utilizados dados de 2002 até 2006, sendo organizada uma planilha para cada mês e organizados por ano.

Nos anos em que os dados foram obtidos, houve meses com muitas falhas, sendo que dentro da proposta de estações, quanto a quantidade e qualidade dos dados. Estas falhas são valores incoerentes com os dados obtidos em períodos muito próximos ou ainda períodos em que não houve o registro de dados.

As variáveis estudadas foram direção e velocidade do vento, fluxo de calor latente e fluxo de carbono.

O Fluxo de Calor Latente e o Fluxo de Carbono foram quantificados usando-se as técnicas micrometeorológicas de correlação de vórtice turbulento com base na torre que quantifica diretamente as trocas de massa e energia da superfície atmosférica.

Os dados do vento foram coletados através de um anemômetro sônico, sendo que os dados de direção são coletados tendo como direção zero o norte. Os dados de velocidade foram coletados com o mesmo sensor que oferece, simultaneamente, informações sobre o vento.

As falhas nos dados ocorridas, seja por falha mecânica dos sensores, seja por imprudência humana na coleta e/ou tratamento dos dados, foram ignoradas. Isso devido ao fato de ser de grande importância o número de dados da série e não o tempo de sua distribuição.

Os dados brutos foram organizados em um arquivo de tipo TXT, onde o programa gerou a correlação quando indicado o tempo de defasagem. Testamos vários tempos, em seguida simulando o gráfico com a finalidade de encontrar o melhor tempo de defasagem objetivando encontrar o primeiro mínimo do gráfico.

O programa utilizado (*minf*), que foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Física Ambiental da UFMT, gera informações partindo do número de dados da série e o tempo de defasagem desejado. Dessa forma, para uma mesma série, foram simulados vários tempos, plotando o gráfico e encontrando o melhor tempo de defasagem correspondente a cada série.

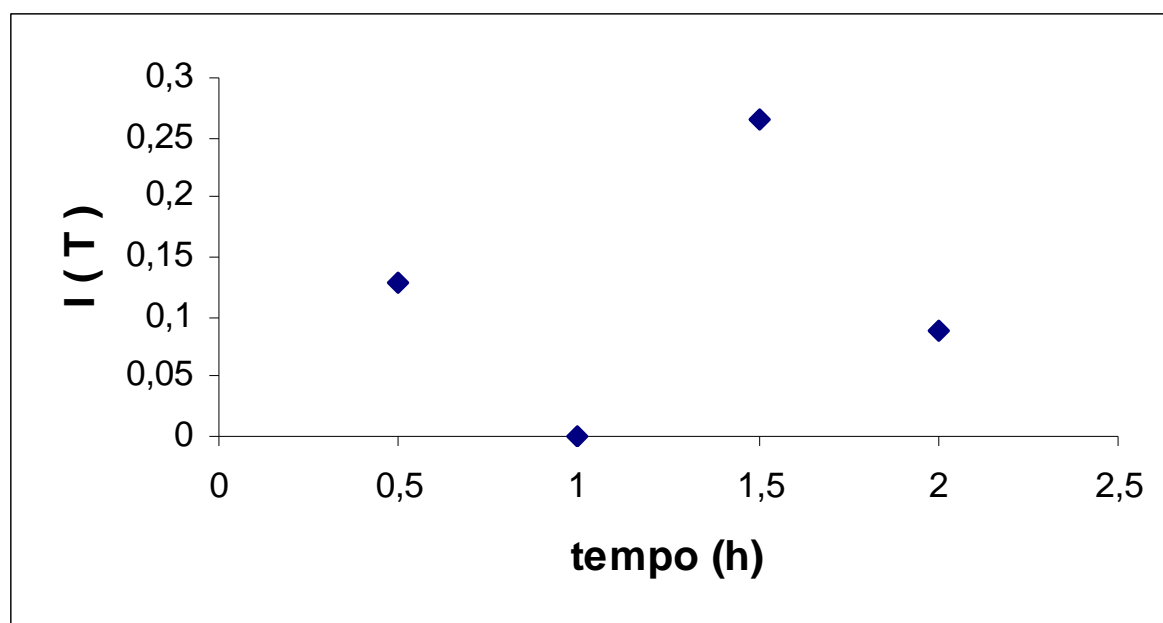
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando uma série temporal com uma única variável cada vez, Fluxo de Carbono  $CO_2(Fc)$ , Fluxo de Calor Latente (LE), Velocidade do Vento ( $w$ ) e Direção do vento (Dir), procurou-se analisar qual era a interdependência que existia entre cada uma das variáveis, percebendo assim sua relação no ecossistema e a necessidade de considerá-la como sistema complexo.

A análise dos períodos do ano e da sazonalidade em relação as variáveis analisadas, foram divididos segundo ARRUDA (2004) em período Seco, compreendido entre os meses de junho a agosto, período intermediário, compreendido entre Seco e Chuvoso, estando entre os meses de setembro e novembro, período chuvoso, compreendido entre os meses de dezembro a fevereiro e o período intermediário chuvoso e seco, compreendido entre os meses de março a maio.

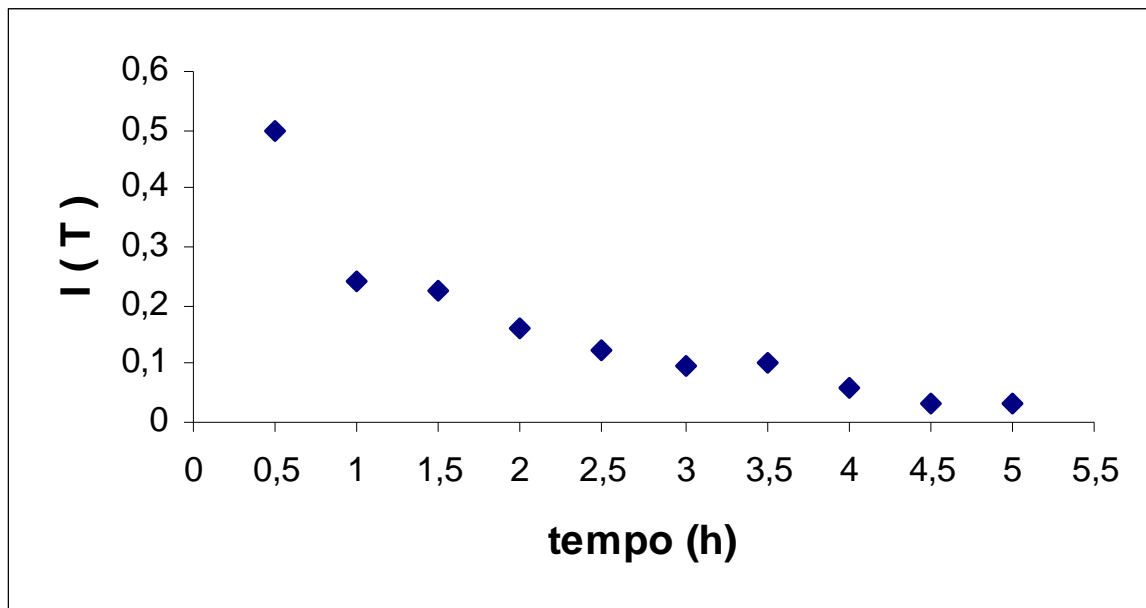
### DIREÇÃO DOS VENTOS

Fev/02 ( $\tau=1$  hora)



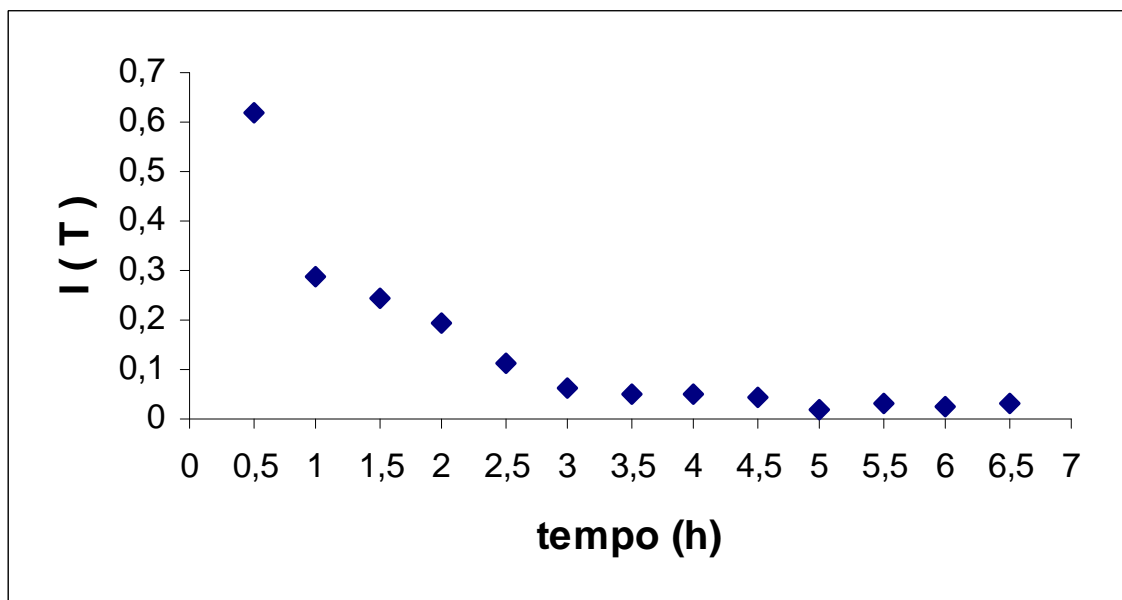
**Figura 5.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período chuvoso (Fev/02)

Jun/02 ( $\tau=3$  horas)



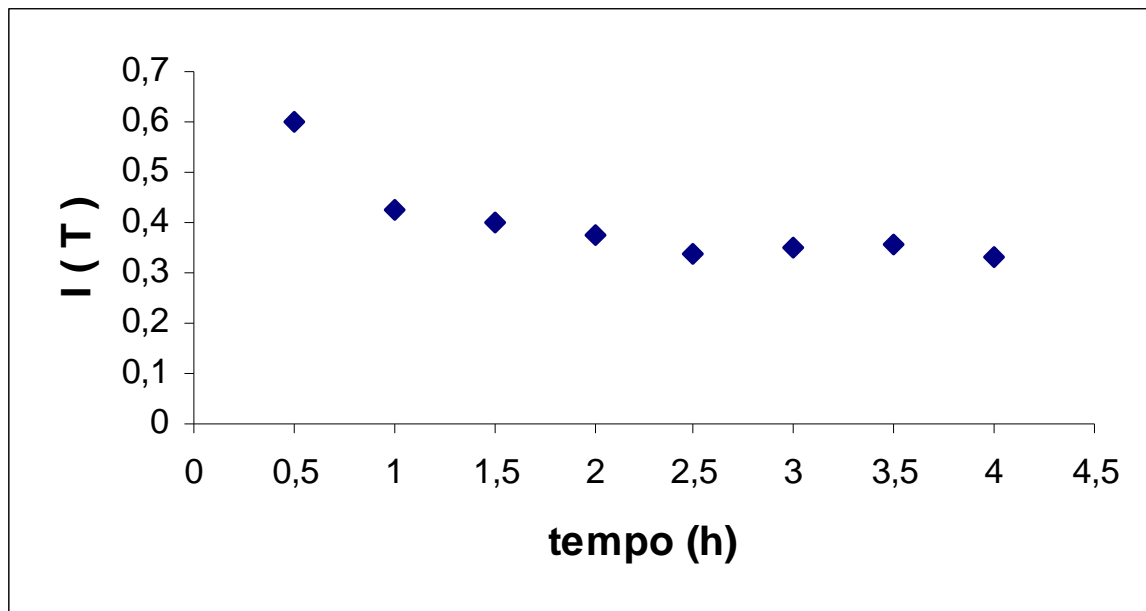
**Figura 6.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período seco (Jun/02)

Jul/02 ( $\tau=5$  horas)



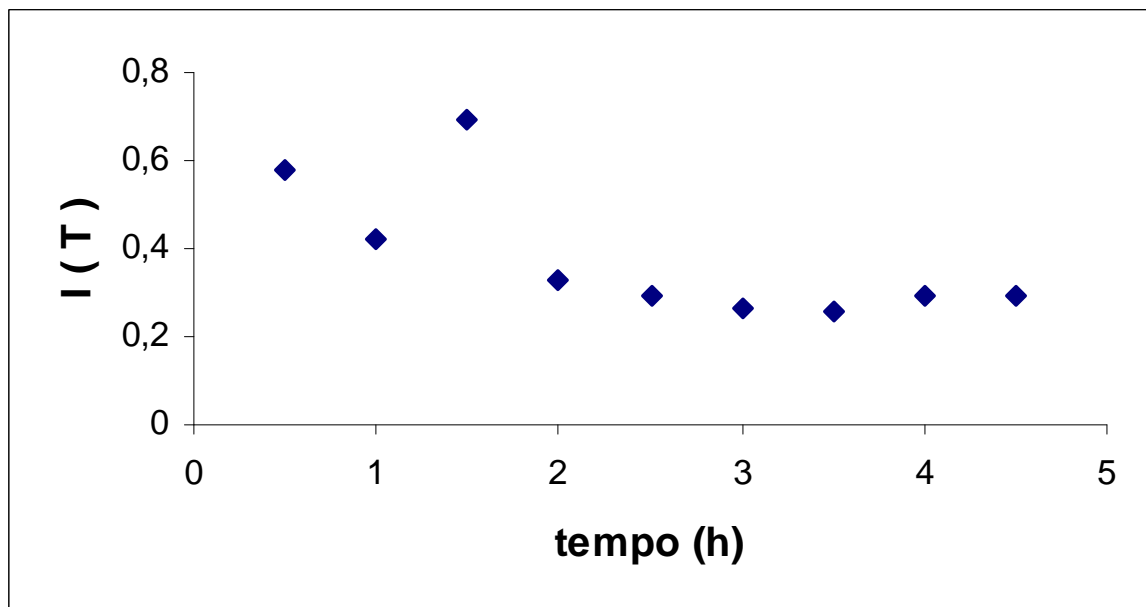
**Figura 7.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período seco (Jul/02)

Fev/03 ( $\tau=2,5$  horas)

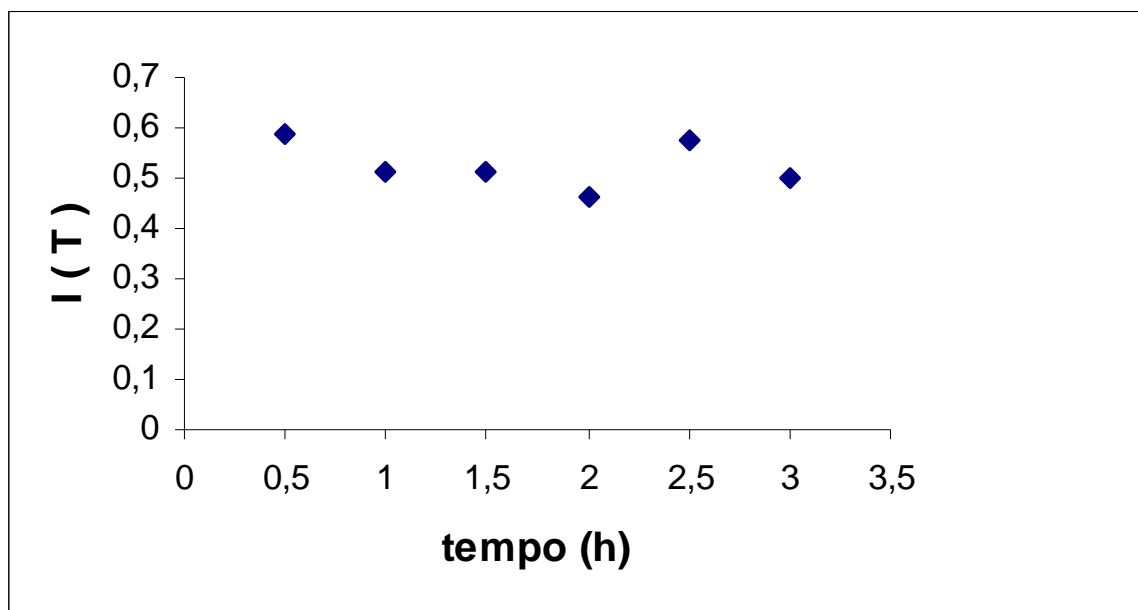


**Figura 8.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período chuvoso (fev/03)

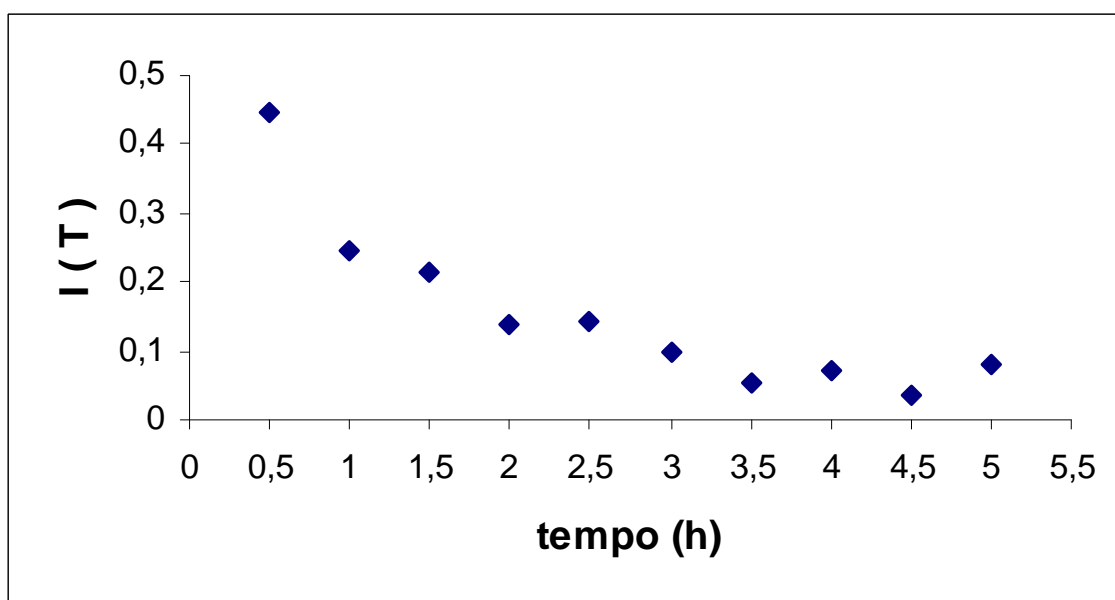
Jul/05 ( $\tau=1$  hora)



**Figura 9.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período seco (Jul/05)

Jan/06 ( $\tau=2$  horas)

**Figura 10.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período chuvoso (Jan/06)

Fev/06 ( $\tau=2$  horas)

**Figura 11.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a direção dos ventos no período chuvoso (Fev/06)

#### 4.1 RESULTADO SOBRE A DIREÇÃO DO VENTO

Quando analisamos a relação ocorrida na direção dos ventos percebemos que nos meses chuvosos fev/02, fev/03, jan/02 e o valor máximo de 2,5 horas e o valor mínimo de 1 hora. Podemos, dessa forma, dizer que quando, preferencialmente, analisamos os dados com um tempo de defasagem igual a 2 horas conseguiremos a melhor análise.

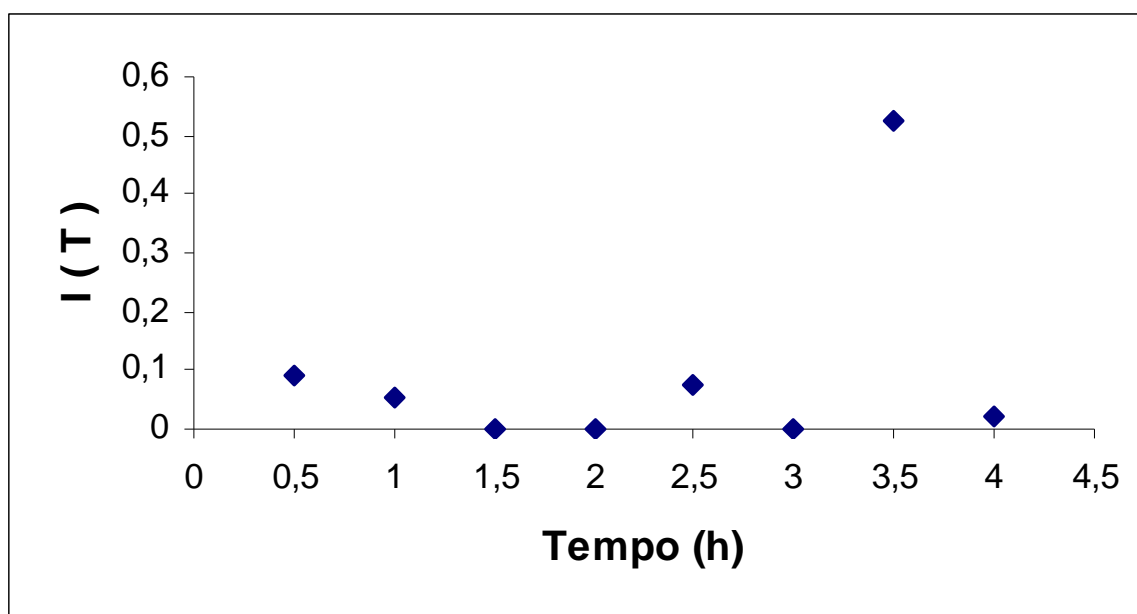
Dizer que obtivemos a melhor análise significa dizer que quando desse tempo, para esse conjunto de dados, termos a explicação mais completa do fenômeno natural envolvido.

Quando analisarmos o período seco jun/02, jul/02 e jul/05, obtivemos um tempo de defasagem médio de 3 horas, sendo que o valor máximo corresponde a 5 horas e o valor mínimo a 1 hora.

Podemos concluir que na estação chuvosa a tempo de defasagem ideal é menor que na estação seca. Isso pode ocorrer devido a maior instabilidade de ventos que percebe-se durante a seca da região. Outro motivo pode ter se dado devido a dificuldade de coleta dos dados podendo dessa forma ter prejudicado os resultados finais.

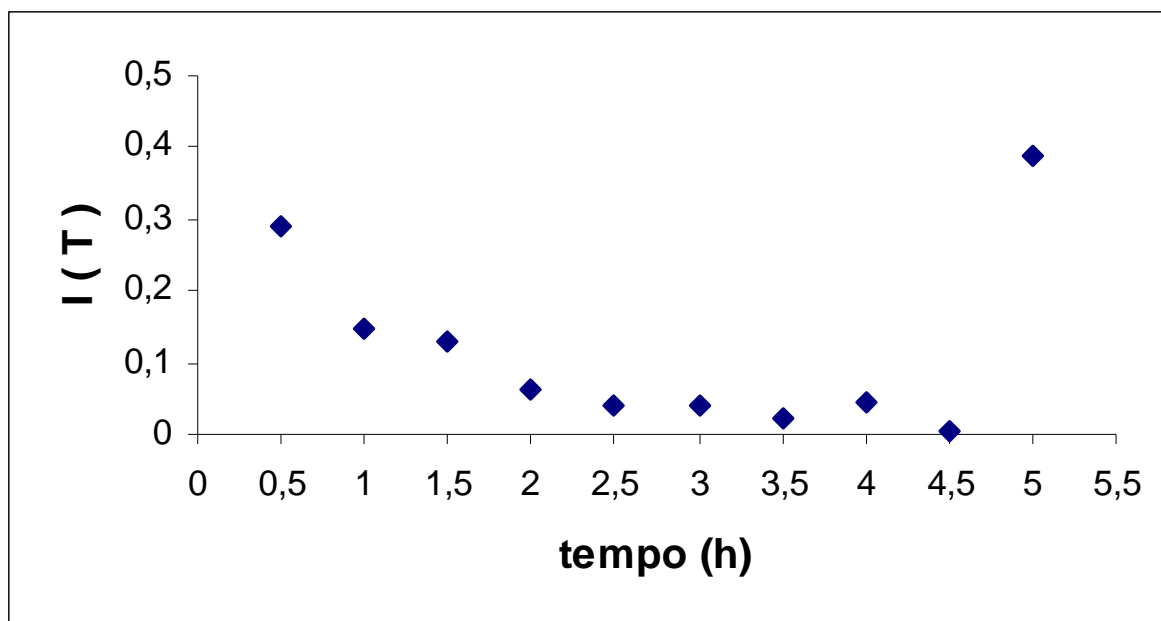
#### VELOCIDADE DO VENTO

Fev/01 ( $\tau=1,5$  horas)



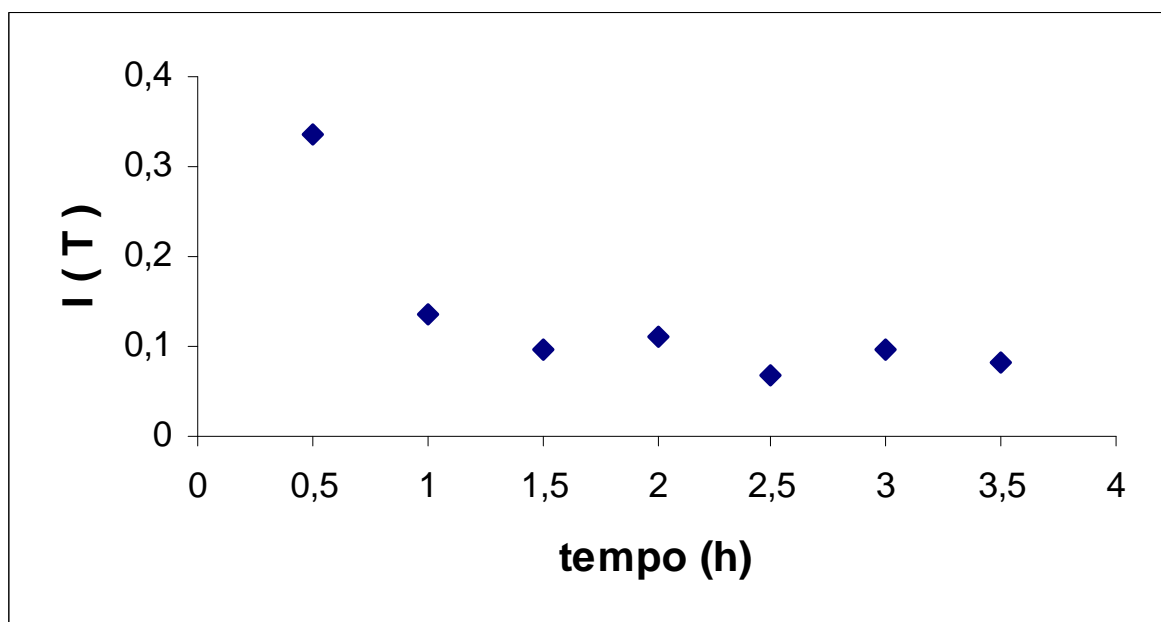
**Figura 12.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período chuvoso (Fev/01)

Jun/02 ( $\tau=3,5$  horas)



**Figura 13.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período seco (Jun/02)

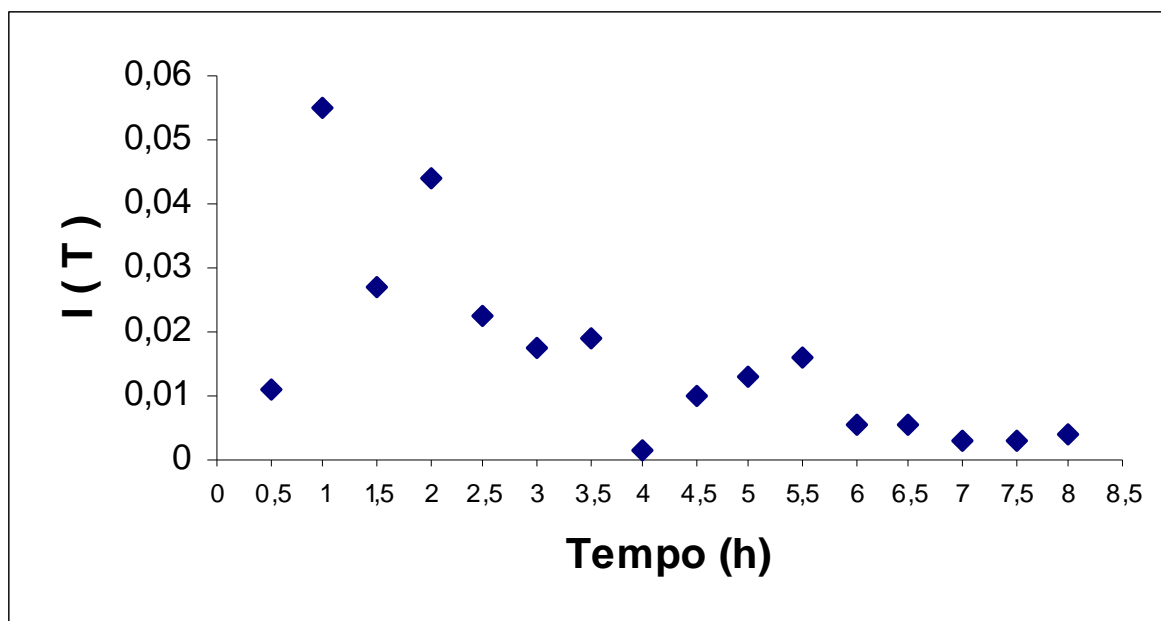
Jul/02 ( $\tau=1,5$  horas)



**Figura 14.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período seco (Jul/02)

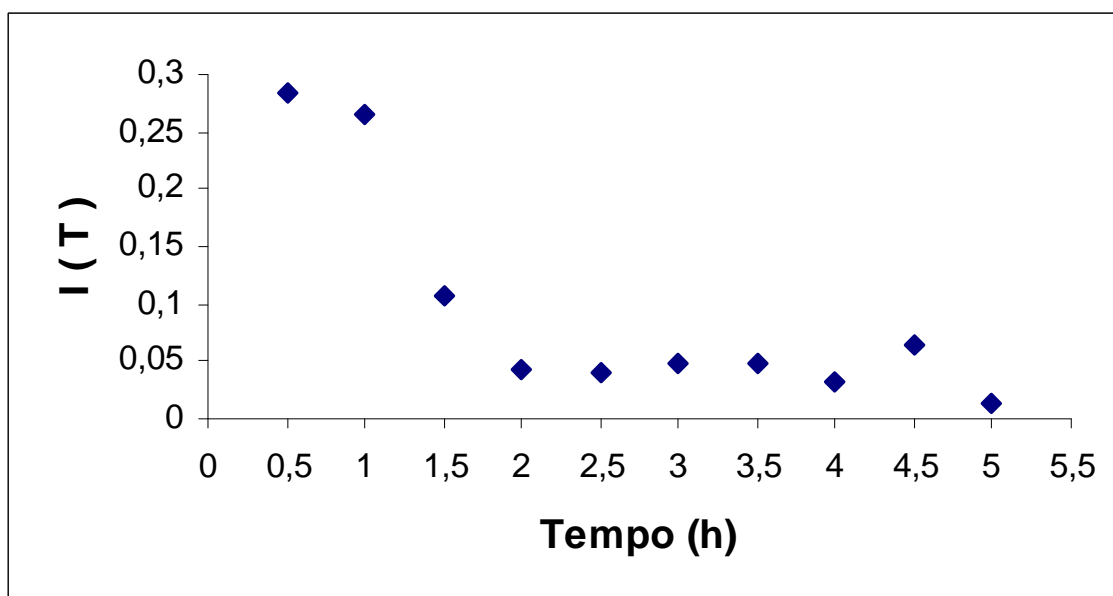


Fev/03 ( $\tau=3$  horas)



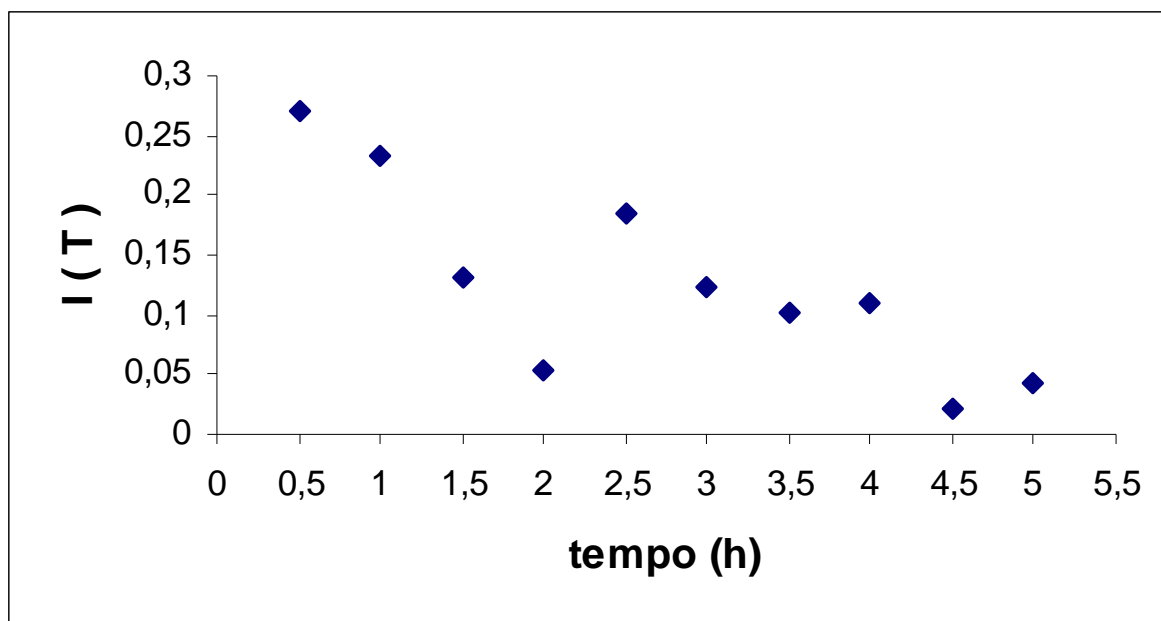
**Figura 15.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período chuvoso (Fev/03)

Jul/05 ( $\tau=2,5$  horas)



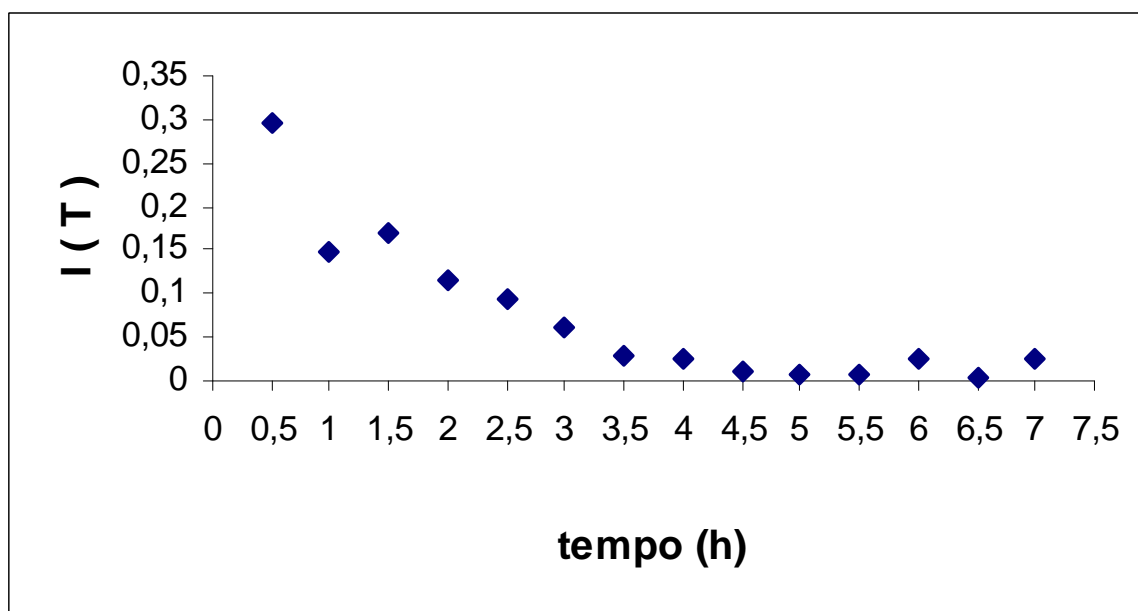
**Figura 16.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período seco (Jul/05)

Jan/06 ( $\tau=2$  horas)



**Figura 17.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período chuvoso (Jan/05)

Fev/06 ( $\tau=5$  horas)



**Figura 18.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para a velocidade dos ventos no período chuvoso (Fev/06)

## 4.2 RESULTADO SOBRE A VELOCIDADE DO VENTO

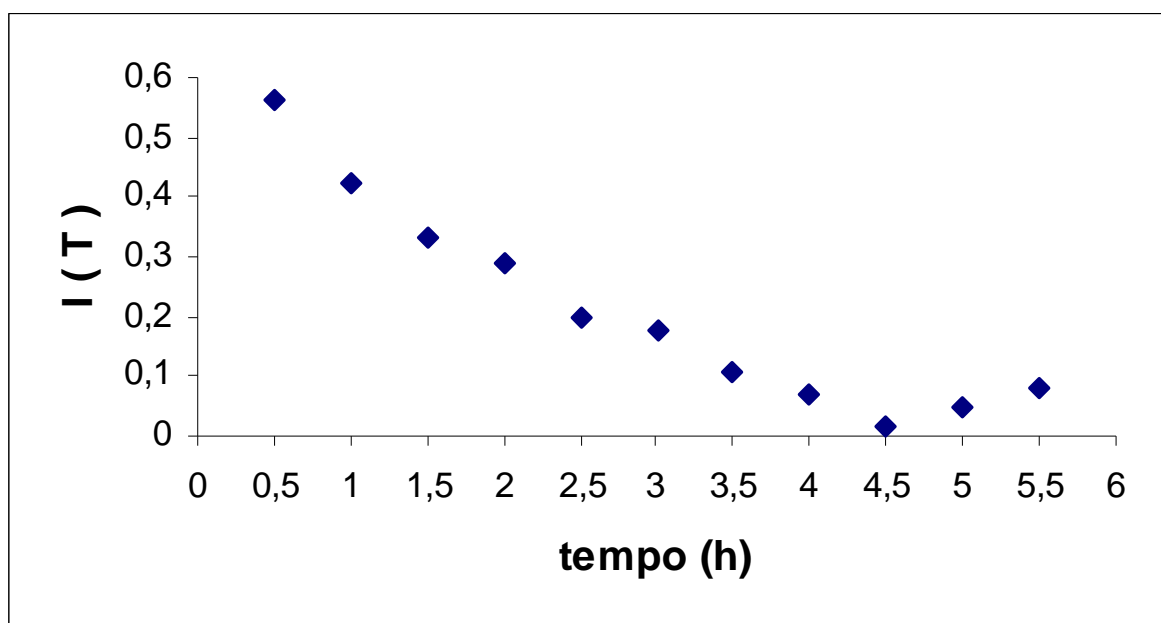
Observando os resultados obtidos através do teste de informações mútuas para os dados de velocidade do vento verificamos que obtivemos no mês de fevereiro o menor tempo de defasagem, e no mês de junho o maior tempo de defasagem. Verificamos que os valores encontrados para os tempos sofreram uma variação entre 1,5 horas e 5 horas.

Verificamos ainda que as séries de dados referentes à direção do vento tem um número significativo de falhas na coleta. Essas falhas que ao trabalhar com os dados foram ignoradas podem ter influenciado nos resultados obtidos.

Podemos dizer que em média, a variável direção dos ventos os períodos chuvosos, possui, um tempo de defasagem ideal maior que o período da estação de seca.

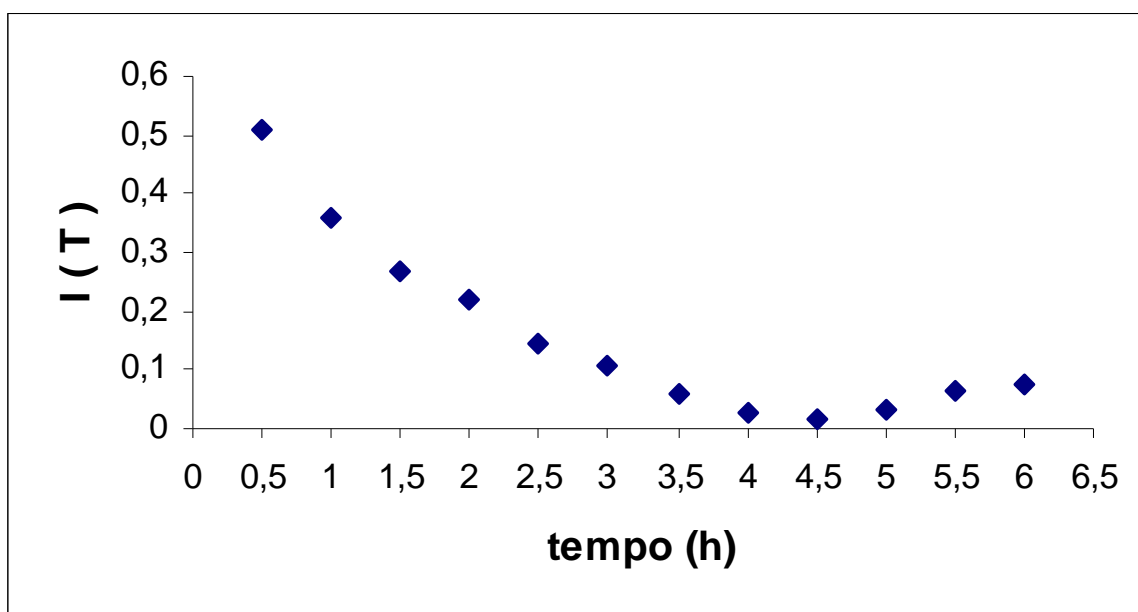
### PLANILHA FLUXO DE CALOR LATENTE (LE)

Fev/01 ( $\tau=4,5$  horas)



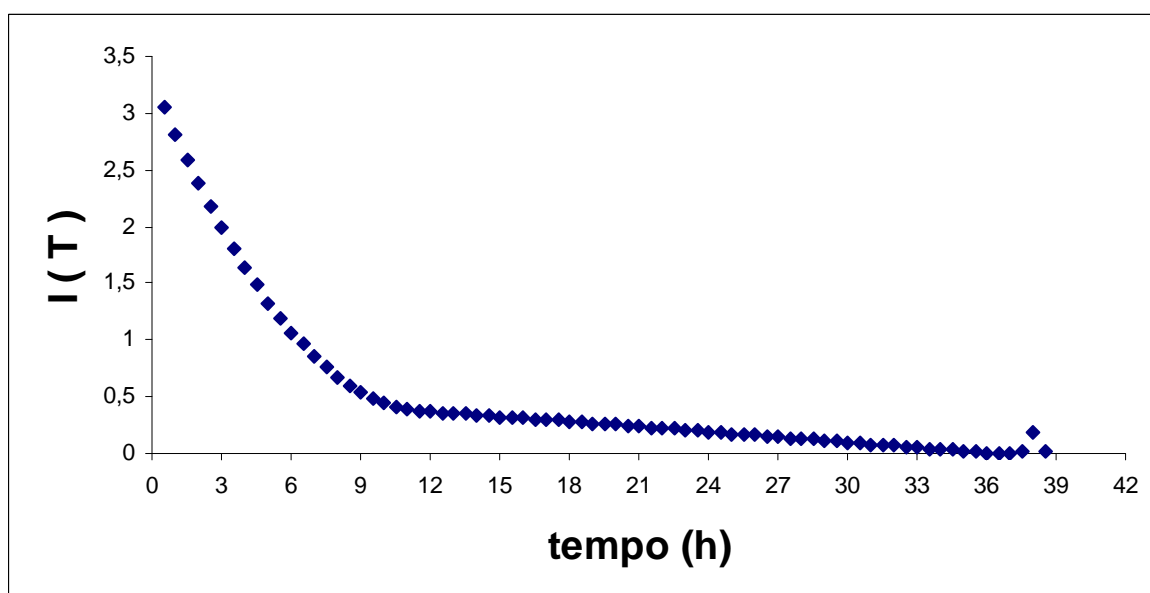
**Figura 19.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período chuvoso (Fev/01)

Jun/02 ( $\tau=4,5$  horas)



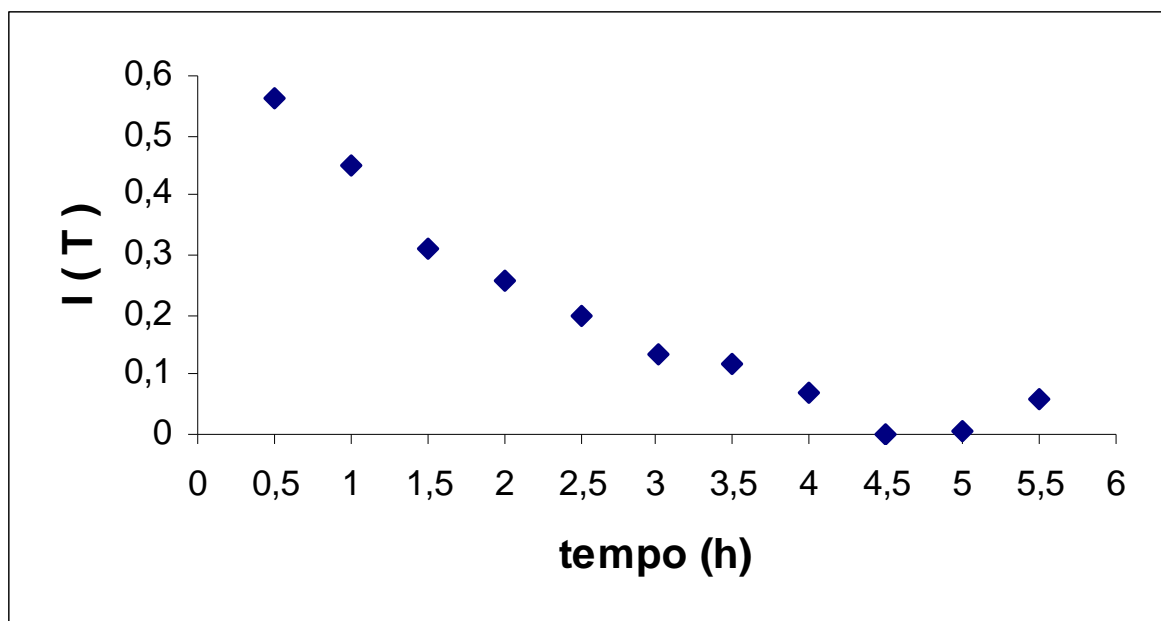
**Figura 20.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período seco (Jun/02)

Jul/02 ( $\tau=37$  horas)



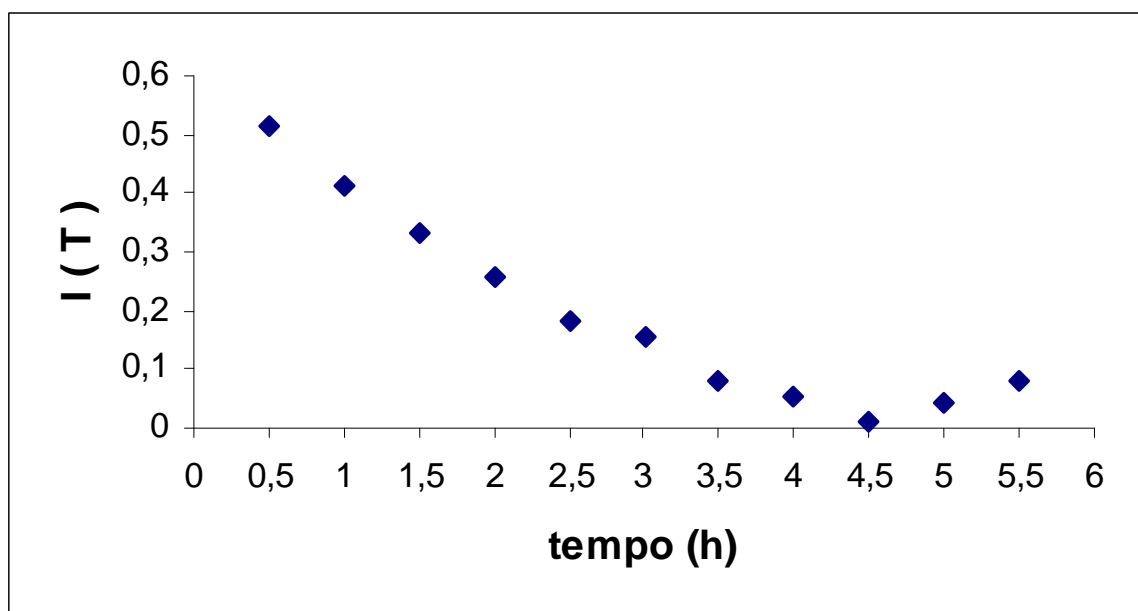
**Figura 21.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período seco (Jul/02)

Fev/03 ( $\tau=4,5$  horas)

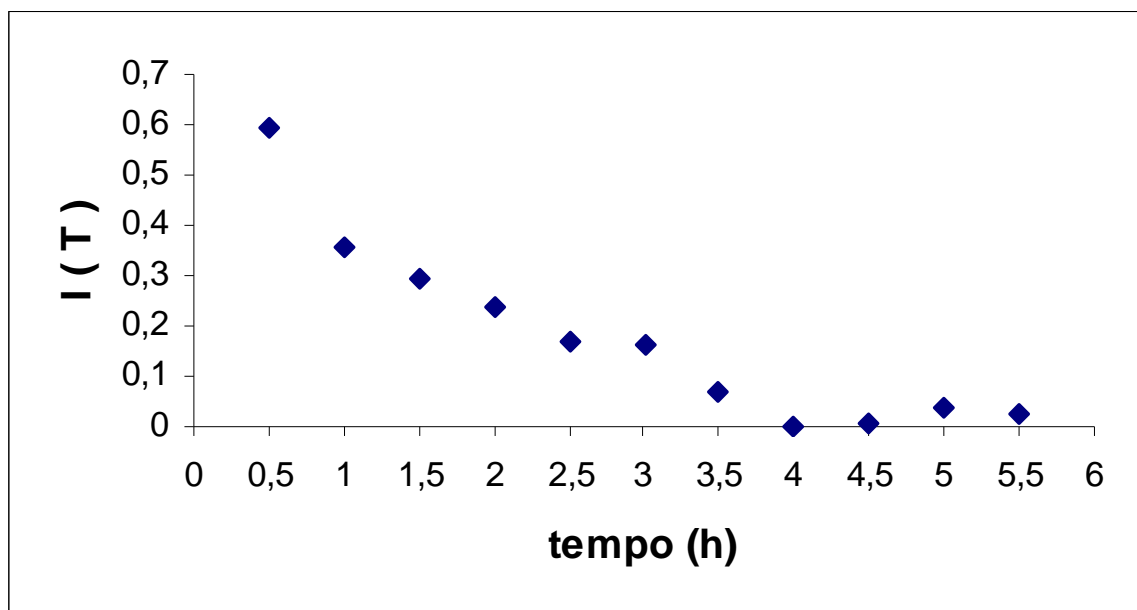


**Figura 22.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período chuvoso (Fev/03)

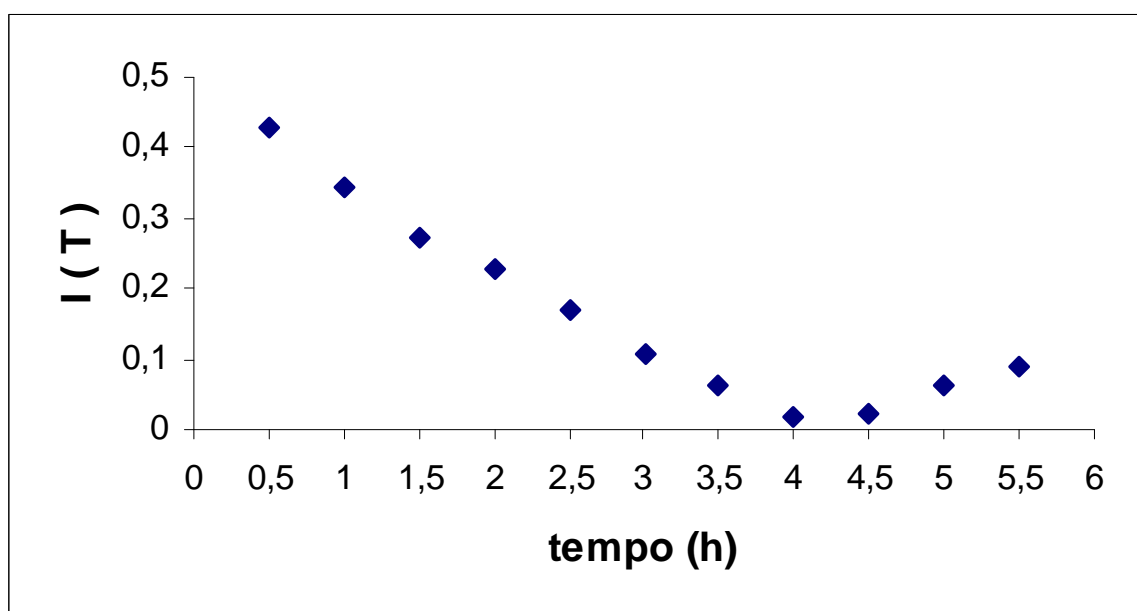
Jul/05 ( $\tau=4,5$  horas)



**Figura 23.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período seco (Jul/05)

Jan/06 ( $\tau=4$  horas)

**Figura 24.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período chuvoso (Jan/06)

Fev/06 ( $\tau=4$  horas)

**Figura 25.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de calor latente no período chuvoso (Fev/06)

### 4.3 RESULTADO SOBRE FLUXO DE CALOR LATENTE

Os resultados obtidos em relação ao fluxo de calor latente são praticamente constantes. Tendo como o melhor tempo de defasagem um valor aproximado de 5 horas, não havendo diferenciação entre a estação chuvosa e a estação seca.

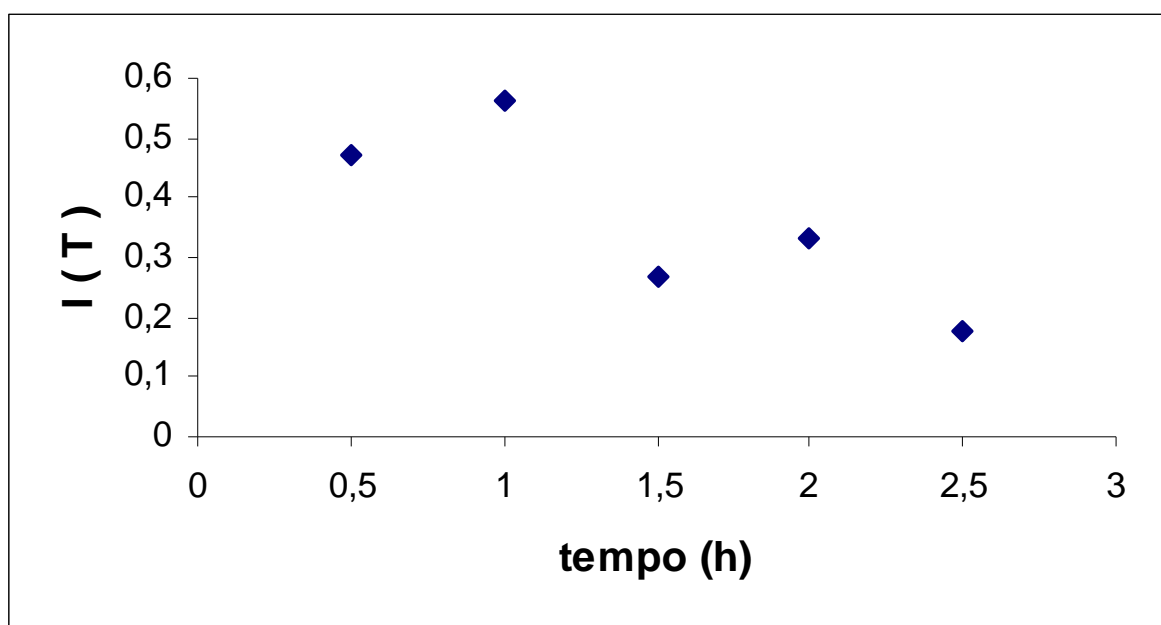
Em relação ao mês de julho do ano de 2002, obtivemos um valor que, comparando com os demais valores de pesquisa, pode ser considerado absurdo. Ao analisarmos a série de dados percebemos que houve falhas na coleta, provavelmente problemas com os sensores responsáveis pela coleta.

Percebemos então que esta variável pode ser considerada como comportada, tendo em vista que não houve grandes diferenciações entre os meses, bem como entre as horas dos diferentes dias analisados.

Dessa forma percebemos que para as séries de dados referentes ao calor latente, obtivemos informações mutuas muito semelhantes nos meses, sendo que apenas um mês se diferenciou dos demais. Por obtermos valores muito próximos consideramos satisfatória essa análise e percebemos que o tempo de defasagem pode ser constante para todas as épocas do ano.

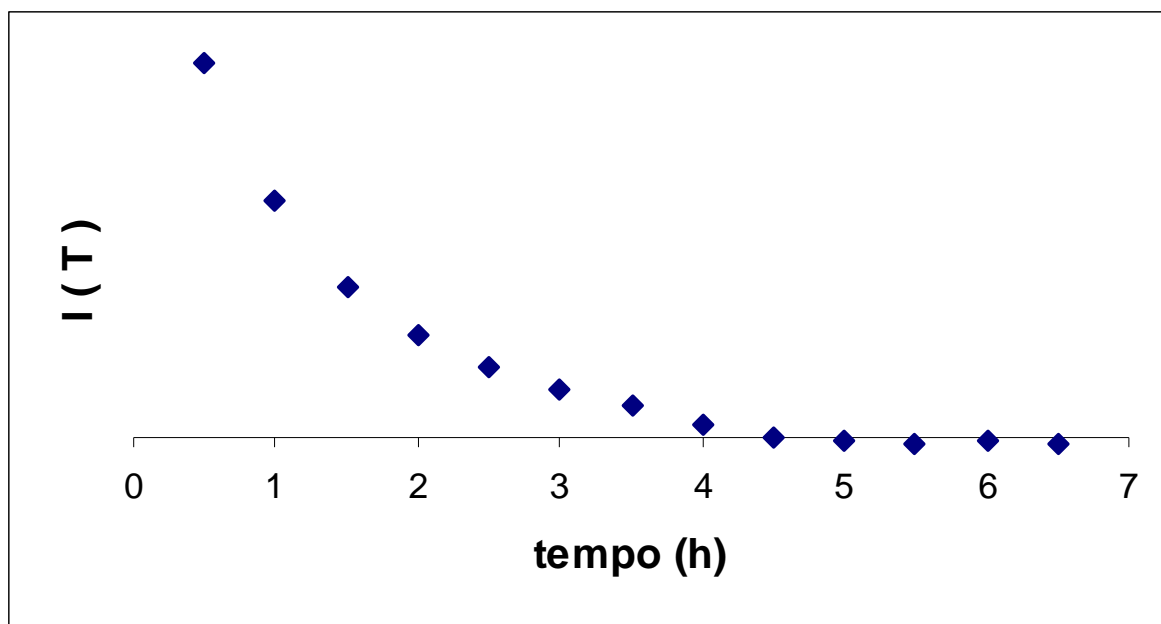
#### PLANILHAS FLUXO DE CARBONO (CH)

Fev/01 ( $\tau=1,5$  horas)



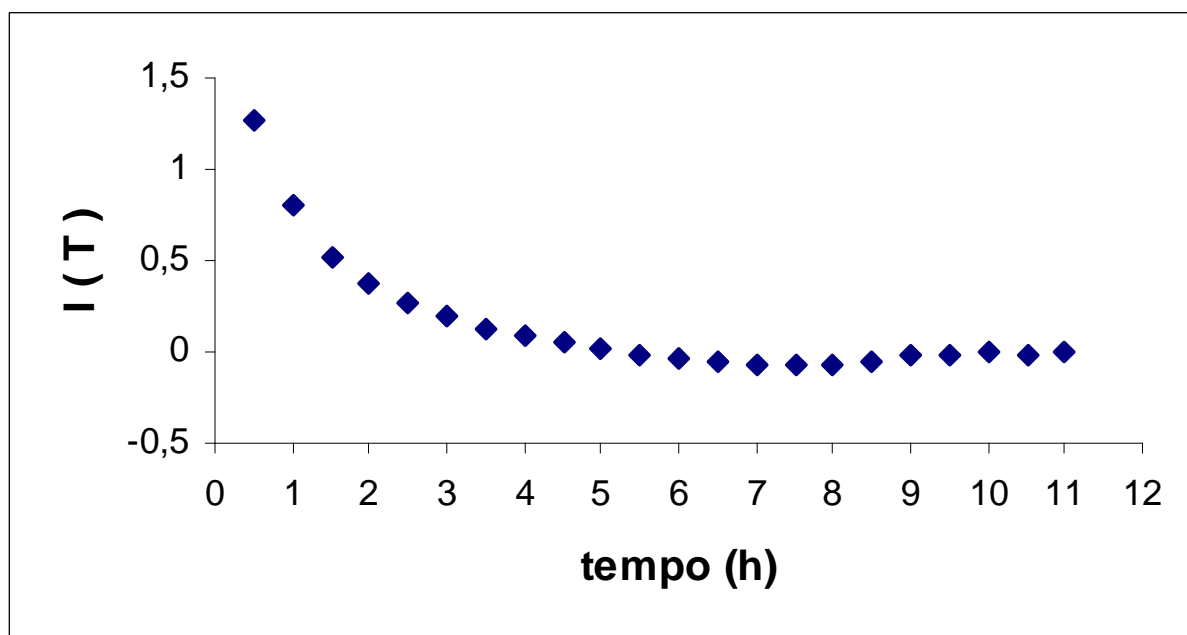
**Figura 26.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período chuvoso (Fev/01)

Jun/02 ( $\tau=5,5$  horas)



**Figura 27.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período seco (Jun/02)

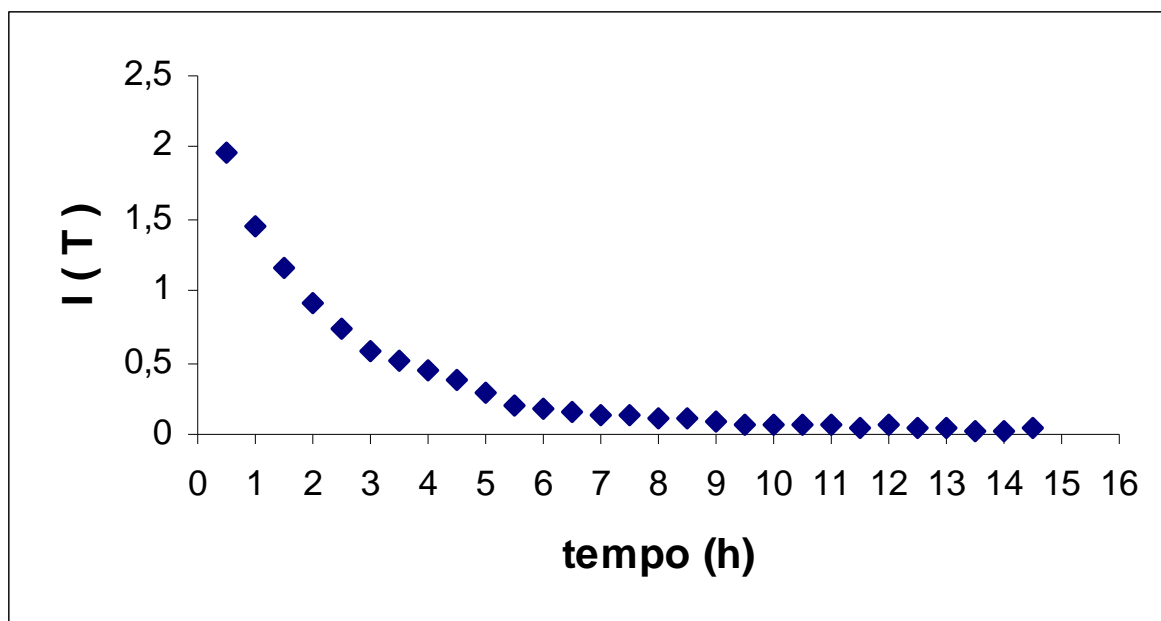
Jul/02 ( $\tau=7,5$  horas)



**Figura 28.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período seco (Jul/02)

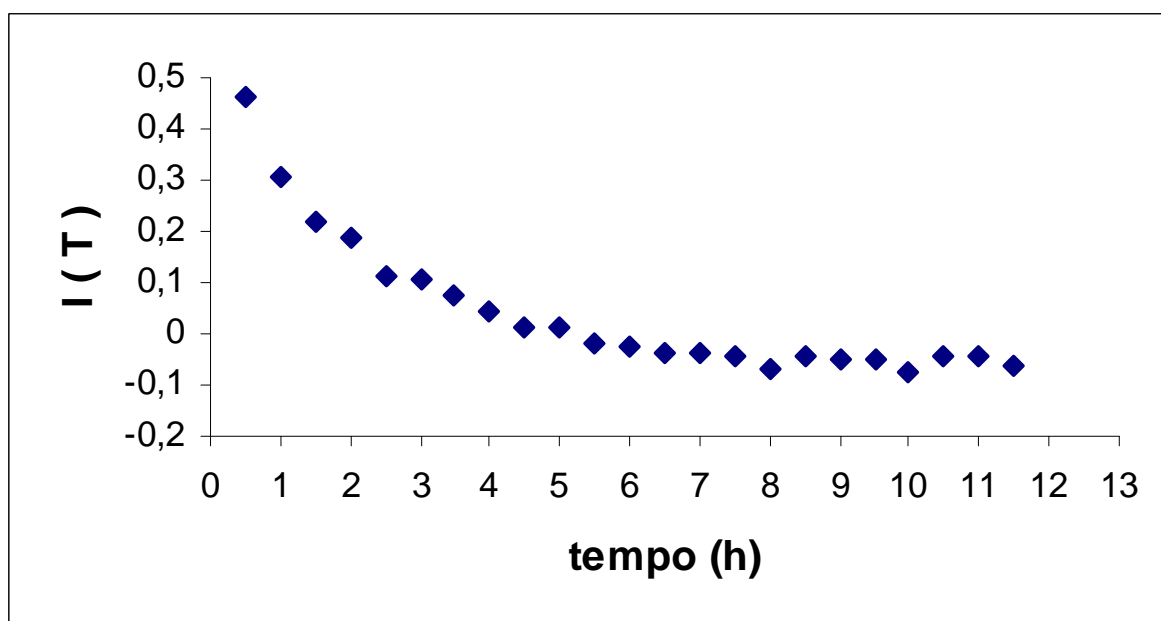


Fev/03 ( $\tau=13,5$  horas)



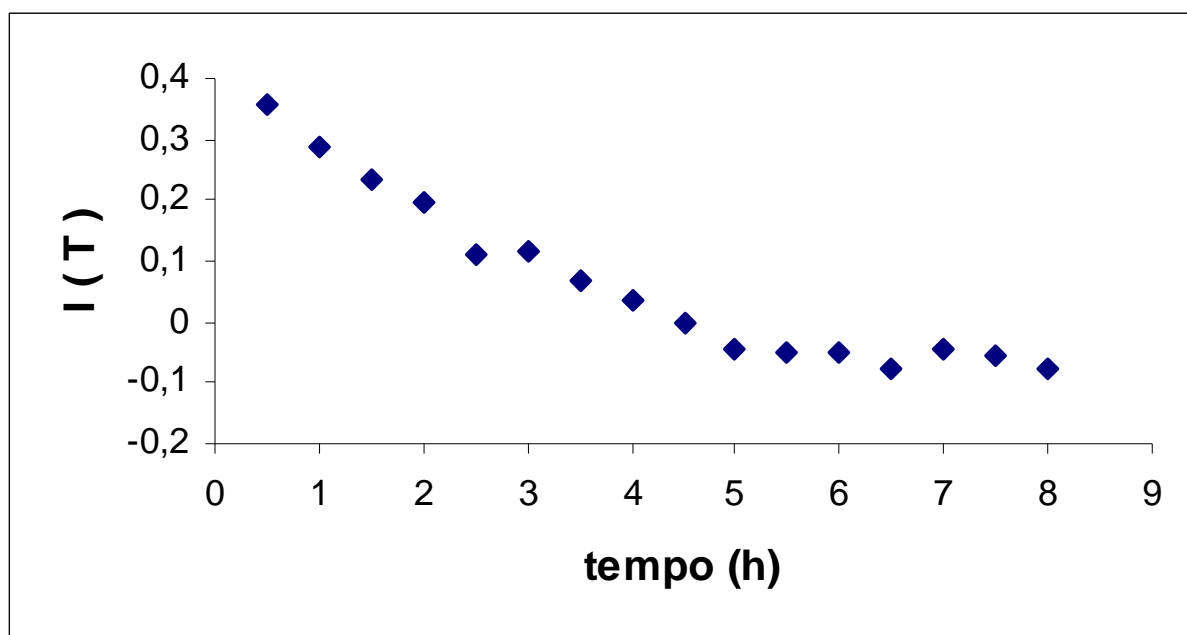
**Figura 29.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período chuvoso (Fev/03)

Jul/05 ( $\tau=8$  horas)



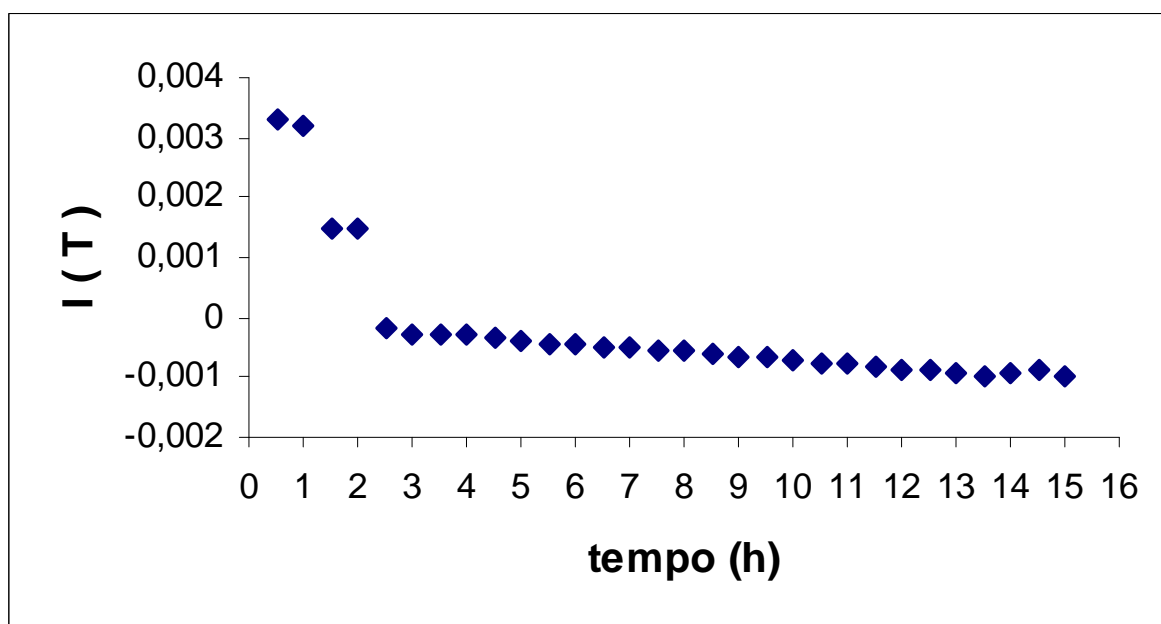
**Figura 30.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período seco (Jul/05)

Jan/06 ( $\tau=6,5$  horas)



**Figura 31.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período chuvoso (Jan/06)

Fev/06 ( $\tau=13,5$  horas)



**Figura 32.** Coeficiente de correlação de informação em função do tempo de defasagem para o fluxo de carbono no período chuvoso (Fev/06)

#### 4.4 RESULTADO SOBRE FLUXO DE CARBONO

Ao analisarmos as séries de dados referentes ao fluxo de carbono, consideramos uma série comportada, apesar de alguns valores aparentemente não satisfazerem as interrogações das pesquisas. Consideramos o tempo de defasagem dessa série de aproximadamente 5 horas com algumas variações.

Em relação ao mês de fevereiro de 2001, temos uma série com poucos dados, o que prejudicou a análise dos resultados. Um mês atípico quanto a quantidade de dados, este fator limitou a pesquisa e o resultado apresenta-se fora do padrão dos demais meses. Para o mês de junho de 2002, tivemos uma série com dados bastante uniformes, o que refletiu nos resultados, apresentando valores bastante condizentes com os demais valores da pesquisa, da mesma forma ocorreu para o mês de julho de 2002, porém, neste mês obtivemos alguns valores negativos.

Ao analisarmos o mês de fevereiro de 2003, percebermos um comportamento muito parecido ao gráfico padrão do modelo, até aproximadamente o tempo de defasagem de 5 horas, em seguida, verificamos uma curva tendendo ao infinito. Quanto aos meses de julho de 2005 e janeiro de 2006, os valores obtidos estão muito próximos a 5 horas, condizendo com os demais valores obtidos. O mês de fevereiro de 2006, apresentou sérios problemas na análise dos dados, bem como nos resultados obtidos, o que nos leva a desconsiderar esse mês como parte integrante da análise dos dados.

Percebemos, dessa forma, que os dados referentes ao fluxo de carbono indicam um tempo de defasagem considerado de aproximadamente 5 horas como sendo o tempo ideal para essa variável, quando analisado nesse ambiente de floresta tropical de transição.

## 5 CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados obtidos para o melhor tempo de defasagem para as séries de dados: velocidade do vento, direção do vento, fluxo de calor latente e fluxo de carbono, concluiu-se que o tempo de defasagem mais adequado é de aproximadamente 5 horas, que é coerente com a maioria das séries estudadas.

Percebemos ainda que nas séries referentes ao fluxo de carbono e ao fluxo de calor latente os valores apresentam-se mais uniformes, enquanto que para os valores obtidos nas séries de dados da velocidade do vento e direção do vento os valores apresentam-se não tão claramente. Isso pode se dar devido à grande complexidade que se percebe desses fatores no ambiente de uma floresta.

Em particular, os dados sobre a direção e velocidade do vento não levam necessariamente a um tempo de defasagem de 5 horas. Contudo, esse tempo é compatível até mesmo com essas variáveis, uma vez que esse valor corresponde a um baixo valor do coeficiente de informação mútua em praticamente todos os períodos analisados.

Conclui-se ainda que a análise do tempo de defasagem não depende significativamente da estação do ano a que referem os dados, sendo que, nos estudos realizados, não houve diferenciação entre os resultados obtidos em séries coletadas na estação chuvosa ou na estação seca. Verificamos na pesquisa que em relação ao tempo de defasagem não existe diferenciação entre as estações.

Assim, a conclusão definitiva deste trabalho é que a utilização de um tempo de defasagem de 5 horas pode ser adotada em quaisquer que sejam as análises de séries temporais para a estimativa da dimensionalidade dos processos envolvidos na interação atmosfera-biosfera, na floresta de transição de Sinop, independentemente de qual variável estiver sendo estudada e, também, de que época do ano os dados se referem.

## 6 BIBLIOGRAFIAS

### 6.1 BIBLIOGRAFIA CITADAS

ABARBANEL, H. D. I; BROW, R.; SIDOROWICH, J. J.; TSIMRING, L. Sh. The Analysis of Observed Chaotic Data in Physical Systems. **Review of Modern Physics**. Vol. 65, n. 4, p.1343-1347. 1993

ARRUDA, J. C. Balanço de energia eu uma área de floresta tropical de transição na região de Sinop em Mato Grosso, entre agosto de 1999 a maio de 2003. 75p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2004.

AYOADE, J.O. Introdução a climatologia para os trópicos. 8<sup>a</sup>ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2002, 332 p. (Trad. Maria Juraci Zani dos Santos).

BARBOSA, R. I. & FEARNSTIDE P. M. Incêndios na Amazônia Brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento “El Nino”(1997/98). **ACTA Amazônica**, Manaus, RO, v.4, n.2, p.35-43, ago. 1999.

BASTOS, T. X. Sistema de Produção da Pimenteira-do-reino. Sistemas de Produção, EMBRAPA. Versão Eletrônica Dez./2005.

CAPISTRANO, V. B. Análise de séries temporais de variáveis microclimatológicas medidas em Sinop Mato Grosso utilizando a Teoria da Complexidade. 47p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

EISBERG,R. e R.RESNICK: **Física Quântica**. Rio de Janeiro: Campus Ltda, 1986.

ECKMANN, J.P. and RUELLE, D. Ergodic theory of chaos and strange attractors. **Review of Modern Physics**, 57, 3, p.617-656, 1985.

IBGE, 2000. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/ibgteem/mapas/home.html>> Acesso em 24 jun. 2007.

KANEMASU, E. T., WESELY, M. L., HICKS, B. B. e HEILMA, J. L. **Techniques for calculating energy and mass fluxes** p. 156-182.1979. In: VERMA, S.B. Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of mass and energy. **Remote Sensing Reviews**, Vol. 5, p.99-115.1990.

MOLION, L. C. B. A climatology study of the energy and moisture of the Amazonas basin with considerations to the deforestation effect. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INEP**, São José dos Campos, SP, 140p.1076.

NICOLIS, G. and PRIGOGINE, I. Exploring complexity. New York: W.H.Freeman and Company , 313p.1989.

OLIVEIRA, J. A. P. Command Control versus Economic Meechanisms: What is the evidence for efficiency and effectiveness in environmental management? **International Journal of Environmental Creation**, p.27-33, 2001.

SARIEGO, J. C. Educação Ambiental: As ameaças do Planeta Azul. 1ed., Ed. Scipione, 1994.

SOTTA, E.D. Fluxo de CO<sub>2</sub> entre solo e atmosfera em floresta tropical úmida da Amazônia central, **Instituto de Pesquisas da Amazônia (INPA)**, dissertação de mestrado, 150p., 1998.

VIANELLO, R. L. & ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1991. 448 p.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; CAMPELO JR., J. H. Seasonal variations in evapotranspiration of a transitional tropical Forest of Mato Grosso, Brazil. **Water Resources Research**, Vol. 38, nº 6, p. 30-1 - 30-11. 2002.

## 6.2 BIBLIOGRAFIA CONSULTADAS

FISHER, R. A. **Statistical methods for research workers**, 8<sup>th</sup> ed., Oliver and Boyd, 1941, 35 p.

FRANCELIN, M. M. A epistemologia da complexidade e a ciência da informação. **Information Science**, Brasília, DF, v.32, n.2, p.64-68, mai. 2003.

GALLON, M. M. P. Um estudo sobre a dinâmica de sistemas complexos a partir de séries temporais de dados microclimatológicos para uma floresta de transição no Noroeste do Mato Grosso. 115p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2004.

GALVANI, E. et al. Caracterização da direção predominante do vento em Maringá, PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.81-90, 1999.

MARTINS, D. O comportamento dos ventos na região de Botucatu – SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XXV, 1993. Ithéus, BA. **Anais...** Ithéus: SBEA – CEPLAC, 1993a . v. 2, 1413p. p. 815-825.

MOREIRA, A. A. & SCHARRER, H. Estudo das condições do vento de Alagoinhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, V, 1988. Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia?UFRJ, 1988. 306p. IV. 42, II.34-II.38.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**: Secretaria de Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia. 1961. 42p.

MORIN Edgar. **Revista Eletrônica do curso de Direito da UFSM**, Santa Maria, RS, v.1, n.2, p.65-81, jul. 2006.

LATORRE, M. R. D. O.; CARDOSO, M. R. A. Análise de séries temporais em epidemiologia: uma introdução sobre aspectos metodológicos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, vol 4 N 3, 2001.

MONTEITH, J. L. **Principles of Environmental Physics**. London: 1ª ed. Edward Arnold, 241p. 1973.

NOBRE, C. A. Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Parcerias Estratégicas**, nº 12. p. 239-258. 2001.

OLIVEIRA, M. A. & FAVERO, L. P. L. Uma breve descrição de algumas técnicas para análise de séries temporais: séries de Fourier, Wavelets, Arimo, modelos estruturais para series de tempo e redes neurais. **VI SEMEAD**,

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. 1 ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1981. 440p.

SERRA, A.; RASTIBONA, L. 1942. As massa de ar da América do Sul. Ministério da Agricultura, Serviço de Meteorologia. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 32p.

SILVA, J.B.; ZANUSSO, J.F.; SILVEIRA, D.L.M. Estudo da velocidade e direção dos ventos em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n. 2, p.227-235, 1997.

SOUZA, G. M. & BUCKERIDGE, M. S. Sistemas complexos: novas formas de ver a Botânica. **Revista Brasil**, São Paulo, SP, v.27, n.3, p.407-419, jul. 2004.

ZANELLA, G. G.; NETO, D. L. M.; ARAUJO, L. E. B. Reparação extrapatrimonial dos danos ambientais à luz da Teoria da Complexidade de