

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

**ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE  
DECOMPOSIÇÃO DA SERRAPILHEIRA EM UMA  
FLORESTA DE TRANSIÇÃO EM SINOP-MT**

**SEGUNDO DURVAL PEREIRA REZENDE**

**Dr. FRANCISCO DE ALMEIDA LOBO  
ORIENTADOR**

Cuiabá, MT, abril de 2009

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

**ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE  
DECOMPOSIÇÃO DA SERRAPILHEIRA EM UMA  
FLORESTA DE TRANSIÇÃO EM SINOP-MT**

**SEGUNDO DURVAL PEREIRA REZENDE**

*Dissertação Apresentada ao Programa de  
Pós Graduação em Física Ambiental da  
Universidade Federal de Mato Grosso,  
como parte dos requisitos para obtenção  
do título de mestre em Física Ambiental.*

**Dr. FRANCISCO DE ALMEIDA LOBO  
ORIENTADOR**

Cuiabá, MT, abril de 2009



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

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE DECOMPOSIÇÃO DA  
SERRAPILHEIRA EM UMA FLORESTA DE TRANSIÇÃO EM SINOP-MT**

**AUTOR: SEGUNDO DURVAL PEREIRA REZENDE**

Dissertação defendida e aprovada em 17 de março de 2009, pela comissão julgadora:

---

Dr. FRANCISCO DE ALMEIDA LOBO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT - FAMEV

---

Dr. CARLO RALPH DE MUSIS  
UNIVERSIDADE DE CUIABÁ - UNIC

---

Dra. WALCYLENE LACERDA MATOS PEREIRA SCARAMUZZA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT - FAMEV

## DEDICATÓRIA

*Dedico esta dissertação ao meu pai Durval Pereira Rezende (In Memoriam), por ter sido a maior fonte de inspiração e sucesso que um filho pudesse ter. Pai eu te amo e muita paz onde o senhor estiver.*

## AGRADECIMENTOS

- A Deus, pela oportunidade de estar nesse planeta maravilhoso e poder trabalhar com a natureza. Ao espiritismo, pela ajuda, força e sustento em toda a minha vida.
- Desejo expressar meus sinceros agradecimentos a uma pessoa que contribuiu muito para o meu processo de pós-graduação, o meu tio Dr. Djalma de Rezende, pelo apoio e exemplo de perseverança.
- À minha mãe Maria Margarida da Silva Rezende, aos meus irmãos Húlio Franklin da Silva Rezende e Vanessa Amada Pereira Rezende, que mesmo sem perceberem, me davam apoio e força para trabalhar.
- A toda minha família, que apesar da ausência física, estavam sempre em sintonia comigo.
- Aos meus filhos André Luiz Cícero de Sá Rezende e ao Rafael de Freitas Rezende (Bem vindo ao planeta Terra meu filhote!).
- À minha grande companheira Rosinéia Miranda de Freitas.
- Em especial, ao Prof. Dr. Francisco de Almeida Lobo pela orientação e ajuda na realização dos estudos, trabalhos e pelos conselhos dados como amigo e como profissional de altíssimo nível.
- Aos amigos do Grupo de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental do Departamento de Física/ICET/UFMT, Ândrea Carla Dalmolin, Higo José Dalmagro e Osvaldo Borges Pinto Jr.
- Aos amigos das trilhas nas matas, da bike, da escalada, do rapel, do skateboarding, do arborismo, agradeço pela amizade e pelas aventuras que o Mato Grosso nos proporcionou.
- Aos Professores: Dr. Nicolau Priante Filho, Dr. José de Souza Nogueira e Dr. Marcelo Sacardi Biudes, por terem acreditado em meu potencial e conhecimento como Engenheiro Florestal, nos vários trabalhos realizados junto ao Grupo de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental.

- Ao Prof. Dr. Carlo Ralph De Muis, pela paciência, ajuda, companheirismo e pelo exemplo de como ser um bom profissional.
- Ao grande amigo de pós-graduação Vitor Zanetti, por ter acreditado que o nosso trabalho poderia ser realizado com êxito.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro.
- À Universidade Federal de Mato Grosso, por ter me proporcionado a capacidade de enxergar o mundo de forma racional e consciente como homem e como pesquisador.

# SUMÁRIO

DE .....	i
DE .....	ii
DE .....	iii
.....	iv
.....	v
.....	1
.....	1
.....	2
.....	3
.....	3
.....	3
.....	4
.....	4
..... serrapilheira e o seu papel nos .....	5
..... da serrapilheira produzida, acumulada e da taxa de .....	8
..... da taxa de decomposição da .....	8
E .....	11
..... da .....	11
..... de serrapilheira produzida e .....	14
..... da taxa de decomposição da .....	16
..... do .....	19
E .....	24
..... da serrapilheira produzida e .....	24
..... do modelo de .....	26
..... dos valores do coeficiente de decomposição da .....	33



..... 39

..... 40

## LISTA DE FIGURAS

1 - Diagrama de fluxos.....	10
2 - Localização da área de pesquisa e disposição dos pontos de amostragem.....	12
3 - Dinâmica da pluviosidade da floresta de transição Amazônia–Cerrado entre junho de 2004 e janeiro de 2008. ....	13
4 - Caixa coletora de serrapilheira de 1 m <sup>2</sup> utilizada para coleta de serrapilheira produzida.....	14
5 - Coletor em molde vazado de 0,25 m x 0,25 m utilizado para coleta de serrapilheira acumulada. ....	15
6 – Modelo por sistemas .....	16
7 – Esquema representativo da relação entre o coeficiente de correlação linear, $r$ , e o índice de concordância de Willmott, $d$ , para os casos em que $r$ e $d$ são altos (A), $r$ é alto e $d$ é baixo (B) e $r$ e $d$ são baixos (C).....	21
8 – Dinâmica da serrapilheira acumulada (g <sup>-1</sup> ) (A), e da serrapilheira produzida (g <sup>-1</sup> ) (B), para os 42 meses, período de junho de 2004 a novembro de 2007.....	25
9 - (A) Dinâmica espacial dos valores médios de serrapilheira acumulada medidos em campo e simulados; (B) dinâmica espacial dos valores de serrapilheira acumulada medidos em campo e simulados em relação ao coeficiente de variação (%). ....	27
10 - Histograma do índice de concordância de Willmott para avaliação do modelo de simulação da serrapilheira acumulada, levando-se em consideração a análise para cada ponto de coleta e obtendo por reamostragem o intervalo de confiança para $d$ . Nota: As linhas tracejadas representam o intervalo de confiança, considerando-se para isso os percentis 0,975 para o limite superior e de 0,025 para o limite inferior. 28	
11 - (A) Dinâmica temporal dos valores médios de serrapilheira acumulada medidos em campo e simulados; (B) dinâmica temporal dos valores de serrapilheira acumulada medidos em campo e simulados em relação ao coeficiente de variação (%). ....	29
12 - Histograma do índice de concordância de Willmott para avaliação do modelo de simulação da serrapilheira acumulada, levando-se em consideração a análise para cada mês de coleta e obtendo por reamostragem o intervalo de confiança para $d$ .	

Nota: As linhas tracejadas representam o intervalo de confiança, considerando-se para isso os percentis 0,975 para o limite superior e de 0,025 para o limite inferior. 30

13 - Comparação dos valores médios dos 42 meses para a serrapilheira acumulada simulada e medida..... 31

14 - Comparação dos valores médios dos 20 pontos de amostragem para a serrapilheira acumulada simulada e medida. .... 32

15 - Histograma dos valores médios do coeficiente de decomposição da serrapilheira obtidos pelo método de simulação por sistemas dinâmicos (A) e pelo método de Olson (1963) (B). Nota: As linhas tracejadas representam o intervalo de confiança, considerando-se para isso os percentis 0,975 para o limite superior e de 0,025 para o limite inferior..... 34

## **LISTA DE TABELAS**

1 - Valores dos coeficientes de regressão linear com respectivas significâncias estatísticas ( $p$ ) para analisar a tendência da taxa de variação da serrapilheira acumulada. ....	36
1 - Valores dos coeficientes de regressão linear com respectivas significâncias estatísticas ( $p$ ) para analisar a tendência da taxa de variação da serrapilheira acumulada. ....	37
Tabela 2 - Valores de $e$ e $K'$ para algumas tipologias florestais obtidos segundo o método de Olson (1963).....	38

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $d$  - índice de concordância de Willmott
- $\frac{dX}{dt}$  - taxa de variação instantânea da serrapilheira acumulada ( $\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$ )
- $\varepsilon_{ij}$  - erro médio quadrático
- $K$  - coeficiente de decomposição da serrapilheira ( $\text{ano}^{-1}$ )
- $K'$  - coeficiente de decomposição da serrapilheira estimada a partir do ( $\text{ano}^{-1}$ )
- coeficiente de decomposição da serrapilheira ( $\text{mês}^{-1}$ )
- coeficiente de decomposição da serrapilheira para a condição de taxa nula de variação do acúmulo de serrapilheira sobre o solo ( $\text{ano}^{-1}$ )

## RESUMO

REZENDE, S. D. P. *Estimativa do coeficiente de decomposição da serrapilheira em uma floresta de transição em Sinop-MT*. Cuiabá-MT, 2009. 61p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

Tradicionalmente, a taxa de decomposição da serrapilheira é estimada a partir do método proposto por Olson (1963) que toma como suposição uma condição de equilíbrio dinâmico, considerando ser nula a taxa instantânea de variação da serrapilheira acumulada. Este trabalho teve como objetivo propor um método alternativo ao de Olson, com o emprego de um modelo de simulação por sistemas dinâmicos. Para isso, os registros da produção e do acúmulo mensais de serrapilheira entre junho de 2004 e novembro de 2007, de uma floresta de transição semi-decídua Amazônia-Cerrado, localizada a 60 km da cidade de Sinop, Mato Grosso, Brasil (11°24,75' S; 55°19,50' W, 423 msnm) foram utilizados como dados primários de análise. O valor da taxa de decomposição da serrapilheira estimado pelo modelo de simulação por sistemas dinâmicos foi de  $0,75 \pm 0,02 \text{ ano}^{-1}$ , diferindo significativamente do valor obtido pelo método de Olson (1963), que foi de  $0,82 \pm 0,02 \text{ ano}^{-1}$ . A validação da modelagem foi realizada pela análise comparativa entre a quantidade de serrapilheira acumulada simulada pelo modelo e os valores medidos, empregando-se o índice de concordância  $d$  de Willmott (1981), para o qual se obtiveram valores variando desde 0,42 até 0,95; indicando a necessidade de ajustes no modelo. Por outro lado, verificou-se também que 23,3% dos dados de três anos e 20 pontos de amostragem (60 dados ao total) não atenderam à suposição de equilíbrio dinâmico da serrapilheira acumulada, o que também compromete os valores da taxa de decomposição calculados pelo método de Olson (1963). Pelo fato do modelo de simulação por sistemas dinâmicos não exigir qualquer suposição prévia da condição da serrapilheira, este modelo parece ser a alternativa que fornecerá resultados mais aproximados da realidade.

**Palavras-chave:** Amazônia-Cerrado, índice de concordância de Willmott, modelagem por sistemas dinâmicos.

## ABSTRACT

REZENDE, S. D. P. *Estimative of the coefficient of decomposition on litter in a transition forest, Sinop-MT*. Cuiabá-MT, 2009. 61p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

Traditionally the litter decomposition, is estimated using the Olson's (1963) method, taking as condition a steady state of the area, and considering null the instantaneous rate of variation of the litter pool. This work has for objective proposes an alternative method to the Olson's (1963) method, using the dynamic systems simulation method. To design the model, data from litter fall and litter pool were acquired every month in the period between June of 2004 and November of 2007, in a semi deciduous transition Amazônia-Cerrado forest, sited 60 km away from Sinop city, Mato Grosso, Brazil (11°24,75' S; 55°19,50' W, 423 asl), and that was used as primary data for the model. The litter decomposition index estimated by the dynamic systems model was  $0,75 \pm 0,02 \text{ year}^{-1}$ , this value differs significantly from the value acquired using Olson's method (1963), which was  $0,85 \pm 0,02 \text{ year}^{-1}$ . To validate the dynamic systems model was used the Willmott's (1981) concordance index  $d$  which values variate from 0,42 to 0,95; what indicates that the model needs adjusts. In the other hand was verified that 23,3% of the data, for three years of the time interval of the study, and for the 20 sampling points (totalizing 60 samples), did not attend at the steady state assumption, what compromises the values calculated by the Olson's (1963) method. Because the systems dynamic methods did not have any preliminary assumption of the litter condition, this model looks to be the best alternative for calculating the decomposition index of litter.

**Keywords:** Amazônia-Cerrado, Willmott's concordance index, Dynamic systems model.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 PROBLEMÁTICA

Estudos de ecossistemas florestais despertam grande interesse entre pesquisadores de todo o mundo por permitirem avaliar impacto das mudanças climáticas globais sobre os mesmos. Há grande preocupação em entender qual é o comportamento das florestas diante o aquecimento global e de que forma ações antrópicas, relativas à mudança no uso da terra, contribuem para o aumento do efeito estufa e sua aceleração em micro, meso e larga escala.

Com o objetivo de compreender as problemáticas do aquecimento global, foi criado o Experimento de Grande Escala Biosfera – Atmosfera na Amazônia (LBA). Esta foi uma iniciativa científica internacional liderada pela NASA (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço). A partir do ano de 2005 o Brasil passou a ser o país que lideraria o (LBA), mas não deixando de lado a parceria internacional, inclusive mudando o nome para Programa de Larga Escala da Amazônia (LBA). Atualmente, é o Ministério da Ciência e Tecnologia que detém esse Programa, sendo que a coordenação científica está a cargo do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA).

O Programa de Pós Graduação em Física Ambiental (PPGFA) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) está vinculado e a frente de vários trabalhos relacionados ao LBA no Mato Grosso, buscando entender de forma científica o funcionamento da biosfera e da atmosfera na Amazônia. Este programa (LBA) teve por objetivo principal criar uma nova base de conhecimento necessária para um melhor entendimento dos processos climatológicos, biogeoquímicos e hidrológicos que atuam na Amazônia, bem como as interações desses processos com os ecossistemas naturais e alterados, em escalas regionais e planetárias, utilizando ferramentas analíticas como os modelos de previsão de mudanças de uso e cobertura da terra.

No Brasil cerca de 70% dos gases de efeito estufa são provenientes das queimadas florestais e ações antrópicas ligadas ao uso e ocupação do solo. Neste



contexto, Mato Grosso perde somente para o Estado do Pará a nível nacional, através do desmatamento para expansão da fronteira agrícola e pecuária.

O solo se apresenta como um importante reservatório de carbono e que a serrapilheira constitui a maior porção da matéria orgânica acima da sua superfície. A produção, o acúmulo e a decomposição da serrapilheira são processos que necessariamente devem ser levados em conta para a avaliação mais aproximada do ciclo do carbono nos ecossistemas.

No estudo da dinâmica da serrapilheira, o método amplamente empregado para a avaliação da sua decomposição, de Olson (1963), leva em consideração algumas suposições que podem não ser verdadeiras em alguns casos. Por essa razão, a busca de métodos que mais se aproximem da realidade ainda é necessária, a fim de produzir resultados satisfatórios e não tendenciosos.

Dada a importância ecológica da floresta amazônica, estudos de troca líquida de vêm sendo desenvolvidos nesse ecossistema, mas são poucas as investigações sobre a região do ecótono que ocorre entre o cerrado e a floresta amazônica.

Sinop, um município do norte do Mato Grosso, é uma região particular, onde essa transição do cerrado para a floresta amazônica compõe a paisagem original, mas que por efeito das mudanças no uso da terra, atualmente a agricultura, a pecuária e a exploração madeireira fazem parte da paisagem local e numa escala de grandes proporções.

Pelo anterior, o presente trabalho pretende contribuir com a análise da taxa de decomposição da serrapilheira, apresentando um método alternativo ao de Olson (1963), baseado em modelagem por sistemas dinâmicos e justamente para o ecótono Amazônia-Cerrado.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

O é apontado como sendo o gás de efeito estufa que tem contribuído nos últimos anos para o incremento na temperatura média da terra. Nesse sentido, há vários estudos conduzidos em ecossistemas naturais e ambientes alterados utilizando métodos micrometeorológicos para avaliar a assimilação e a produção líquida do nesses ambientes. Porém, esses estudos só podem fornecer dados mais sólidos se,

além das medições micrometeorológicas, outras determinações dos componentes do ciclo biogeoquímico do carbono também sejam feitas simultaneamente. Dentre esses componentes, o solo, mais especificamente, a matéria orgânica do solo, é um reservatório extremamente importante de carbono. Como a matéria orgânica do solo é proveniente da decomposição da serrapilheira, os estudos da dinâmica da produção, acúmulo e decomposição da mesma são elementos fundamentais para permitir ampliar o campo de análise e de interpretação do ciclo do carbono e das fontes e sumidouros de para a atmosfera.

A taxa de decomposição da serrapilheira tem sido quantificada utilizando o método proposto por Olson (1963), tanto aqui no Brasil, como em todo o mundo. Entretanto, esse método pressupõe que durante o período de um ano a taxa de variação da serrapilheira acumulada sobre a superfície do solo é nula. Por essa razão, há um comprometimento dos resultados obtidos empregando-se esse método, sobretudo, quando tal pressuposto não é real.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma primeira aproximação de um modelo de sistemas dinâmicos como método de estimativa da decomposição da serrapilheira, como uma alternativa ao método tradicional de Olson (1963). Este método não tem nenhuma pressuposição acerca do comportamento da serrapilheira, podendo ser empregado em qualquer situação.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo desse trabalho foi estimar a taxa de decomposição da serrapilheira na floresta de transição Amazônia-Cerrado, por meio de modelagem por sistemas dinâmicos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Quantificar a produção e o acúmulo de serrapilheira vegetal para o período compreendido entre junho de 2004 a novembro de 2007, com a finalidade de criar um banco de dados para a modelagem de sistemas dinâmicos.
- Obter estimativas e intervalos de confiança para o coeficiente de

decomposição da serrapilheira para o período de junho de 2004 a novembro de 2007.

- Comparar os valores da taxa de decomposição da serrapilheira obtidos pelo método tradicional de Olson (1963) com os obtidos pelo método de sistemas dinâmicos proposto neste trabalho.

### **3 HIPÓTESES**

- O modelo de simulação por sistemas dinâmicos é uma ferramenta que pode ser empregada na estimativa da taxa de decomposição da serrapilheira.
- Os valores da taxa de decomposição da serrapilheira estimados pelo método proposto neste trabalho são significativamente diferentes dos obtidos pelo método de Olson (1963).

### **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### 4.1 A SERRAPILHEIRA E O SEU PAPEL NOS ECOSISTEMAS

Muitos estudos têm examinado como a diversidade de plantas influencia em propriedades do ecossistema. Em alguns casos, a produção de biomassa vegetal e disponibilidade de nutrientes no solo estão positivamente relacionadas com a diversidade de espécies de plantas no ecossistema (NAEEM *et al.*, 1995; TILMAN *et al.*, 1996). Portanto, a fauna local pode afetar o efeito dessa diversidade nos conteúdos dos nutrientes provenientes da decomposição (HÄTTENSCHEWILER & GASSER, 2005).

Dá-se o nome de serrapilheira a todo material da biota que se precipita à superfície do solo, como são as folhas, os galhos, os frutos, as flores, que senescem e abscindem da copa da plantas, incluindo-se também as raízes que morrem e entram em processo de decomposição no próprio solo, além dos resíduos de origem animal (MASON, 1980; DIAS & OLIVEIRA FILHO, 1997).

A serrapilheira é importante por atuar na superfície do solo como um sistema de entrada e saída, recebendo entradas via vegetação e, quando decomposta, supre o solo e as raízes com nutrientes e matéria orgânica, sendo essencial na restauração da fertilidade do solo, em áreas que estão em alguma fase do processo de sucessão ecológica (EWEL, 1976). Conforme Montagnini & Jordan (2002), as condições climáticas e a ação microbiana na decomposição dos resíduos orgânicos que formam a serrapilheira são os principais processos de ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais, introduzindo heterogeneidade temporal e espacial no ambiente, podendo afetar a estrutura e a dinâmica da comunidade de plantas (FACELLI & PICKET, 1991; MOLOFSKY & AUSGSPURGER, 1992).

A serrapilheira sofre um processo de decomposição liberando para o solo elementos minerais que compõem a matéria, desempenhando assim um papel fundamental na circulação de nutrientes e nas transferências de energia entre os níveis tróficos (RIBEIRO, 1998; SIOLI, 1991; PERES *et al.*, 1983). Os organismos mortos, através de uma interação complexa de atividades física e biológica, são decompostos em partículas grandes, e estas em partículas menores e, finalmente, em pequenas moléculas, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), água e componentes minerais. Essa decomposição representa um processo essencial na ciclagem de estrutura biogênica, manutenção do estoque orgânico no solo e na taxa de reciclagem dos

compostos presentes na serrapilheira, sendo um fator que influencia a fertilidade de solos e o funcionamento de ecossistemas florestais, especialmente, em regiões de solos muito intemperizados como os tropicais (VALENTINI, 2004).

Os compostos orgânicos que caem da floresta e são depositos na superfície e as raízes finas do solo são as duas principais fontes de matéria orgânica do solo. Uma vez ocorrida no solo, a decomposição desta matéria orgânica acontece mais lentamente; mesmo assim, é uma das maiores fontes de carbono no solo. O carbono que não é liberado para a atmosfera, é incorporado no húmus do solo, ou solubilizado na água de percolação.

Os principais fatores que influenciam na decomposição da serrapilheira são: clima, qualidade da serrapilheira, natureza e abundância de organismos decompositores (COÛTEAUX *et al.*, 1995; KING *et al.*, 2002; KOUKOURA *et al.*, 2003). A decomposição da matéria orgânica pode ser dividida em três processos básicos que ocorrem simultaneamente: lixiviação de minerais solúveis e de pequenos compostos orgânicos pela água; intemperismo, que é a ruptura mecânica dos detritos, e ação biológica (fragmentação gradual e oxidação dos organismos vivos, principalmente fungos) (MASON, 1997).

Segundo Swift *et al.* (1999), as plantas influenciam as propriedades do ecossistema através da decomposição de sua serrapilheira, na determinação do ciclo de nutrientes do solo e fornecem substratos para os microrganismos do solo. Os ecossistemas de florestas tropicais, via de regra, apresentam produção contínua de serrapilheira no decorrer do ano, sendo que a quantidade produzida nas diferentes épocas depende do tipo de vegetação considerada (LEITÃO-FILHO *et al.*, 1993; RODRIGUES & LEITÃO FILHO, 2001). Neste contexto, a serrapilheira originada pelo material de origem vegetal que se deposita continuamente sobre a superfície do solo assume grande importância, uma vez que representa o estoque potencial de nutrientes para a vegetação (LOUZADA *et al.*, 1995; RICHARDS, 1991).

Aduan (2003) relatou que a serrapilheira é um estoque importante de carbono, acumulando uma quantidade de carbono de duas a três vezes mais alta que a da atmosfera. Além disso, sua importância reside em seu papel na regulação do fluxo de carbono e nutrientes entre a vegetação e o solo.

Pringle (1997) ressaltou que as condições de clima quente e úmido dos trópicos são ideais para os agentes de decomposição e as folhas que caem no chão da floresta apodrecem muito rapidamente, liberando assim os nutrientes nelas presentes para o solo, contribuindo com o retorno e a manutenção do ciclo de nutrientes na floresta.

A manutenção do estoque de nutrientes minerais no solo, bem como da produtividade de biomassa das florestas de rápido crescimento, está intimamente relacionada com o processo da ciclagem de nutrientes. A determinação das características de uma cobertura vegetal é fundamental para um estudo mais detalhado dos processos físicos e fisiológicos que ocorrem em seu interior. Essa dinâmica da cobertura vegetal é importante, porque se sabe que as folhas são responsáveis pelas trocas de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera (CARUZZO & ROCHA, 2000).

Segundo Wandelli & Marques Filho (1999), a dinâmica da cobertura vegetal é resultante de respostas ecofisiológicas das plantas às condições químicas, físicas e biológicas do solo, às condições bióticas como herbivoria, competição e as interdependências desses fatores dos diferentes estágios sucessionais da vegetação.

A serrapilheira constitui uma via importante do ciclo biogeoquímico (fluxo de nutrientes no sistema solo-planta-solo). Este ciclo, juntamente com o bioquímico (circulação de nutrientes no interior da planta), permite que as árvores nas florestas possam sintetizar a matéria orgânica através da fotossíntese, reciclando principalmente os nutrientes em solos altamente intemperizados, onde a biomassa vegetal é o seu principal reservatório (MELO & RESCK, 2003).

Entretanto, a produção de serrapilheira e sua decomposição são fenômenos que apenas recentemente vem sendo estudados. Há, portanto, necessidade de que sejam realizados vários trabalhos para a avaliação da produção de serrapilheira, da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes em diferentes locais da floresta de transição Amazônia-Cerrado, para que se possa ter uma idéia geral do efeito das condições particulares de composição florística e do microclima sobre esses fenômenos.

## **4.2 ESTATÍSTICAS DA SERRAPILHEIRA PRODUZIDA, ACUMULADA E DA TAXA DE DECOMPOSIÇÃO**

Trabalhos relacionados com medida da produção, acúmulo e decomposição da serrapilheira não apresentam uma medida da dispersão desses dados, ou do intervalo de confiança do valor médio obtido. Na floresta amazônica, em todas as pesquisas realizadas pelos grupos vinculados ao Programa de Larga Escala na Amazônia (LBA), até o presente momento, nenhum trabalho publicado apresenta essa informação, como pode ser visto nos trabalhos realizados por Franken (2006), Paula (2007), Silva (2004), Hayek (2000), Silva (2006), Bambi (2007), Pinto Junior (2007).

Nota-se que a preocupação com a informação da variabilidade dos valores médios existe, porém ainda não foi manifestada em temas relacionados com a produção, acúmulo e decomposição da serrapilheira, somente em temas sobre gases produzidos em algumas atividades na produção agropecuária, como por exemplo, a produção avícola (MILES *et al.*, 2006).

## **4.3 ESTIMATIVA DA TAXA DE DECOMPOSIÇÃO DA SERRAPILHEIRA**

O método mais utilizado para estimar a taxa de decomposição de serrapilheira empregado nos trabalhos desenvolvidos pelo LBA, assim como por outros grupos em todo o mundo, foi proposto por Olson (1963) e se baseia na produção total de serrapilheira no ciclo de um ano e no valor médio obtido da serrapilheira total acumulada nesse mesmo período (Equação 1).

$$K_o = \frac{L}{X_{ss}} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:  $K_o$  = taxa de decomposição da serrapilheira para a condição de taxa nula de variação do acúmulo de serrapilheira sobre o solo ( $\text{ano}^{-1}$ ),  
 $L$  = produção anual de serrapilheira ( $\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$ ),  
 $X_{ss}$  = valor médio mensal para o período de um ano da serrapilheira acumulada sobre o solo na condição de equilíbrio ( $\text{g m}^{-2}$ ).

O uso da Equação 1 só é possível quando o sistema está em equilíbrio dinâmico, de tal sorte que a taxa instantânea de variação da quantidade de serrapilheira sobre o solo é igual a zero. Para descrever esse processo, Olson (1963) menciona que a taxa instantânea de variação é dada por uma entrada e uma saída, de acordo com a Equação 2.

$$\frac{dX}{dt} = L - K \cdot X \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:  $\frac{dX}{dt}$  = taxa de variação instantânea da serrapilheira acumulada ( $\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$ ),  
 $L$  = total de serrapilheira produzida ( $\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$ ),  
 $K$  = taxa de decomposição da serrapilheira ( $\text{ano}^{-1}$ ),  
 $X$  = quantidade de serrapilheira acumulada ( $\text{g m}^{-2} \text{ano}^{-1}$ ).

Quando a taxa de variação instantânea da serrapilheira acumulada ser igual a zero, a variável  $X$  passa a ser considerada em condições de equilíbrio dinâmico ( ) e assim o valor de  $X$  pode ser estimado, pela Equação 1.

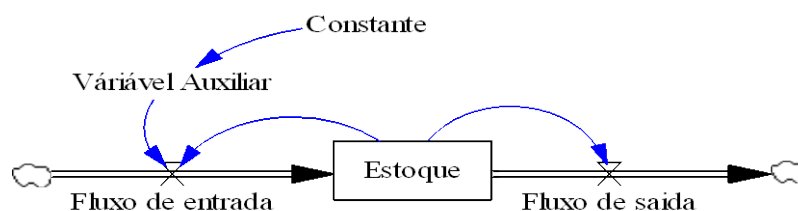
Como o ecossistema não se encontra necessariamente em equilíbrio dinâmico, o valor de  $K$  mais apropriado deveria, em princípio, considerar esse aspecto.

A solução da Equação 2 para a condição de “não equilíbrio” (produção de serrapilheira regida por distribuições de probabilidade) pode ser encontrada por meio de métodos numéricos como o de Euler ou de Range-Kutta, por exemplo; ou também



a técnica de representação gráfica de sistemas de equações diferenciais desenvolvida em 1961 por Jay W. Forrester, denominada “Sistemas Dinâmicos” (*Dynamic Systems*). Por questões práticas, neste trabalho foi dada preferência a este último método, representado esquematicamente na Figura 1.

Na Figura 1, os retângulos representam estoques, flechas duplas representam os fluxos físicos com suas variáveis de fluxos, as flechas simples fluxos de informação, os textos simples são variáveis auxiliares ou constantes, as nuvens representam a fonte e o destino, as setas representam os sentidos dos fluxos de informação.



**Figura 1** - Diagrama de fluxos.

Experimentos computacionais usualmente derivam grandes bancos de dados aos quais usualmente aplicam-se modelos de distribuição de frequências, dentre eles utiliza-se o *bootstrap*, para obter intervalos de confiança dos resultados.

O *bootstrap* tenta realizar o que seria desejável na prática, se tal fosse possível: repetir a experiência. O princípio desta técnica é a análise da distribuição de estatísticas obtidas por reamostragem com reposição de sub-amostras da amostra original.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA**

A área experimental situa-se a aproximadamente 60 km da cidade de Sinop, Mato Grosso, Brasil ( $11^{\circ}24,75' S$ ;  $55^{\circ}19,50' W$ , 320 m sobre o nível do mar), em uma área de floresta de transição Amazônia-Cerrado, onde se encontram 20 pontos de coleta de serrapilheira produzida. Esses pontos foram espacializados e georreferenciados, onde também foi realizada a coleta da serrapilheira acumulada (Figura 2).

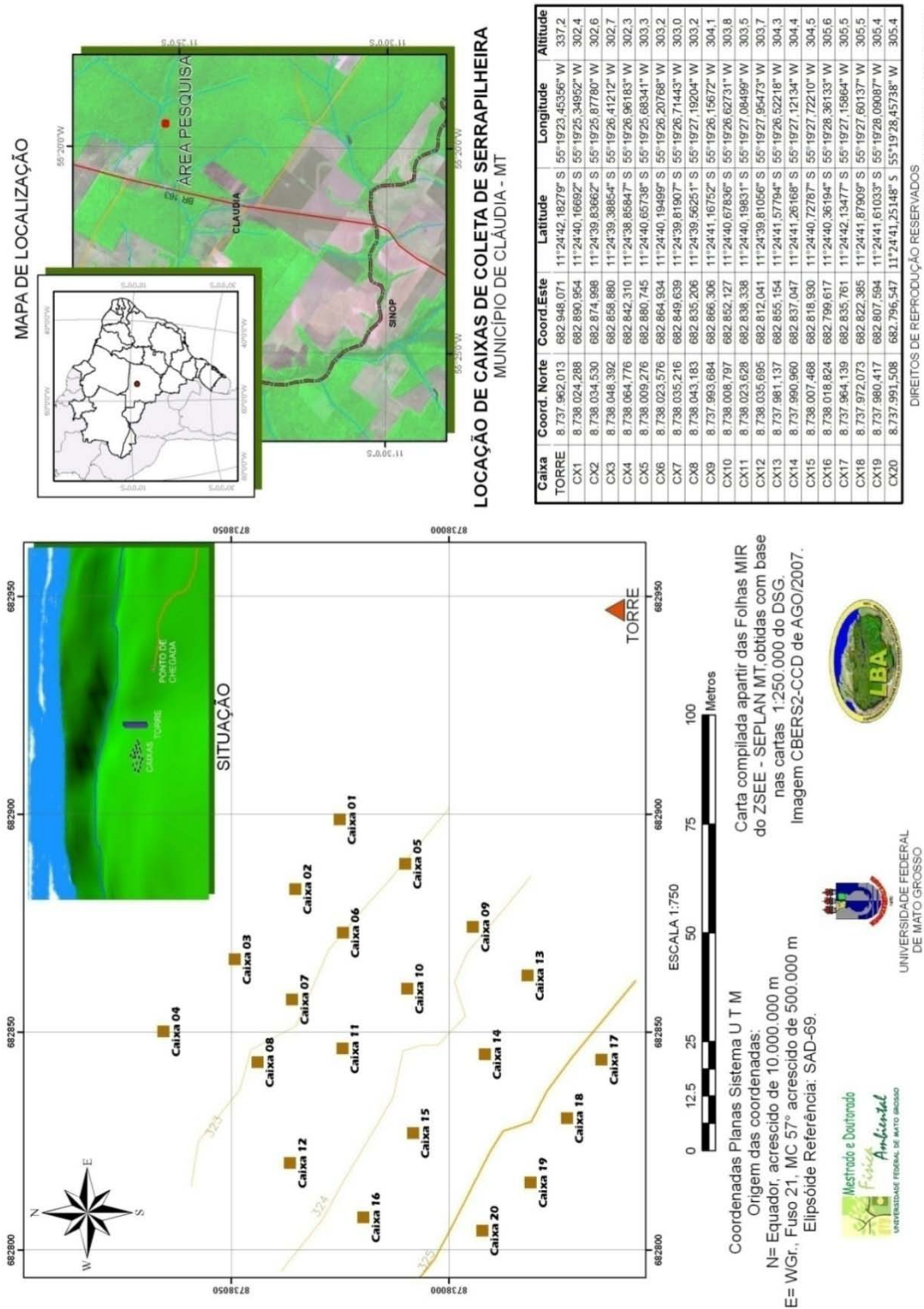
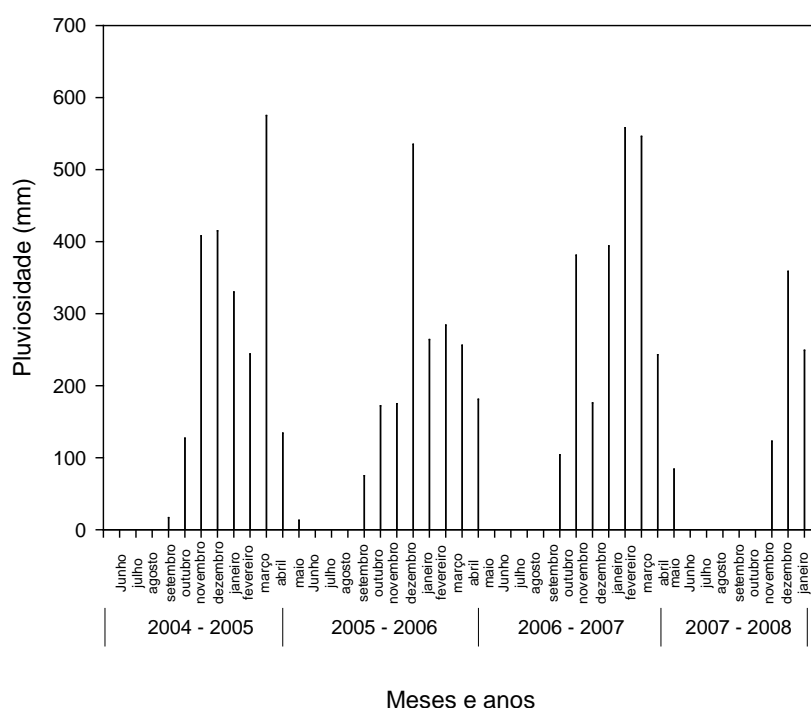


Figura 2 - Localização da área de pesquisa e disposição dos pontos de amostragem.

A vegetação local consiste em espécies arbóreas, semidecíduais, com espécies características da floresta de transição amazônica, como *Tovomita schomburkii*, *Qualea paraensis*, e *Brosimum lactescens* (MIRANDA *et al.*, 2005).

A região apresenta sazonalidade característica com um período seco de junho a agosto e um período úmido de dezembro a fevereiro, sendo o período de março a maio compreendido como de transição úmido seco, e o período de setembro a novembro de seco úmido. A temperatura média anual na região é aproximadamente 24,8°C e a precipitação de 2.200 mm ano<sup>-1</sup> (Figura 3) (PRIANTE *et al.*, 2004).



**Figura 3** - Dinâmica da pluviosidade da floresta de transição Amazônia–Cerrado entre junho de 2004 e janeiro de 2008.

O solo é um Neossolo Quartzarênico Órtico típico a moderado álico, com profundidade de 0,50 m e textura arenosa com 83,6% de areia, 4,4% de silte e 2,2% de argila (PRIANTE *et al.*, 2004). Estes solos, além de bastante arenosos, apresentam baixas concentrações de nutrientes, têm alta porosidade e drenam rapidamente a saturação provocada por fortes chuvas (SPOLADOR *et al.*, 2005).

## 5.2 COLETA DE SERRAPILHEIRA PRODUZIDA E ACUMULADA

As coletas de serrapilheira foram realizadas mensalmente, no período de junho de 2004 a novembro de 2007. A quantificação da serrapilheira produzida foi realizada em uma área de um hectare por meio de 20 coletores de madeira de 1 m<sup>2</sup> com uma altura de borda de 0,20 m e fundo em tela de nylon de malha de 2,5 mm, em forma de quadrado. Estes coletores foram instalados a uma altura de 0,20 m do solo (Figura 4) de forma que não houvesse contato entre o material depositado em seu interior e o solo, diminuindo o processo de decomposição do material depositado e evitando o acúmulo de água dentro dos coletores no período chuvoso.



**Figura 4** - Caixa coletora de serrapilheira de 1 m<sup>2</sup> utilizada para coleta de serrapilheira produzida.

A quantificação da serrapilheira acumulada sobre o solo foi realizada com um coletor de metal em molde vazado de dimensões 0,25 m x 0,25 m (0,0625 m<sup>2</sup>, Figura



5) sendo coletado o material depositado próximo aos coletores de serrapilheira produzida.

Após coletadas as amostras, tanto do material produzido, quanto do acumulado sobre o solo, foram armazenadas em sacolas plásticas devidamente identificadas e levadas até o laboratório do Núcleo de Tecnologia de Armazenagem (NTA) da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAMEV), da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), onde foram segregadas as frações formadoras da serrapilheira (folhas, galhos, frutos e flores), acondicionadas em sacos de papel Kraft e levadas para secagem em estufa de ventilação forçada a 70°C até peso constante, e posteriormente pesadas em balança semi-analítica.



**Figura 5** - Coletor em molde vazado de 0,25 m x 0,25 m utilizado para coleta de serrapilheira acumulada.

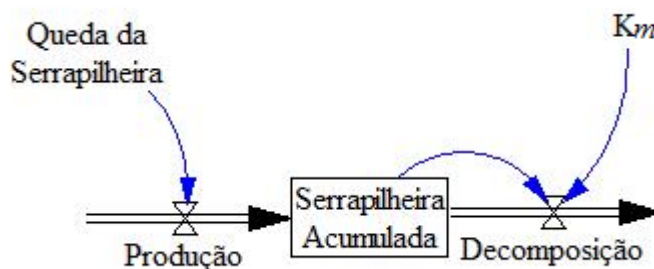
Para avaliar o grau de associação entre a serrapilheira acumulada e a serrapilheira produzida, foi conduzida uma análise de correlação cruzada, a fim de

verificar o teor dessa associação e a defasagem temporal em que a mesma porventura se deu.

### 5.3 ESTIMATIVA DA TAXA DE DECOMPOSIÇÃO DA SERRAPILHEIRA

O modelo utilizado para a decomposição da serrapilheira baseia-se na probabilidade de que uma dada quantidade de massa se decompõe em um determinado lapso de tempo. O modelo proposto neste trabalho parte igualmente da mesma lógica do balanço de massas com entradas e saídas empregado por Olson (1963), mas sem qualquer suposição prévia acerca do funcionamento do ecossistema.

Uma representação gráfica do modelo pode ser observada na Figura 6.



**Figura 6** – Modelo por sistemas dinâmicos

Neste modelo, a *Queda da Serrapilheira* é a variável que representa a serrapilheira produzida coletada em campo (variável  $L$  da Equação 2, dada em unidades de massa da matéria seca por unidade de área e de tempo). A *Produção* é a variável de fluxo que faz a entrada dos dados de produção de serrapilheira. Esse fluxo tem valor igual à *Queda da serrapilheira* (variável  $\frac{dX}{dt}$  da Equação 2, dada em unidades de massa da matéria seca por unidade de área por unidade de tempo). O estoque *Serrapilheira Acumulada*, representa a quantidade de serrapilheira acumulada sobre o solo da floresta, formando a camada de material em decomposição que cobre o mesmo (variável  $X$  da Equação 2, dada em unidades de massa da matéria seca por unidade de área). A variável de fluxo *Decomposição* representa exatamente a decomposição da serrapilheira no solo da floresta e é calculada pelo produto entre a *Serrapilheira Acumulada* e a taxa de decomposição

(sendo esta variável exatamente aquela da Equação 2, dada pelo inverso do tempo, que neste caso é mensal). Dessa forma esse fluxo representa quanto do material desaparece por unidade de área e de tempo, ou seja, se decompõe. Sua unidade é a mesma do fluxo *Produção*. Como para essa situação particular, a unidade de tempo em que o valor de  $K$  é dado é com base mensal ( $\text{mês}^{-1}$ ), para diferenciar essa variável do  $K$  que é dado em base anual ( $\text{ano}^{-1}$ ), adotou-se o símbolo  $m$  (de mensal).

O valor de  $m$  foi estimado em cada um dos 20 pontos de amostragem, por meio de um processo de pesquisa de análises sucessivas, empregando-se o modelo por sistemas dinâmicos (Figura 6). Como dados de entrada, foram inseridos os dados de serrapilheira produzida (*Queda da Serrapilheira*), para uma série histórica de 42 meses. Os dados reais de serrapilheira acumulada desses mesmos 42 meses foram utilizados como referência, enquanto o modelo estimou valores para essa variável (*Serrapilheira Acumulada*), considerando a taxa de decomposição atuando sobre a serrapilheira acumulada. A determinação de  $m$  foi realizada empregando-se a ferramenta de análise de sensibilidade do software Vensim (Versão 5.7a DSS, Ventana Systems Inc., Harvard, Massachusetts, U.S.A). Com essa ferramenta se fez variar os valores iniciais de  $m$  do modelo utilizando o método de Monte Carlo e uma distribuição escolhida.

Para a avaliação, adotou-se para  $m$  a distribuição uniforme com o intervalo fechado entre 0,01 e 0,99 e uma variação aleatória entre esses limites, com 20.000 simulações sendo realizadas.

A partir dos dados simulados da *Serrapilheira Acumulada* e dos valores reais originalmente obtidos em campo, o programa calculou o valor do erro médio quadrático (Equação 3) para cada um dos 20 pontos de amostragem.

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{si_j} - X_{oi_j})^2}{n} \quad (\text{Equação 3})$$



Em que:  $\varepsilon_{ij}$  = erro médio quadrático do ponto de amostragem  $i$  e mês  $j$ ,  
 $X_{s_{ij}}$  = valor simulado de serrapilheira acumulada do ponto de amostragem  $i$  e mês  $j$ ,  
 $X_{o_{ij}}$  = valor observado em campo de serrapilheira acumulada do ponto de amostragem  $i$  e mês  $j$ ,  
 $n$  = número de meses (neste caso, os 42 meses).

Entre as 20.000 simulações realizadas, identificou-se aquela em que o erro médio quadrático atingiu o seu valor mínimo e o valor de  $\varepsilon_{ij}$  era escolhido para esse ponto.

Como os valores de  $\varepsilon_{ij}$  obtidos para os 20 pontos de amostragem (Equação 2) têm base mensal, logo após sua determinação o mesmo foi transformado para uma base anual por meio da Equação 4.

$$K = 1 - (1 - K_m)^{\frac{q}{t}} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:  $K$  = taxa de decomposição da serrapilheira para o intervalo de tempo desejado (neste caso, um ano),  
 $K_m$  = valor de  $K$  para o intervalo de tempo mensal,  
 $q$  = intervalo de tempo desejado (um ano),  
 $t$  = intervalo de tempo em que a taxa de decomposição da serrapilheira foi originalmente determinada (um mês).

Após essa transformação, foi calculado o intervalo de confiança de  $K$  por meio de 10.000 re-amostragens (“bootstrap”) utilizando o software Crystal Ball (Modelo 6.0, Decisioneering Inc., Denver, Colorado, U.S.A) e identificando-se os percentis 0,975 para o limite superior e de 0,025 para o limite inferior.

Os valores do coeficiente de decomposição da serrapilheira também foram calculados para cada ponto de amostragem no período em que o experimento foi desenvolvido, seguindo o método proposto por Olson (1963). Nesse caso, como foram empregados 42 meses, a partir do primeiro mês foram contabilizados três

períodos de 12 meses para completar o ciclo anual, eliminando-se os últimos seis meses dessa contabilidade. Ao final foram obtidos sessenta valores de  $\theta$  para o período analisado, aos quais se aplicou a Equação 5 para transformá-los em  $K'$  e assim permitir comparar esses valores com aqueles obtidos pelo método de sistemas dinâmicos.

Na verdade,  $K'$  significa a probabilidade entre 0 e 1 de que a serrapilheira acumulada sobre o solo seja decomposta no período de um ano, tendo assim o mesmo conceito de  $K$ . A utilização de dois símbolos para a mesma variável neste caso foi empregada para caracterizar que  $K'$  é o valor de  $K$  proveniente da transformação de  $\theta$  com emprego da Equação 5 e  $K$  é o coeficiente de decomposição estimado a partir da Equação 2.

$$K' = 1 - e^{-K_o} \quad \text{(Equação 5)}$$

Em que:  $K'$  = taxa de decomposição da serrapilheira de acordo com o decaimento radioativo ( $\text{ano}^{-1}$ ),  
 = taxa de decomposição da serrapilheira para a condição de taxa nula de variação do acúmulo de serrapilheira sobre o solo ( $\text{ano}^{-1}$ ).

O mesmo procedimento adotado no estabelecimento do intervalo de confiança para  $K$  obtido pelo método de sistemas dinâmicos também foi utilizado para obter o intervalo de confiança de  $K'$ .

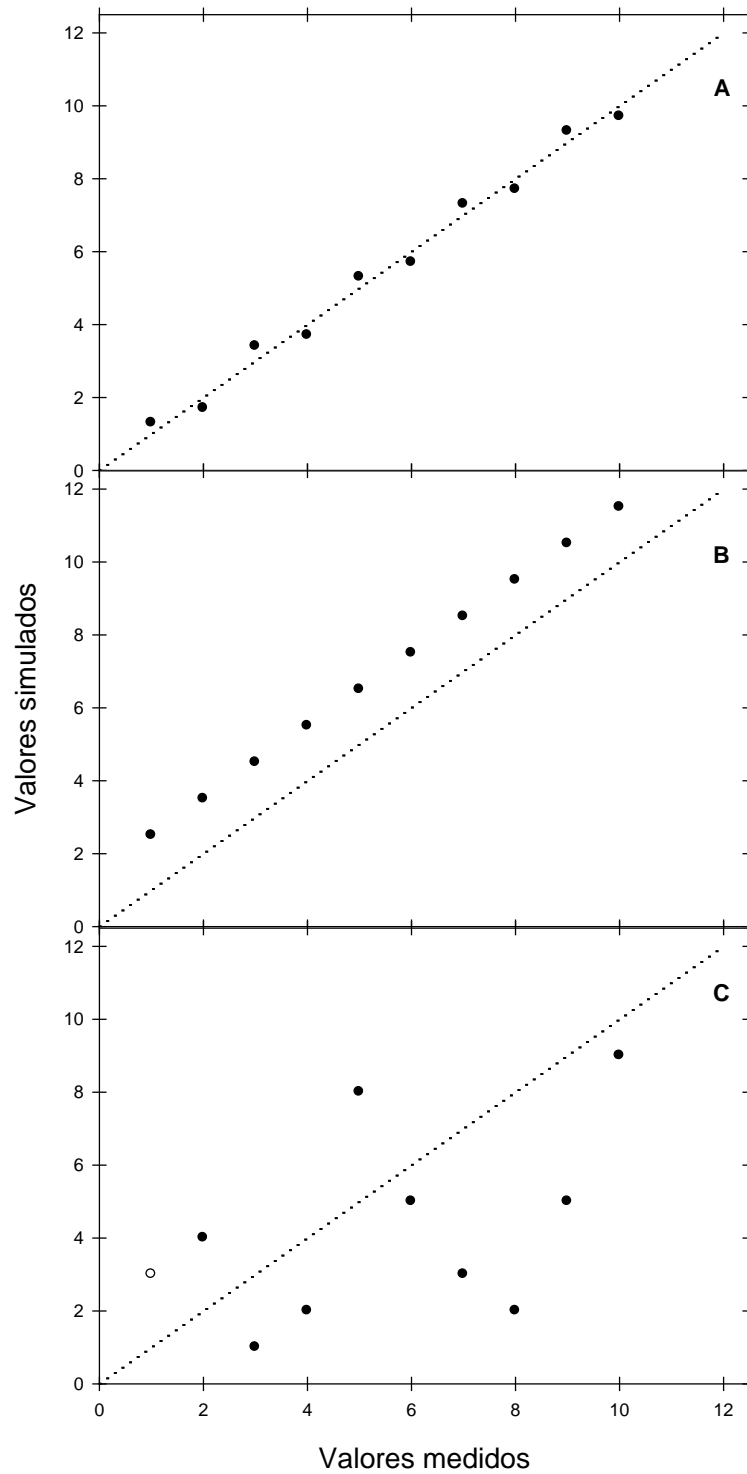
#### 5.4 VALIDAÇÃO DO MODELO

Considerando que, para qualquer condição, haverá sempre um valor mínimo de erro médio quadrático identificável, o valor de  $\theta$  estimado pelo método proposto neste trabalho, pode ser gerado a partir de um valor mínimo de erro quadrático médio pouco confiável, devido sua magnitude. Para garantir que o valor de  $\theta$  fosse estimado com a maior exatidão possível, foi utilizado o índice de concordância,  $d$ , de Willmott (Equação 6) (Willmott, 1981).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:  $d$  = índice de concordância,  
 $P_i$  = valores de serrapilheira acumulada simulados,  
 $O_i$  = valores de serrapilheira acumulada medidos em campo,  
 $n$  = número de observações,  
 $O$  = média dos valores de serrapilheira medidos em campo para o número de observações considerado.

A interpretação do índice de concordância de Willmott revela diferentes situações. A figura 7 apresenta três situações possíveis, onde: (A) representa um caso em que o valor de  $r$  é alto e o valor de  $d$  também é alto (situação ideal); (B) um caso em que o valor de  $r$  é alto e o valor de  $d$  é baixo (os dados se correlacionam, mas são quantitativamente diferentes) e (C) representa um caso em que o valor de  $r$  é baixo e o valor de  $d$  é baixo (os dados não se correlacionam e mostram diferenças quantitativas entre si).



**Figura 7** – Esquema representativo da relação entre o coeficiente de correlação linear,  $r$ , e o índice de concordância de Willmott,  $d$ , para os casos em que  $r$  e  $d$  são altos (A),  $r$  é alto e  $d$  é baixo (B) e  $r$  e  $d$  são baixos (C).

Este índice foi utilizado para verificar: (a) para cada um dos pontos de amostragem, a concordância entre os dados medidos e os simulados da serrapilheira acumulada para o período de 42 meses; (b) para cada mês de coleta, a concordância entre as mesmas variáveis, considerando os 20 pontos de amostragem, (c) considerando os valores médios (a média dos 42 meses de amostragem) dessas variáveis obtidos das duas formas (medidos e simulados), a concordância entre a serrapilheira medida e a acumulada e (d) considerando os valores médios (a média dos 20 pontos de amostragem) dessas variáveis obtidos das duas formas (medidos e simulados), a concordância entre a serrapilheira medida e a acumulada.

Assim no primeiro caso, cada par de dado (medido e simulado) de serrapilheira acumulada de um único mês foi comparado para os diferentes pontos de coleta (20 pontos). Isso gerou 42 conjuntos de pares de dados, sendo cada conjunto submetido à análise do índice de concordância de Willmott, gerando assim 42 índices com os quais se determinou o valor médio e respectivo intervalo de confiança por meio de *bootstrap* com 1.000 reamostragens.

No segundo caso, cada par de dado (medido e simulado) de serrapilheira acumulada de um único ponto de coleta foi comparado para os diferentes meses (42 meses). Neste caso, 20 conjuntos de pares de dados foram gerados e submetidos à análise do índice de concordância de Willmott, com mesmo procedimento para cálculo de média e intervalo de confiança mencionado para o primeiro caso.

No terceiro caso, foi obtido o valor médio dos 42 dados mensais para cada ponto de amostragem, tanto para o valor medido quanto para o simulado de serrapilheira acumulada. Esses pares de valores médios é que, neste caso, foram submetidos à análise do índice de concordância de Willmott. Como só existia nessa situação um único conjunto de pares de dados, só existiu um único valor para o índice *d*.

No quarto caso, foi obtido o valor médio dos 20 dados referentes aos pontos de amostragem para cada mês, tanto para o valor medido quanto para o simulado de serrapilheira acumulada. Da mesma forma que no terceiro caso, esses pares de valores médios foram submetidos à análise do índice de concordância de Willmott, obtendo-se também um só valor para o índice *d*.

Os valores medidos e simulados para cada ponto de amostragem e cada mês, foram também analisados em sua variabilidade por meio do cálculo dos coeficientes de variação considerando: (a) a variabilidade espacial, gerando-se a partir dos vinte dados dos pontos de amostragem um coeficiente de variação mensal e (b) a variabilidade temporal, gerando-se a partir dos 42 meses de dados, um coeficiente de variação de cada ponto de amostragem.

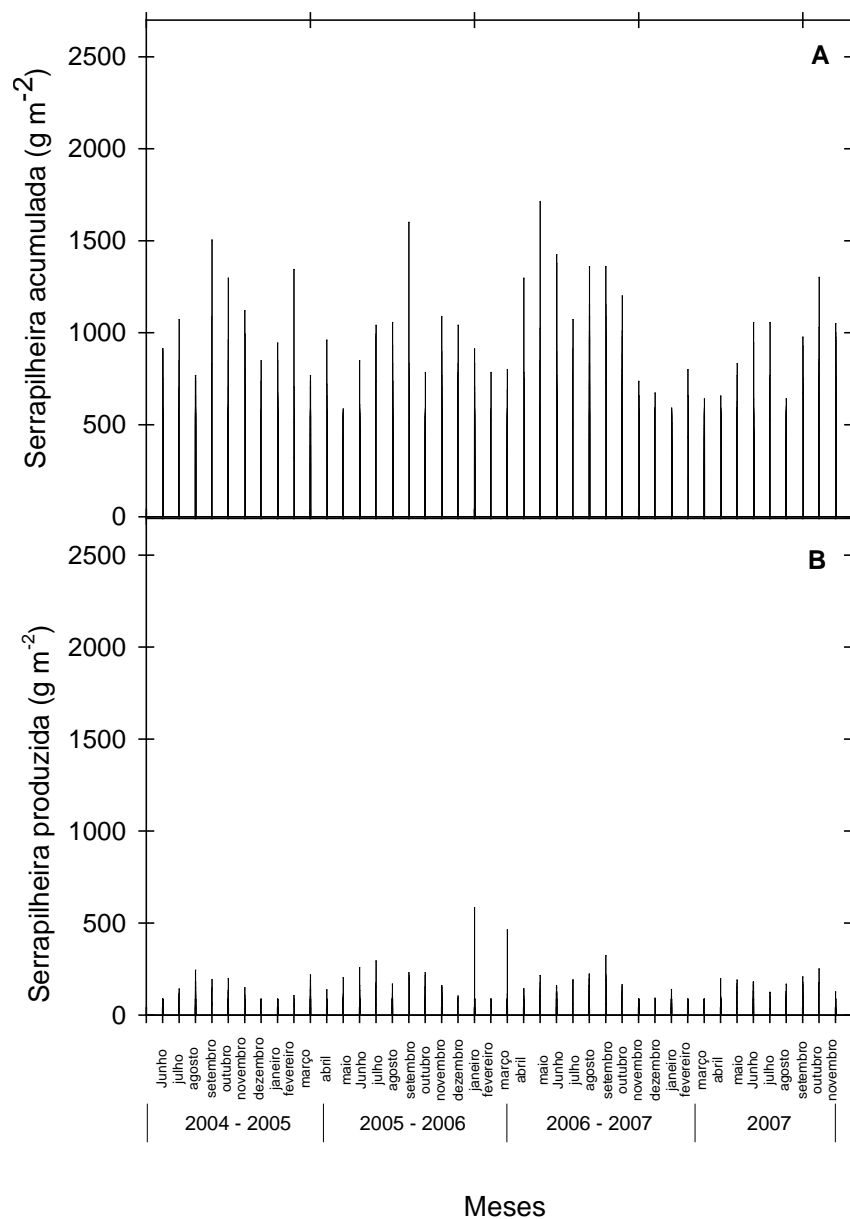
## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 DINÂMICA DA SERRAPILHEIRA PRODUZIDA E ACUMULADA

Os valores da serrapilheira acumulada e da produzida (Figura 8) obtidos a partir de medições diretas em campo apresentaram variabilidade espacial devido à composição florística da área de estudo e uma variabilidade temporal associada à dinâmica dos processos de produção e decomposição da serrapilheira.

A área experimental apresenta várias espécies vegetais pertencentes a diferentes famílias, como por exemplo *Anacardium giganteum* (Anacardiaceae), *Brosimum lactescens* (Moraceae), *Hevea sp* (Euphorbiaceae), *Mezilaurus itauba* (Lauraceae), *Parkia pendula* (Mimosaceae), *Qualea paraensis* (Vochysiaceae), *Tovomita schomburkii* (Clusiaceae), que possuem aspectos morfológicos e fenológicos distintos e uma distribuição espacial igualmente distinta (SULI *et al.*, 2003). Isso pode contribuir para gerar tal variabilidade espacial tanto na produção quanto no acúmulo da serrapilheira.

A produção da serrapilheira está relacionada com a sazonalidade climática. No sítio experimental em estudo, mais de 60% do total da matéria seca da serrapilheira produzida é constituída de folhas (Bambi, 2007; Silva, 2006). Assim, a fenologia foliar, que flutua com a disponibilidade de água no ambiente, apresenta uma dinâmica particular seguindo o regime de chuvas, com queda de folhas no período seco do ano e produção de novas folhas no período chuvoso. Portanto, como a serrapilheira produzida é a fonte de material da serrapilheira acumulada, esta última sofre primeiramente os efeitos indiretos do clima dessa forma.



**Figura 8** – Dinâmica da serrapilheira acumulada ( $g\ m^{-2}$ ) (A), e da serrapilheira produzida ( $g\ m^{-2}$ ) (B), para os 42 meses, período de junho de 2004 a novembro de 2007.

Por outro lado, o processo de decomposição da serrapilheira é dependente da atividade microbiana e, como o metabolismo de qualquer ser vivo é afetado pela temperatura do ambiente, assim mesmo as taxas de decomposição aumentam com o aumento da temperatura ambiental, dentro de certos limites, dentre outros fatores como a umidade e a aeração (Sala, 2000).



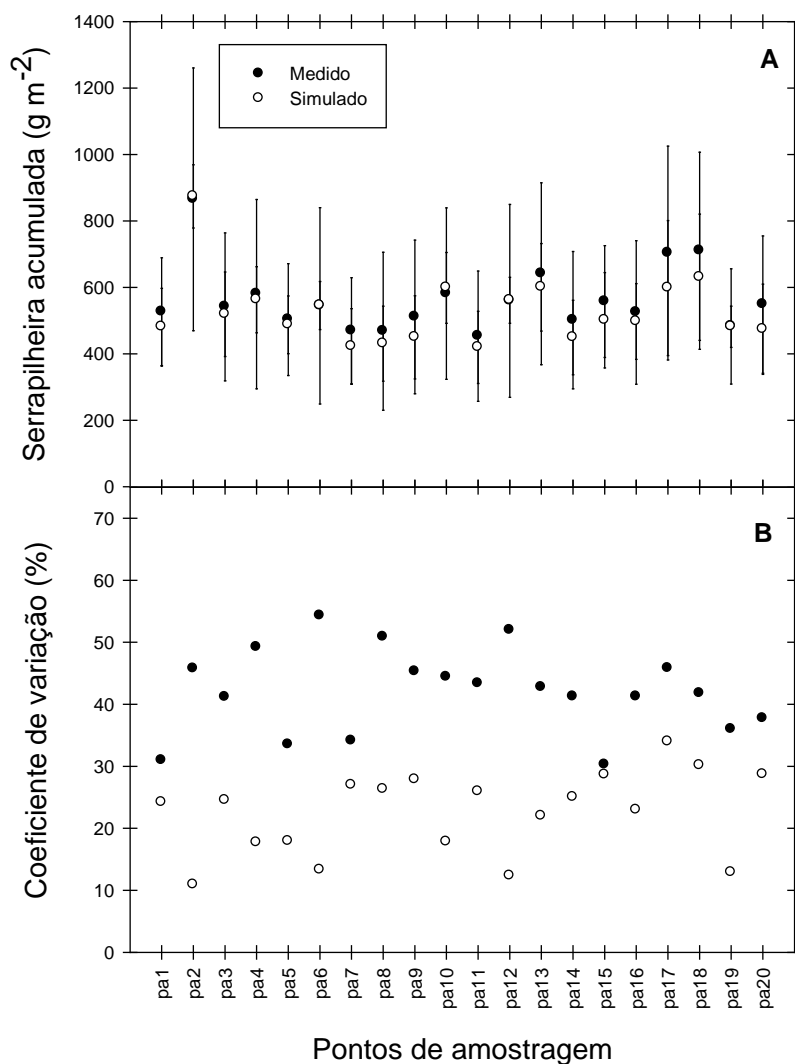
Houve certo grau de associação entre a serrapilheira acumulada e a produzida ( $r = 0,31$ ) sendo esse valor encontrado para uma defasagem temporal de um mês, ou seja, a serrapilheira acumulada para um determinado mês está correlacionada com aquela que foi produzida no mês anterior. Tanto a serrapilheira acumulada quanto a serrapilheira produzida correlacionaram-se com a dinâmica da pluviosidade. Para a primeira, o grau de associação foi de  $r = 0,51$ ; sendo esse valor encontrado para uma defasagem temporal de oito meses, ou seja, a serrapilheira acumulada para o determinado mês está correlacionada com a chuva que ocorreu há oito meses. Para a segunda, o grau de associação foi de  $r = 0,47$ , e a defasagem temporal foi de seis meses.

A dinâmica da serrapilheira se caracteriza por diferentes épocas de máxima e mínima deposição (Figura 8, A e B). Os maiores valores que podem ser verificados na Figura 8 ( $A = 1952 \text{ g m}^{-2}$  e  $B = 1140 \text{ g m}^{-2}$ ) indicam que uma grande quantidade de serrapilheira foi depositada no solo da floresta. Como, por exemplo, na serrapilheira produzida, no mês de janeiro do ano 2005-2006, houve uma abscisão de um galho pesando cerca de 1 kg.

Durante o período estudado, 42 meses (junho de 2004 a novembro de 2007), a média mensal da serrapilheira acumulada foi de  $563,25 \text{ g m}^{-2}$ , e a média mensal da serrapilheira produzida para o mesmo período foi de  $84,33 \text{ g m}^{-2}$ .

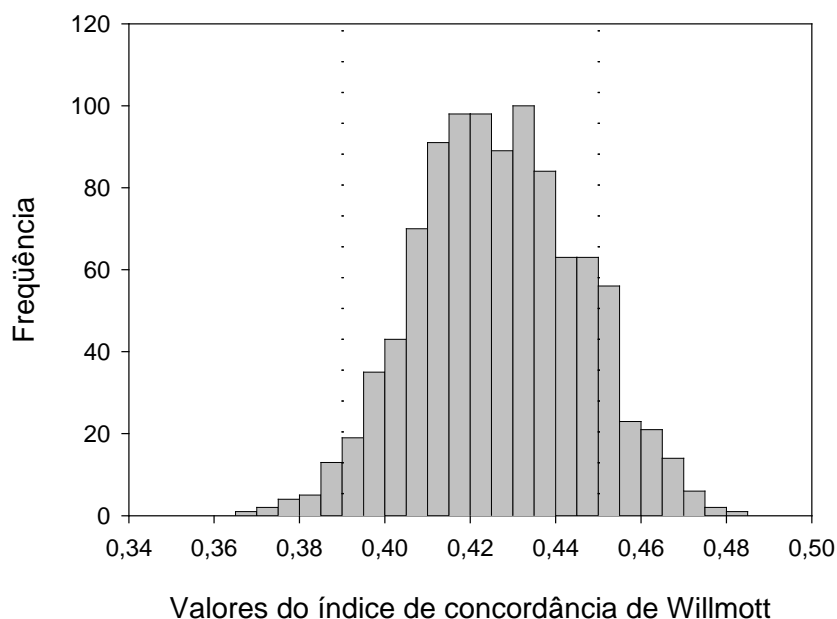
## **6.2 VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO**

Houve uma tendência similar entre a dinâmica dos valores médios da serrapilheira acumulada medida e simulada (Figura 9 A), levando em consideração a variabilidade espacial. Na figura 9 B, em relação ao coeficiente de variação, os valores de serrapilheira acumulada medidos em campo apresentaram valores maiores do coeficiente de variação e maior flutuação, devido à variabilidade espacial entre os pontos de amostragem.



**Figura 9** - (A) Dinâmica espacial dos valores médios de serrapilheira acumulada medidos em campo e simulados; (B) dinâmica espacial dos valores de serrapilheira acumulada medidos em campo e simulados em relação ao coeficiente de variação (%).

Quando dentro de cada um dos pontos de amostragem se avaliou a concordância entre os dados medidos e os simulados da serrapilheira acumulada para cada mês, isso gerou 42 valores do índice de concordância de Willmott. O valor médio e respectivo intervalo de confiança desse índice foi  $d = 0,42 \pm 0,03$ , indicando um desempenho fraco do modelo para simular a serrapilheira acumulada (Figura 10).



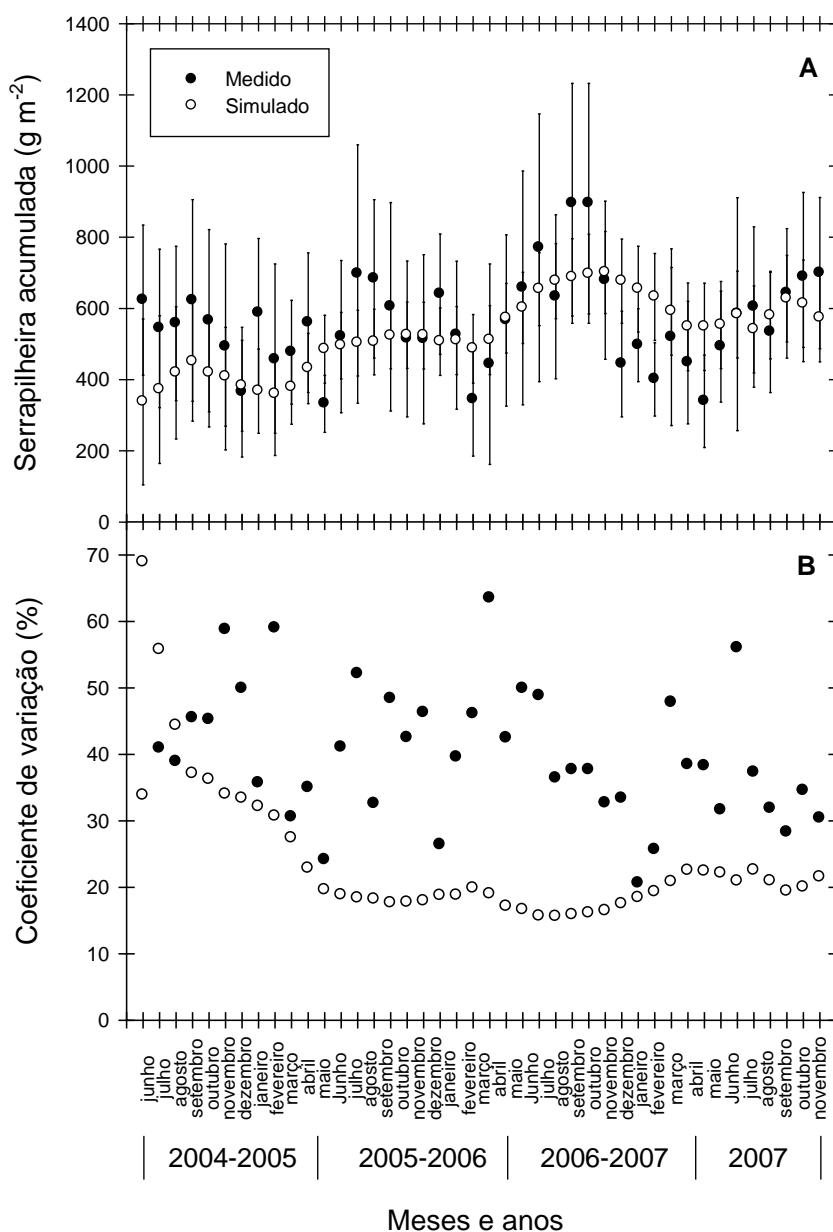
**Figura 10** - Histograma do índice de concordância de Willmott para avaliação do modelo de simulação da serrapilheira acumulada, levando-se em consideração a análise para cada ponto de coleta e obtendo por reamostragem o intervalo de confiança para  $d$ . Nota: As linhas tracejadas representam o intervalo de confiança, considerando-se para isso os percentis 0,975 para o limite superior e de 0,025 para o limite inferior.

A serrapilheira apresenta também uma variabilidade temporal associada à dinâmica dos processos de produção de decomposição (Figura 11).

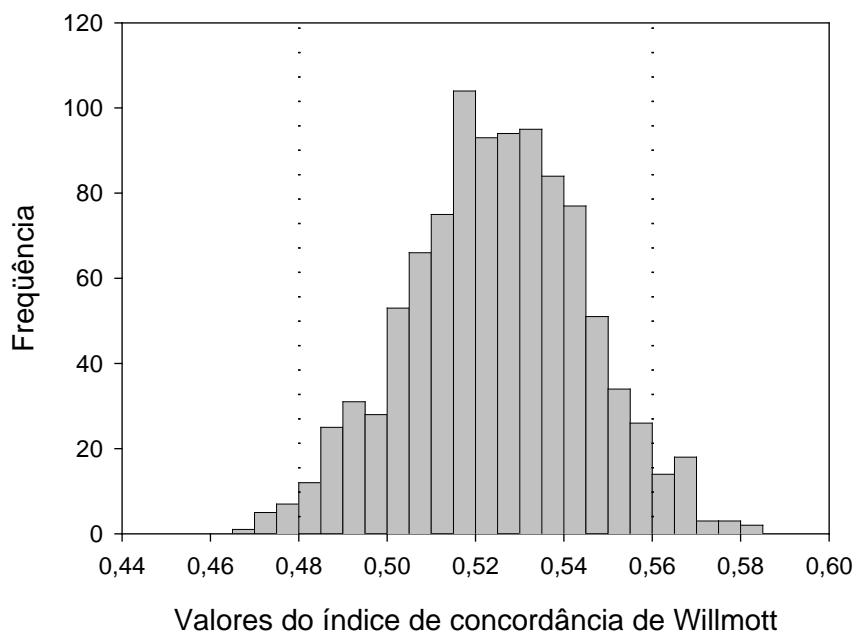
Na Figura 11 A foi observado que os valores de serrapilheira acumulada medidos e simulados tiveram uma diferença entre si maior do que aquela encontrada na Figura 10 A, apesar de que, em ambos os casos, há cruzamento das linhas que definem os desvios padrões desses valores. Apesar de terem tendências similares, os valores de serrapilheira simulados têm uma menor flutuação em relação aos valores medidos, tendo um comportamento mais estável em sua dinâmica temporal. Em relação ao coeficiente de variação (Figura 11 B), os valores de serrapilheira acumulada medidos em campo e simulados têm diferença entre si nas suas dinâmicas e nas flutuações dos valores encontrados, existindo maior flutuação para o CV da serrapilheira medida em relação à simulada.

Quando dentro de cada um dos meses de amostragem se avaliou a concordância entre os dados medidos e os simulados da serrapilheira acumulada para

cada ponto de amostragem, isso gerou 20 valores do índice de concordância de Willmott. Neste caso, o índice teve valor médio de  $d = 0,52 \pm 0,04$ , indicando um desempenho mediano do modelo para simular a serrapilheira acumulada (Figura 12).



**Figura 11** - (A) Dinâmica temporal dos valores médios de serrapilheira acumulada medidos em campo e simulados; (B) dinâmica temporal dos valores de serrapilheira acumulada medidos em campo e simulados em relação ao coeficiente de variação (%).

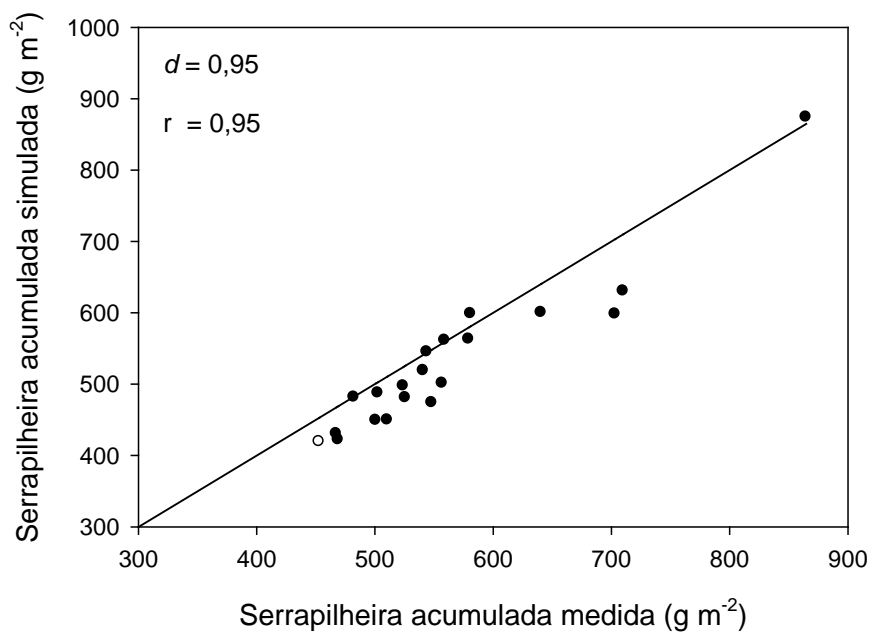


**Figura 12** - Histograma do índice de concordância de Willmott para avaliação do modelo de simulação da serrapilheira acumulada, levando-se em consideração a análise para cada mês de coleta e obtendo por reamostragem o intervalo de confiança para  $d$ . Nota: As linhas tracejadas representam o intervalo de confiança, considerando-se para isso os percentis 0,975 para o limite superior e de 0,025 para o limite inferior.

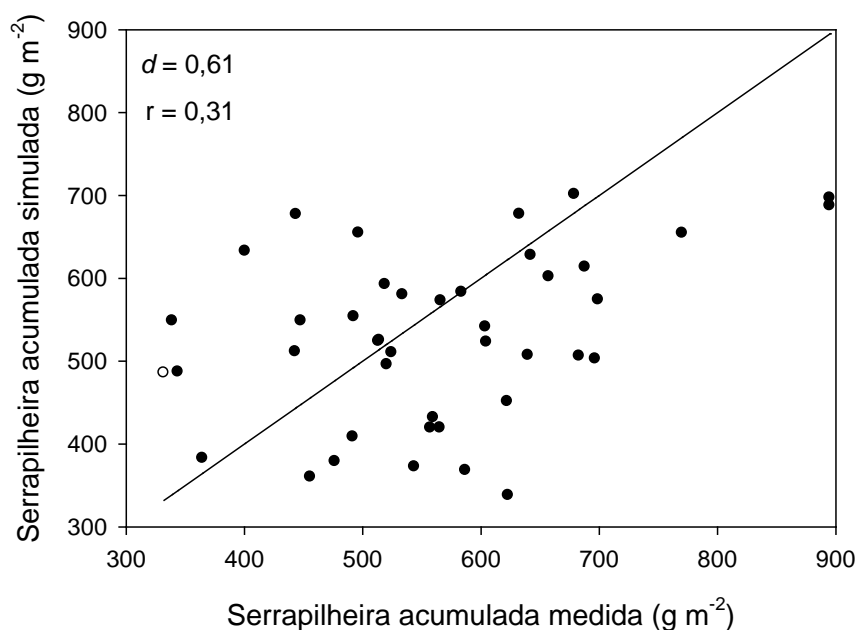
Tomando-se em consideração os valores médios medidos e simulados de serrapilheira acumulada (média dos 42 meses), o único conjunto de pares de dados permitiu estimar um valor de índice de concordância  $d$  igual a 0,95 (Figura 13). Isso indica que o efeito da variabilidade espacial afeta pouco a concordância entre os valores médios medidos e os simulados. Por outro lado, quando foram considerados os valores médios de serrapilheira acumulada simulados e medidos (média dos 20 pontos amostrais), o índice de concordância  $d$  obtido foi igual a 0,61 (Figura 14). Isso indica que a variabilidade temporal afetou em maior proporção a concordância entre os valores médios medidos e os simulados.

Do ponto de vista ecofisiológico, os valores pontuais de qualquer variável não são representativos do ambiente em estudo, havendo necessidade de se trabalhar com repetições. Os resultados indicam que a análise do modelo de simulação proposto neste trabalho, considerando as duas últimas análises (com os valores médios dos 42

meses e com os valores médios dos 20 pontos amostrais), apresenta uma aproximação mais realística e, menos afetada por dados espúrios, o que permite um ajuste maior aos dados originais medidos.



**Figura 13** - Comparação dos valores médios dos 42 meses para a serrapilheira acumulada simulada e medida.



**Figura 14** - Comparação dos valores médios dos 20 pontos de amostragem para a serrapilheira acumulada simulada e medida.

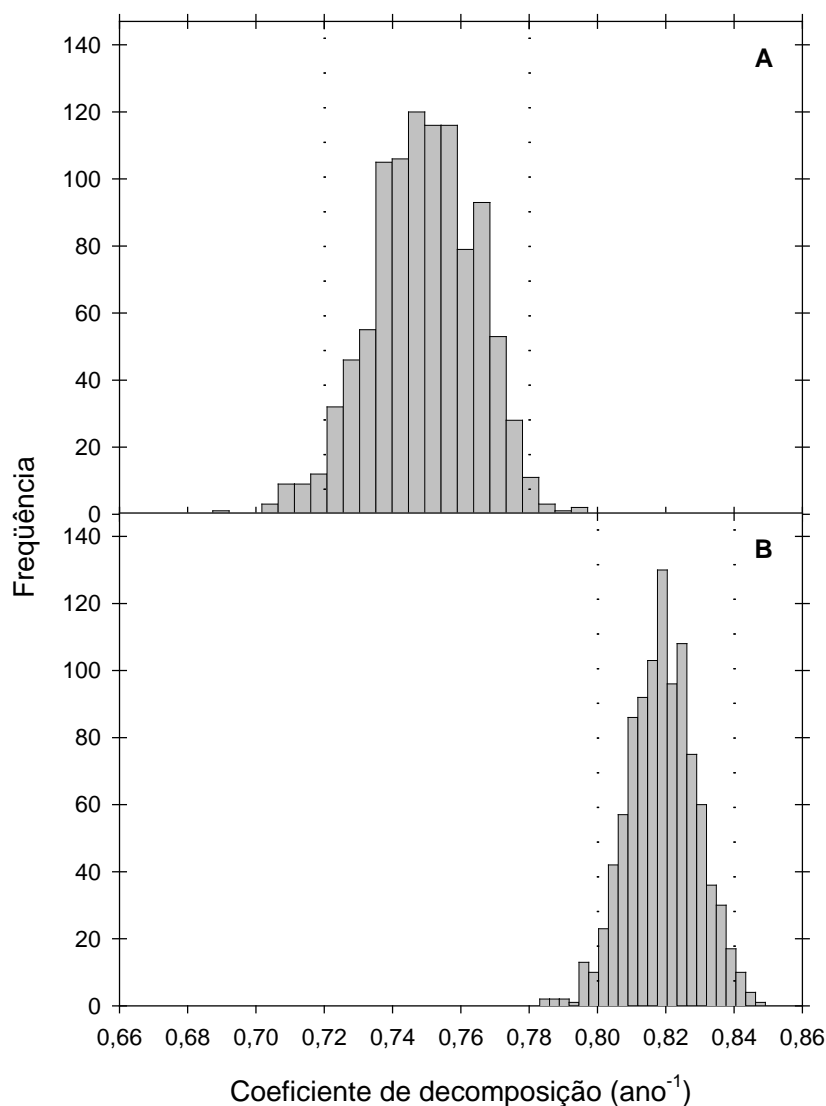
O modelo de simulação proposto revela um potencial de uso aparente, visto que a análise pelo índice de concordância de Willmott revelou valores de concordância que variaram de  $d = 0,42$  (valor mínimo obtido, considerando os valores individuais e o efeito da variabilidade espacial sobre a diferença entre os valores simulados e os medidos) até  $d = 0,95$  (valor máximo obtido, considerando os valores médios dos tempos de amostragem e o efeito da variabilidade espacial sobre a diferença entre os valores simulados e os medidos).

Nesse sentido, apesar das suas limitações, próprias da primeira aproximação do trabalho de modelagem, o modelo proposto está no caminho de propor um novo método para estimativa do coeficiente de decomposição da serrapilheira para qualquer condição, sem nenhum pressuposto a ser obedecido. Possivelmente, o modelo possa ser melhorado em seus aspectos mecanísticos considerando, por exemplo, uma estratificação temporal da serrapilheira acumulada, de tal sorte que o material mais velho sofra mais facilmente os efeitos da decomposição que aquele material mais novo que acaba de se compor a serrapilheira.

### **6.3 ESTIMATIVA DOS VALORES DO COEFICIENTE DE DECOMPOSIÇÃO DA SERRAPILHEIRA**

Os valores de  $K$  obtidos em cada ponto de amostragem para o intervalo de tempo considerado (entre junho de 2004 a novembro de 2007) empregando-se o método proposto neste trabalho, por meio de simulação por sistemas dinâmicos, apresentaram média de  $0,75 \pm 0,02 \text{ ano}^{-1}$  (Figura 15 A). Esse valor indica que, em média, 75% da serrapilheira acumulada sobre o solo se decompõem anualmente, ficando um resíduo de 25%. Os valores estreitos do intervalo de confiança de  $K$  (os limites são inferiores a 10% de diferença em relação à média) revelam que o número de pontos de observação empregados (20) foi suficiente para calcular o coeficiente de decomposição da serrapilheira ( $K$ ) com precisão, no ecossistema de floresta de transição Amazônia-Cerrado.





**Figura 15** - Histograma dos valores médios do coeficiente de decomposição da serrapilheira obtidos pelo método de simulação por sistemas dinâmicos (A) e pelo método de Olson (1963) (B). Nota: As linhas tracejadas representam o intervalo de confiança, considerando-se para isso os percentis 0,975 para o limite superior e de 0,025 para o limite inferior.

De acordo com o método proposto por Olson (1963), a média de  $K'$  encontrada foi igual a  $0,82 \pm 0,02 \text{ ano}^{-1}$  (Figura 15 B). Neste caso também os valores máximo e mínimo do intervalo de confiança apresentaram diferenças inferiores a 10% em relação à média.

Os valores obtidos para o método de modelagem por sistemas dinâmicos e pelo método de Olson (1963) foram significativamente diferentes entre si, pois os

intervalos de confiança não se sobrepuseram. Essa diferença pode ser analisada sob dois pontos de vista: (a) a de que, de fato, ela existe e (b) a de que é possível que outros fatores, não levados em consideração, influenciaram na sua existência.

Sob o primeiro ponto de vista, isso significa que os métodos fornecem resultados diferentes e, por tal razão, deve-se considerar que um ou outro fornece resultados mais próximos à realidade. Nesse caso, a única forma de se realizar tal análise seria a de, excluindo-se todos os demais fatores comentados no segundo ponto de vista, re-examinar se tal diferença se mantém e, em se mantendo, avaliar o comprometimento de cada método. Aquele com menos restrições passíveis de não cumprimento pode ser o que fornece dados mais fidedignos.

Sob o segundo ponto de vista, a diferença pode ter sido influenciada pelo fato de que o método de Olson (1963) leva em consideração o período de 12 meses (1 ano completo), e o modelo por sistemas dinâmicos, deste presente trabalho utilizou 42 meses de coletas de dados, faltando seis meses para completar o período de 4 anos (48 meses). Neste caso, considerando que o procedimento de modelagem é tão melhor quanto maior for o número de dados disponíveis, preferiu-se correr o risco de realizar a comparação entre os métodos considerando tal diferença no número de dados (seis meses de dados), do que igualar o banco de dados para ambos os métodos sofrendo o risco de diminuir a qualidade do modelo.

Entretanto, não só o modelo de simulação por sistemas dinâmicos deve ser criticado. Outro aspecto que de alguma forma pode comprometer os dados de  $K'$  e, portanto, conferir diferença entre  $K'$  e  $K$ , é o fato de que não necessariamente a variação anual da serrapilheira acumulada sobre o solo é nula (condição de equilíbrio dinâmico). Neste caso particular, verificou-se que 23,3% de todos os casos, 20 pontos de amostragem e três anos de intervalo de tempo, ou seja, 60 casos, a variação da serrapilheira acumulada foi significativa em nível de 5% de probabilidade e 36,7%, a 10% de probabilidade (Tabela 1).

**Tabela 1** - Valores dos coeficientes de regressão linear com respectivas significâncias estatísticas (*p*) para analisar a tendência da taxa de variação da serrapilheira acumulada.

Caixa	Anos	Coeficientes e respectiva significância estatística <i>p</i>				R <sup>2</sup>
		<i>a</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>	
1	1	689,3 ± 248,6	0,0001	-21,1 ± 30,1	0,1486	0,1164
	2	731,1 ± 535,0	0,0123	-12,8 ± 27,1	0,3155	0,0104
	3	460,5 ± 935,6	0,2985	1,8 ± 29,5	0,8919	-0,0978
2	1	910,1 ± 306,7	0,0000	-36,1 ± 37,1	0,0551	0,2523
	2	1980,1 ± 1227,1	0,0048	-56,2 ± 61,9	0,0705	0,2195
	3	3314,1 ± 2604,0	0,0176	-75,4 ± 82,17	0,0681	0,2243
3	1	435,1 ± 175,3	0,0002	1,1 ± 21,2	0,9043	-0,0983
	2	880,0 ± 756,1	0,0268	-20,9 ± 38,1	0,2501	0,0427
	3	2278,6 ± 1429,8	0,0052	-51,3 ± 45,1	0,0297	0,3299
4	1	490,2 ± 346,2	0,0102	-4,9 ± 41,9	0,7989	-0,0925
	2	1466,4 ± 801,6	0,0022	-44,9 ± 40,4	0,0327	0,3180
	3	3147,1 ± 1674,6	0,0018	-78,3 ± 52,8	0,0079	0,4737
5	1	474,8 ± 263,7	0,0024	-7,6 ± 31,9	0,6046	-0,0694
	2	782,3 ± 647,2	0,0225	-12,0 ± 32,6	0,4293	-0,0301
	3	1806,4 ± 707,8	0,0002	-40,8 ± 22,3	0,0022	0,5864
6	1	590,3 ± 529,9	0,0324	-3,6 ± 64,1	0,9005	-0,0982
	2	200,2 ± 1189,2	0,7153	23,4 ± 60,0	0,4048	-0,0226
	3	578,1 ± 1814,8	0,4940	-3,4 ± 57,2	0,8970	-0,0980
7	1	625,7 ± 189,7	0,0000	-24,0 ± 22,9	0,0419	0,2874
	2	908,6 ± 634,6	0,0096	-21,7 ± 32,0	0,1621	0,1040
	3	689,8 ± 810,5	0,0871	-7,8 ± 25,5	0,5076	-0,0504
8	1	374,0 ± 377,7	0,1116	13,5 ± 57,8	0,6120	-0,0706
	2	328,4 ± 673,4	0,3026	3,1 ± 34,0	0,8386	-0,0952
	3	1832,3 ± 854,7	0,0007	-41,7 ± 26,9	0,0062	0,4980
9	1	729,0 ± 405,3	0,0024	-23,6 ± 49,0	0,3091	0,0132
	2	273,9 ± 631,1	0,3563	8,4 ± 31,8	0,5679	-0,0629
	3	1672,8 ± 1408,9	0,0245	-36,9 ± 44,4	0,0935	0,1811
10	1	589,2 ± 317,6	0,0020	-4,0 ± 38,4	0,8178	-0,0938
	2	947,8 ± 661,4	0,0096	-22,4 ± 33,3	0,1644	0,1021
	3	3162,6 ± 1425, 1	0,0005	-78,6 ± 44,9	0,0029	0,5628

Continua...

...Continuação.

**Tabela 2** - Valores dos coeficientes de regressão linear com respectivas significâncias estatísticas ( $p$ ) para analisar a tendência da taxa de variação da serrapilheira acumulada.

	1	475,6 ± 234,1	0,0010	-5,8 ± 28,3	0,6573	-0,0774
11	2	828,3 ± 657,7	0,0186	-22,3 ± 33,2	0,1642	0,1022
	3	1190,8 ± 886,5	0,0135	-24,8 ± 27,9	0,0755	0,2103
	1	636,8 ± 288,1	0,0006	-21,0 ± 34,8	0,2078	0,0688
12	2	-144,2 ± 1519,1	0,8367	34,4 ± 76,7	0,3412	-0,0001
	3	2433,0 ± 1047,2	0,0004	-57,1 ± 33,0	0,0031	0,5574
	1	780,2 ± 289,3	0,0001	-34,3 ± 35,0	0,0538	0,2552
13	2	887,5 ± 605,4	0,0084	-11,1 ± 30,5	0,4338	-0,0314
	3	3120,2 ± 1961,2	0,0053	-75,8 ± 61,8	0,0211	0,3699
	1	583,8 ± 353,4	0,0042	-8,3 ± 42,8	0,6736	-0,0796
14	2	682,6 ± 814,1	0,0912	-10,4 ± 41,1	0,5832	-0,0657
	3	1823,3 ± 1066,5	0,0034	-40,6 ± 33,6	0,0227	0,3615
	1	439,7 ± 281,3	0,0059	7,3 ± 34,0	0,6421	-0,0753
15	2	866,6 ± 713,1	0,0220	-12,3 ± 36,0	0,4639	-0,0397
	3	666,7 ± 993,0	0,1386	-4,5 ± 29,1	0,7360	-0,0869
	1	475,5 ± 235,9	0,0011	-5,9 ± 28,5	0,6507	-0,0765
16	2	870,0 ± 826,0	0,0408	1'-6,4 ± 41,7	0,4002	-0,0211
	3	1978,6 ± 1172,4	0,0037	-44,8 ± 36,9	0,0222	0,3641
	1	793,3 ± 550,9	0,0093	-18,8 ± 66,7	0,5431	-0,0580
17	2	917,3 ± 1537,6	0,2132	-8,0 ± 77,6	0,8230	-0,0942
	3	1598,6 ± 1125,9	0,0101	-30,4 ± 35,5	0,0854	0,1936
	1	932,7 ± 561,3	0,0040	-39,2 ± 67,9	0,2277	0,0559
18	2	705,9 ± 926,1	0,1202	-0,1 ± 46,7	0,9937	-0,0999
	3	2534,1 ± 1326,5	0,0016	-57,8 ± 41,8	0,0116	0,4352
	1	654,0 ± 296,9	0,0006	-18,4 ± 35,9	0,2806	0,0265
19	2	350,0 ± 684,0	0,2807	3,8 ± 34,5	0,8084	-0,0932
	3	1219,5 ± 824,3	0,0080	-24,1 ± 26,0	0,0658	0,2288
	1	992,5 ± 272,1	0,0000	-60,6 ± 32,9	0,0021	0,5900
20	2	121,6 ± 712,4	0,7114	24,3 ± 35,9	0,1618	0,1043
	3	1488,8 ± 863,1	0,0032	-30,3 ± 27,2	0,0322	0,3199

Em geral, nos trabalhos em que se adota a metodologia proposta por Olson (1963), os autores não realizam a transformação do valor de  $K$  obtido segundo a Equação 1 em valores de  $K'$  obtido com o emprego da Equação 2. Fundamentalmente, os significados de  $K$  e de  $K'$  no trabalho de Olson (1963) são distintos. O  $K$  é uma relação entre a serrapilheira produzida e a acumulada, na qual se

tem um valor que representa quanto da serrapilheira produzida deve ser decomposta por unidade de serrapilheira acumulada, para manter a serrapilheira acumulada com um valor constante (em equilíbrio dinâmico). O  $K'$  por sua vez representa a probabilidade (entre 0 e 1) de que a serrapilheira acumulada sobre o solo seja decomposta, ou seja, 0 significa que não houve qualquer decomposição e 1 representa 100% de decomposição.

Os valores indicados de  $K'$  na Tabela 2 foram calculados a partir dos valores de encontrados por outras referências na literatura para demonstrar que o valor encontrado neste presente trabalho está de certa forma, equivalente em relação a outros valores encontrados para distintas tipologias florestais.

**Tabela 2** - Valores de  $K$  e  $K'$  para algumas tipologias florestais obtidos segundo o método de Olson (1963).

Fonte	Tipologia Florestal	$K$	$K'$
Alhamd, 2004	Floresta Subtropical	1,19	0,69
Arato <i>et al.</i> , 2003	Floresta Estacional Semi-decidual	1,17	0,68
Bambi, 2007	Floresta Tropical de Transição Amazônica	2,09	0,87
Cunha <i>et al.</i> , 1993	Floresta Estacional Decidual	1,20	0,69
Cunha, 1997	Floresta Estacional Semi-decidual	1,20	0,69
Kumada, 2006	Floresta Ombrófila Densa, Semi-densa	1,12	0,67
Morellato, 1992	Floresta Estacional Semi-decidual	1,60	0,79
Oliveira, 1997	Floresta Estacional Semi-decidual	1,90	0,85
Vital, 2004	Floresta Estacional Semi-decidual	1,70	0,81

Os valores de  $K$  após serem transformados em  $K'$  (Tabela 2), demonstram que o valor encontrado neste trabalho ( $K = 0,75$ ), está dentro do intervalo de valores obtidos em diferentes tipologias florestais, incluindo a própria floresta de transição Amazônia-Cerrado.

## 7 CONCLUSÕES

Ao fim deste trabalho obtiveram-se as seguintes conclusões:

- O modelo de simulação por sistemas dinâmicos se apresenta como uma ferramenta para estimar o processo de decomposição da serrapilheira, posto que não exige qualquer suposição inicial para o ecossistema, como por exemplo, a exigência de um estado de equilíbrio dinâmico da serrapilheira acumulada do método de Olson (1963).
- A validação do modelo de simulação por sistemas dinâmicos proposto neste trabalho revelou uma limitação na estimativa do valor da serrapilheira acumulada, quando considerados os dados individuais (para cada ponto de amostragem e para cada mês de coleta), que deixa de existir quando se utiliza os dados médios dos 42 meses, o que revela que esse modelo pode e deve ser futuramente melhorado com a inclusão da estratificação da serrapilheira acumulada e o estabelecimento de distintas probabilidades de decomposição dessa serrapilheira em função de sua idade.
- A média mensal da serrapilheira acumulada no período de estudo, de junho de 2004 a novembro de 2007, foi de  $563,25 \text{ g m}^{-2}$ , e a média mensal da serrapilheira produzida para o mesmo período foi de  $84,33 \text{ g m}^{-2}$ .
- O valor médio do coeficiente de decomposição da serrapilheira, determinado pelo modelo de simulação por sistemas dinâmicos foi de  $0,75 \text{ ano}^{-1}$ , com intervalo de confiança variando entre  $0,72$  a  $0,78 \text{ ano}^{-1}$ , diferindo significativamente do coeficiente  $K'$  de Olson (1963), que foi de  $0,82$ , com intervalo de confiança variando entre  $0,80$  a  $0,82 \text{ ano}^{-1}$ .

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADUAN, R. E. **Respiração de solos e ciclagem de carbono em cerrado nativo e pastagem no Brasil central**. 130p. Tese (Doutorado) UNB, Brasília, 2003.

ALHAMD, L.; ARAKAKI, S.; HAGIARA, A. Decomposition of leaf litter of four tree species in a subtropical evergreen broad-leaved forest, Okinawa Island, Japan. **Forest Ecology and Management**, v. 202, 1–11 2004.

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V., FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestral implantado para recuperação de área degradada em Viçosa - MG. **Revista Árvore**, v.27, n 5, p.715-721, 2003.

BAMBI, P. **Variação sazonal do índice de área foliar e sua contribuição na composição da serrapilheira e ciclagem de nutrientes na floresta de transição no norte do Mato Grosso**. 99p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - UFMT, Cuiabá, 2007.

CARUZZO, A. & ROCHA, H. R. N. Estimativa do índice de área foliar (IAF) em regiões de pastagem e floresta com um método indireto (“gap fraction”) durante o experimento AMC/LBA. *In*: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Rio de Janeiro, **Anais**, 2478-2485, 2000.

COÛTEAUX, M. M.; BOTTNER, P.; BJORN, B. Litter decomposition, climate and litter quality. **Revista árvore**, v.10, n 2, 63-66, 1995.

CUNHA, G. C. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em diferentes fases sucessionais de uma floresta estacional do Rio Grande do Sul**. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências/Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

CUNHA, G. C. *et al.* Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serrapilheira. **Ciência Florestal**, v. 3, n.1, 35-64, 1993.

DIAS, H. C. T. & OLIVEIRA-FILHO, A. T. Variação temporal e espacial da produção de serrapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua Montana em Lavras - MG. **Revista Árvore**, v.21, 11-26, 1997.

EWEL, J. J. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. **Journal of Ecology**, v. 64, 293-308, 1976.

FACELLI, J. M.; PICKETT, S. T. A. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. **The Botanical Review**, v. 57, 1-32, 1991.

FRANKEN, P. E. **Influência da serrapilheira acumulada na base da palmeira de sub-bosque *Attalea attaleoides* (Barb. Rodr.) Wess. Boer (Arecaceae) sobre a comunidade de formigas (Hymenoptera, Formicidae) em uma floresta de terra firme da Amazônia Central.** 46p. Dissertação (mestrado) - INPA/UFAM, Manaus, 2006.

HAYEK, T. F. **Diversidade, abundância e biomassa na decomposição de serrapilheira em parcelas de floresta primária, capoeira e policultivo da Amazônia Central.** 92p. Dissertação (mestrado) - INPA/UFAM, Manaus, 2000.

HÄTTENSCHEWILER, S.; GASSER, P. Soil animals alter plant litter diversity effects on decomposition. **PNAS**, vol. 102, n 5, 1519–1524, 2005.

KING, R. F.; DROMPH, K. M.; BARDGETT, R. D. Changes in species evenness of litter have no effect on decomposition process. **Soil Biology e Biochemistry**, v. 34, 1959-1963, 2002.



KOUKOURA, Z.; MAMOLOS, A. P.; KALBURTJI, K. L. Decomposition of dominant plant species litter in a semi-arid grassland. **Applied Soil Ecology**, 23, 13-23, 2003.

KUMADA, S.; KAWANISHI, T.; HAYASHI, Y.; OGOMORI, K.; KOBAYASHI, Y.; TAKAHASHI, N.; SAITO, M.; HAMANO, H.; KOJIMA, T.; LEITÃO-FILHO, H. F.; PAGANO, S. N.; CESAR, O.; TIMONI, J. L. 7 RUEDA, J. **J. Ecologia de mata atlântica em Cubatão, SP**. EDUNESP/EDUNICAMP, São Paulo, 1993.

LOUZADA, M. A. P.; QUINTELA, M. F. S. & PENNA. L. P. S. Estudo comparativo da produção de serrapilheira em áreas de mata atlântica: a floresta secundária “antiga” e uma floresta secundária (capoeira). *In*: ESTEVES, F. A. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro: UFRJ, 61-74, 1995.

MASON, C. F. Decomposition. **Camelot Press**, Southampton, p.58, 1977.

MASON, C. F. Decomposição. **Coleção de temas de biologia**, São Paulo: E.P.U., v.18, 63p., 1980.

MELO, J. T. de; RESCK, D. V. S. Retorno ao solo de nutrientes de serrapilheira de *Eucalyptus cloziana* no cerrado do Distrito Federal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. p.16, 2003.

MILES, D. M.; OWENS, P. R.; ROWE, D. E. Spatial variability of litter gaseous flux within a commercial broiler house: ammonia, nitrous oxide, carbon dioxide, and methane. **Poultry Science**, v 85, 167–172, 2006.

MIRANDA, E.J.; VOURLITIS, J.L.; FILHO, N.P.; PRIANTE, P.C.; CAMPELO JUNIOR, J.H.; SULI, G.S.; FRITZEN, C.L.; LOBO, F. de A.; SHIRAIWA, S. Seasonal variation in the leaf gas exchange of tropical forest trees in the rain forest-savanna transition of the southern Amazon Basin. **Journal of Tropical Ecology**. 21: 451-460, 2005.

MOLOFSKY, J.; AUGSPURGER, C. K. The effect of litter on early seedling establishment in a tropical forest. **Ecology**, v. 73, 68-77, 1992.

MONTAGNINI, F.; JORDAN, C. F. Reciclaje de nutrientes. In: GUARIGUATA, M. R.; KATTAN, G. H. (Eds.). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. **Catargo Ediciones**, LUR, 167-191, 2002.

MORELLATO, L.P.C. Nutrient cycling in two south-east brazilian forests I- Litterfall and litter standing crop. **Journal Tropical Ecology**, v. 8, 205-205, 1992.

NAEEM, S.; THOMPSON, L. J.; LAWLER, S. P.; LAWTON, J. H.; WOODFIN, R. M. Empirical evidence that declining species diversity may alter the performance of terrestrial ecosystem. **Hilosophical transactions of the Royal Society of London: B series**, 347, 249-262, 1995.

OLIVEIRA, R. E. **Aspectos da dinâmica de um fragmento florestal em Piracicaba SP: Silvigênese e ciclagem de nutrientes**. 1997. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciências/ Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, v. 44, n° 2, 322-331, 1963.

PAULA, J. D. **Decomposição da liteira em igarapé sob floresta e área alterada na Amazônia Central - Brasil**. 78p. Dissertação (mestrado) - INPA/UFAM, Manaus, 2007.

PERES, J. R. R.; SUHET, A.; VARGAS, M. A. T. & DROZDOWICZ, A. litter production in of Brazilian “Cerrados”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 18 (9): 37-43, 1983.

PINTO-JR, O. B. **Efluxo de do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem**. 79p. (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - UFMT, Cuiabá, 2007.

PRIANTE, F. N., HAYASHI, M. S., NOGUEIRA, J. S., CAMPELO JR., J. H., NUNES, P. C., SOUZA, L. S., COUTO, E. G. HOEGER, W., RAITER, F., TRIENWEILER, J. L., MIRANDA, E. J., PRIANTE, P. C., PEREIRA, L. C., BIUDES, M. S., FRITZEN, C. L., LACERDA, M., SULI, G. S., SHIRAIWA, S., SILVEIRA, M., VOURLITIS, G. L. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and mature transitional tropical forest of the southern amazon basin during the wet-dry season transition. **Global Change Biology**. 10: 863-876, 2004.

PRINGLE, L. **Ecologia: a ciência da sobrevivência**. Rio de Janeiro: biblioteca do exército. 1997. 52p.

RIBEIRO, L. **Dinâmica de nutrientes na serrapilheira, em um trecho de mata ciliar alagável com ninhal de aves do Rio Cuiabá, no Pantanal Barão de Melgaço-MT**. 53p. Monografia CCBS/IB/UFMT, Cuiabá, 1998.

RICHARDS, P. W. The tropical rain forest. **Cambridge University Press**, 443p, 1991.

RODRIGUES, R. R. & LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. ed., São Paulo: FAPESP, 320p., 2001.

SALA, O. E. **Methods in ecosystem science**. Ed. Springer, 421p, 2000.

SILVA, C. J. **Contribuição de folhas na formação da serrapilheira e no retorno de nutrientes em floresta de transição no norte de Mato Grosso.** 64p. Dissertação – (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – UFMT, Cuiabá, 2006.

SILVA, R. M. **Influência de variáveis meteorológicas na produção e decomposição de liteira na estação científica Ferreira Penna, Caxiuanã, PA.** 63p. Dissertação (mestrado) - UFV, Viçosa, 2004.

SIOLI, H. **Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de floresta tropicais.** ed. Vozes, Petrópolis, RJ, 72p. 1991.

SPOLADOR, J. **Incidência, Transmitância, Refletância e Fração absorvida da radiação fotossinteticamente ativa em uma Floresta de transição Cerrado-Amazonica.** 47p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - UFMT, Cuiabá, 2005.

SULI, G. S.; SILVEIRA, M.; YOSHITAKE, N. M.; PRIANTE FILHO, N.; VOURLITIS, G. L.; SANTOS, V. A. dos; KRENER, E. J. Proposta Metodológica para Avaliação Estatística de Biodiversidade Arbórea de Floresta de Terra Firme Amazônica, Centro-Norte de Mato Grosso. In: VI CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2003, Fortaleza, **Anais**, Fortaleza-CE, 2003. p. 66-68.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. Decomposition in terrestrial ecosystem. University of California Press, Berkeley, CA. In: NELSON, M. "Litterfall and decomposition rates in Biosphere 2 terrestrial biomes". **Ecological Engineering**. v. 13, 135-145, 1999.

TILMAN, D.; WEDIN, D.; KNOPS, J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystem. **Nature**. 379, 718-720, 1996.

VALENTINI, C. M. A. **Efluxo de do solo em uma área de floresta de transição no noroeste de Mato-Grosso.** 81p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), UFMT, Cuiabá, 2004.

Ventana Systems Inc. Vensim Modeling Guide: **Manual de modelagem**, 66p., 2008.

VITAL, A. R. T., GUERRINI, I. A., FRANKEN, W. K., FONSECA, R. C. B., Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n 6, 793-800, 2004.

WANDELLI, E. V. & MARQUES FILHO, A. de O. Medidas de radiação solar e índice de área foliar em coberturas vegetais. **Acta Amazônica**. v 1, n 29, 57-78, 1999.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2: 184–194, 1981.