

Modelagem Matemática da decomposição e acúmulo da serrapilheira em um cultivo florestal

Arlete Cherobini¹ e Pedro Augusto Pereira Borges²

Departamento de Física, Estatística e Matemática, DeFEM, UNIJUI

Rua São Francisco, 501, Bairro São Geraldo

98 700-000, Ijuí, RS

e-mail: pborges@unijui.tche.br

Geraldo Ceni Coelho³

Departamento de Biologia e Química, DBQ, UNIJUI 98 700-000, Ijuí, RS

e-mail: coelho@unijui.tche.br

Resumo: A serrapilheira é formada pelo conjunto de folhas, ramos, flores, frutos e outros materiais biológicos que se depositam sobre o solo. Neste trabalho foram coletados dados de entrada de serrapilheira para um plantio florestal de duas espécies nativas, a grandíuva (*Trema micrantha* (L.) Blume) e a aroeira periquita (*Schinus molle* L.), com idade de 30-41 meses. Para verificar o processo de decomposição da serrapilheira, amostras de 1,0 a 2,0 g foram acondicionadas em tela de tecido com aberturas de 1 mm, dispostas sob o plantio de grandíuva, objetivando comparar a degradação das folhas das duas espécies em condições ambientais idênticas. Com base nos dados experimentais foi proposto um modelo matemático exponencial para o fator de decomposição da serrapilheira, somente em função do tempo e outro modelo na forma de equações diferenciais para a descrição da massa remanescente de serrapilheira. Usando os modelos propostos foram feitas simulações das variações da massa de serrapilheira durante o crescimento de duas espécies arbóreas nativas.

1. Introdução

A serrapilheira (também conhecida como manta orgânica ou *litter*) é formada por todo o material biológico depositado sobre o solo, e é composto principalmente por folhas, casca, frutos e ramos. A decomposição deste material e a conseqüente incorporação no solo constituem um dos processos mais importantes na recuperação de áreas agrícolas e manutenção de florestas. Nas regiões tropicais úmidas os solos tendem a se tornar empobrecidos

em bases, em fósforo e com alto teor de alumínio trocável. Nestas regiões, a recirculação de nutrientes, através da queda e decomposição da serrapilheira, é rápida e assegura a manutenção da vegetação florestal, apesar da baixa fertilidade do solo.

O estudo da decomposição da serrapilheira tem tido diferentes abordagens: influência da natureza química da serrapilheira na velocidade de decomposição, com ênfase no teor de lignina [2],[3] e [4]; investigação sobre a ação dos microorganismos e invertebrados que atuam na decomposição [5],[10]e[6]; no estudo das variáveis físicas tais como o tamanho das partículas e da superfície exposta à ação dos microorganismos, e da influência da temperatura e umidade [1],[18] e [8]. Em [14] a taxa de variação da massa foi considerada proporcional à massa presente de serrapilheira. Com essa hipótese, a massa de serrapilheira teria um decaimento exponencial, tendendo a zero na medida em que o tempo tendesse para infinito. Em [4], apoiando-se no estudo de [11], foi proposto um valor assintótico para o modelo exponencial, que corresponde a uma fração de massa da serrapilheira que não se decompõe. Em [7] foi admitido que a fração recalcitrante também se decompõe, embora com taxas muito baixas.

Os modelos acima consideram a serrapilheira uniforme, portanto apresentando um coeficiente de decaimento ou fator de decomposição (k) constante para qualquer tempo. O pressuposto de que k é constante não é confirmado por estudos de campo e de laboratório. A matéria orgânica é formada de n componentes, cada um apresentando um fator de decomposição ([13] e [15]). Nesta hipótese, a taxa de variação da massa é proporcional à soma das massas presentes, multiplicadas pelo fator de decomposição de cada componente.

¹ Aluna do Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI

² Professor do DeFEM e do Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI

³ Professor do DBQ e do Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI

Outra forma de abordagem é considerar que a variação interna dos componentes e suas respectivas reatividades (potencial de decomposição) são uma variável contínua, e k varia em função do tempo. Em [13] e [12] foi proposta uma função potência para descrever a relação entre k e o tempo.

Neste trabalho foram desenvolvidos dois modelos matemáticos: um para descrever a variação de k em função do tempo, com base em dados experimentais; e outro para prever a decomposição e o acúmulo de serapilheira (massa remanescente) em um sistema transiente, ou seja, considerando o crescimento de populações arbóreas de idade homogênea. Foram utilizados os dados de um reflorestamento com grandíuva (*Trema micrantha* (L.) Blume) e de aroeira-periquita (*Schinus molle* L.), espécies pioneiras de usos múltiplos.

2. Materiais e métodos

Foram realizados dois tipos de experimentos: o primeiro para determinar a massa que entra na serapilheira; e o segundo para determinar a variação do fator de decomposição. Os experimentos foram realizados no IRDeR - Instituto Regional de Desenvolvimento Rural/Fidene, localizado no município de Augusto Pestana – RS (28° 26' 32'' de latitude Sul e 54° 00' 12'' de latitude Oeste). O solo é do tipo Latossolo Vermelho DISTROFÉRICO de textura argilosa.

2.1. Massa que entra na serapilheira

Para a determinação da massa que entra na serapilheira a cada mês (X_o), foram utilizados 10 coletores de serapilheira de $0,25 \text{ m}^2$ de superfície ($0,50 \times 0,50 \text{ m}$) em cada cultivo (grandíuva e aroeira). A coleta de serapilheira foi realizada entre dezembro de 2003 a dezembro de 2004, correspondendo ao intervalo de 30 a 41 meses de idade das árvores. Como serapilheira considerou-se todo o material vegetal composto por folhas, casca, frutos e ramos finos com menos de 1 cm de diâmetro (serapilheira fina). A serapilheira foi seca em estufa a 50° C por 48 h.

2.2. Fator de decomposição

A decomposição da serapilheira foi estudada utilizando-se amostras de 1,0-2,0 g, colocadas em sacos com tela de nylon de malha de 1,0 mm. Estas amostras foram dispostas sobre o solo, no interior do plantio florestal. Uma sub-amostra de 10 unidades foi retirada mensalmente, durante 8 meses, para determinação da variação do fator de decomposição $k(t)$.

3. Modelo matemático da serapilheira remanescente

O modelo de serapilheira remanescente para um caso transiente com entrada de massa proposto neste trabalho, envolve três grandezas variáveis relacionadas entre si: o crescimento da árvore, a decomposição da serapilheira e a massa nova que entra na serapilheira. As seguintes premissas orientam a formulação do modelo:

1. A entrada de massa na serapilheira (X_o) ocorre em porções, cada uma em um instante de tempo;
2. A massa de serapilheira acumulada em um determinado instante de tempo é composta por n frações (X_i), cada qual em um estágio de decomposição diferente, e portanto com um valor de k correspondente; e
3. Os valores de k variam de forma contínua.

3.1. Modelo para o crescimento das árvores e entrada de massa na serapilheira

O aumento da produção de serapilheira mensal (X_o), foi considerado como uma função do crescimento da população de árvores, de acordo com as seguintes hipóteses:

- 1ª) A cada ano a massa inicial da serapilheira é acrescida de um valor Δ_i proporcional ao crescimento da árvore no período i ;
- 2ª) A massa final que entra na serapilheira de um ano é a massa inicial do ano seguinte (princípio de continuidade da função $X_o(t)$);
- 3ª) A função $X_o(t)$ repete sua forma, mas modifica a amplitude em cada a cada período (ano), com um valor Δ_i

Em [3] a massa de serapilheira produzida foi relacionada com a altura, área basal e o diâmetro da copa. No entanto, nenhuma destas variáveis, ou suas combinações, constitui uma relação absoluta. Para simplificar esta questão, neste trabalho, foi admitida a hipótese de que a massa de serapilheira produzida é proporcional a altura (Y) da árvore. Com os dados de crescimento já existentes para o talhão [16], foi escolhida a função de Richards [9] para calcular a altura das árvores para cada tempo.

$$Y = A(1 - e^{-at})^{1/(1-m)} \quad (1)$$

onde Y é a altura da árvore (m)

A é a altura máxima estimada da árvore (m)

a é um parâmetro de ajuste (1/mês)

m é um parâmetro de ajuste (adimensional)

t é o tempo (meses).

O coeficiente A da equação (1) foi determinado com base nos dados da Tabela 1, enquanto que o parâmetro m

foi mantido fixo em 0,5 e o parâmetro a foi ajustado com base nos dados de crescimento das árvores. A Figura 1 apresenta as curvas de crescimento das duas espécies estudadas juntamente com os dados experimentais e parâmetro da Tabela 1.

Espécies	Altura máxima 8 anos (A) (m)	a (1/s)
Grandiúva	9	0,048
Aroeira	7	0,044

Tabela 1 – Dados e parâmetro de crescimento da população de árvores de grandiúva e aroeira-periquita.

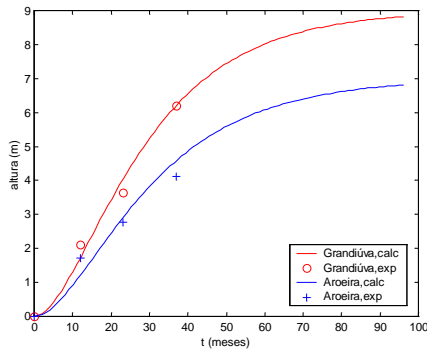


Figura 1 - Curvas de crescimento em altura.

Com a informação do crescimento das árvores, foi estabelecida uma relação de proporcionalidade entre a altura (Y) e o acréscimo Δ_i na massa que entra na serapilheira, para $i=1,2,3...$ anos, expressa pela equação (3).

$$\frac{X_{oi+1}}{X_{oi}} = \frac{Y_{i+1}}{Y_i} \text{ ou } X_{oi+1} = \frac{Y_{i+1}}{Y_i} X_{oi} \quad (2)$$

onde X_o é a massa que entra na serapilheira
 Y é a altura da árvore
 os sub-índices i e $i+1$ indicam os meses anterior e posterior, respectivamente.

O acréscimo de massa a cada ano, de acordo com a 1ª hipótese é

$$\Delta_i = X_{oi+1} - X_{oi} \quad (3)$$

Substituindo X_{oi} da equação (2) em (3), obtém-se

$$\Delta_i = X_{oi} \left(\frac{Y_{i+1}}{Y_i} - 1 \right) \quad (4)$$

Os dados experimentais utilizados neste trabalho referem-se ao 3º ano de vida da árvore. Sobre eles foi realizado um ajuste considerando uma função

polinomial de 3º grau. A Figura 2 apresenta os dados experimentais e as curvas ajustadas. A equação (4) foi utilizada para o cálculo da massa que entra na serapilheira nos três primeiros anos. Essa adaptação foi realizada com dois procedimentos: primeiro, a massa do 1º ano, foi obtida subtraindo a massa do 1º mês em todas as massas dos meses do 4º ano. Esse procedimento faz com que no instante do nascimento da árvore não há produção de serapilheira. Os valores negativos foram considerados de massa zero; segundo, as massas do 2º e 3º ano foram determinadas aplicando o acréscimo proporcional à altura da árvore, de acordo com a equação (4), nos valores de X do 1º ano.

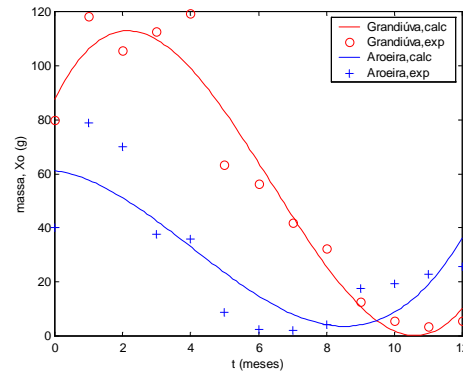


Figura 2 - Massa que entra na serapilheira no 4º ano de plantio.

3.2. Modelo para o fator de decomposição da serapilheira

O fator de decomposição é uma função ($k(t)$) associada à taxa de decomposição da serapilheira. Neste trabalho, sua unidade de medida é $1/mês$ e foi determinado experimentalmente para cada espécie, por ajuste de curvas com base na função

$$k(t) = (k_o - k_\infty) e^{-bt} + k_\infty \quad (5)$$

onde k_o é o valor de k no primeiro mês de coleta de dados
 k_∞ é o valor de k estacionário (quando t tende a infinito)
 b é um parâmetro de ajuste.

A Tabela 2 apresenta os valores de k_o , k_∞ e b , resultantes do ajuste das curvas e a Figura 3 apresenta os dados experimentais, juntamente com as curvas ajustadas para o fator de decomposição das espécies estudadas.

Espécies	k_o	k_∞	b
Grandiúva	0,012	0,0037	0,5320
Aroeira	0,015	0,0040	0,5246

Tabela 2 – Valores dos parâmetros da equação (5)

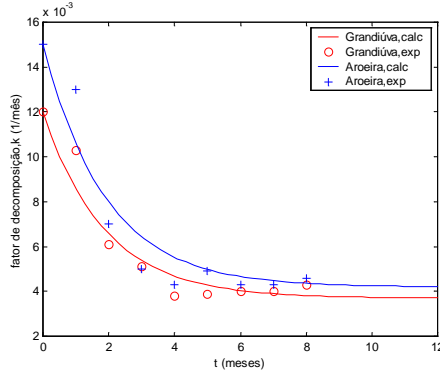


Figura 3 - Fator de decomposição para o período experimental de 8 meses.

3.3. Modelo para a serapilheira remanescente

Para descrever a decomposição de cada fração de massa que entra na serapilheira foi utilizado o modelo de [14], porém considerando o fator de decomposição como uma função do tempo, na forma da equação (6).

$$\frac{dX^{(i)}}{dt} = -k(t)^{(i)} X^{(i)} \quad (6)$$

onde $X^{(i)}$ é a massa remanescente de serapilheira (g) $k(t)^{(i)}$ é a função fator de decomposição (1/mês) e i indica o número da fração que entra na serapilheira,

Esta equação não é uma equação de balanço de massa como a equação utilizada por [17] e [19], mas apenas uma relação entre a taxa de variação de X_i com a massa presente. Assim, para $i=0$ tem-se X_0 que é a massa que entra na serapilheira em um instante de tempo, considerado sempre zero para o cálculo de X_i . Esta é uma condição inicial da equação diferencial (6).

$$X(0) = X_0 \quad (7)$$

A solução de (6) com a condição inicial (7) e a equação (5) como $k(t)$ dá a massa de serapilheira remanescente em cada instante de tempo, de cada entrada de massa X_{oi} .

$$X_i(t) = X_{oi} e^{-\frac{k_o - k_\infty}{b} [e^{-bt} - 1]} - k_\infty t \quad (8)$$

Colocando as massas X_0 de cada entrada i na diagonal principal de uma matriz $\mathbf{X}_{n \times n}$ onde n é o número total de entradas de massa em um tempo Δt e os valores de X_i calculados com a equação (8) nas respectivas linhas, obtém-se a matriz de decomposição e acúmulo de serapilheira.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_{o1} & X_1(1\Delta t) & X_1(2\Delta t) & X_1(3\Delta t) & \dots & X_1(n\Delta t) \\ 0 & X_{o2} & X_2(1\Delta t) & X_2(2\Delta t) & \dots & X_2(n\Delta t) \\ 0 & 0 & X_{o3} & X_3(1\Delta t) & \dots & X_3(n\Delta t) \\ 0 & 0 & 0 & X_{o4} & \dots & X_4(n\Delta t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & X_{on} \end{bmatrix} \quad (9)$$

onde X_{oi} são as massas que entram na serapilheira $X_i(j\Delta t)$ é a massa remanescente de serapilheira relativa a entrada i no instante $j\Delta t$, sendo que $i \leq j \leq n$.

Os valores de $X_i(j\Delta t)$ para $i=1,2,3,\dots,n$ e $j=0,1,2,3,\dots,n$, são os valores da função massa remanescente de serapilheira $X(t)$ e a soma dos elementos de uma coluna j de \mathbf{X} dá a massa acumulada de serapilheira no instante $j\Delta t$.

$$X(j\Delta t) = \sum_{i=1}^n X_i((n-i)\Delta t) \quad (10)$$

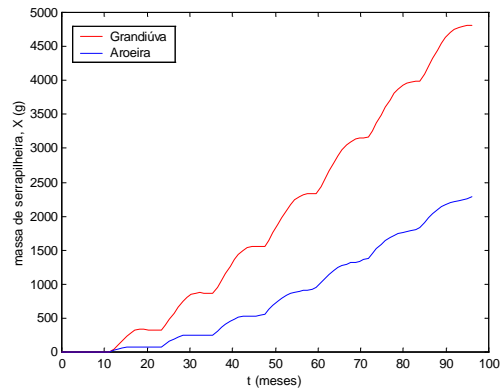


Figura 4 – Massa de serapilheira remanescente sobre o solo (g/m²) no período de 8 anos para as duas espécies estudadas.

A Figura 4 apresenta os resultados da equação (10) para a grandiúva e aroeira, para o período de 8 anos.

4. Conclusões

Observa-se que o valor de k é variável em função do tempo, porém apresenta uma estabilização a partir de aproximadamente de 4 meses, possivelmente correspondendo a fase onde resta somente a chamada fração recalcitrante da serapilheira [2].

O modelo pressupõe que toda a massa de serapilheira depositada se decompõe em um tempo infinito, dispensando o estabelecimento de um valor assintótico para a massa de serapilheira, como o proposto por outros autores [3]. Tal fração indecomponível, denominada recalcitrante, se acumularia infinitamente, o que não corresponde à realidade. Com efeito, existem estudos propondo que a matéria orgânica acumulada em ecossistemas terrestres continua se degradando após centenas de anos, embora a taxas muito reduzidas [7].

Com o ajuste da variação do $k(t)$ a uma função exponencial, faz-se necessário usar um valor assintótico para esta variável. Este valor é obtido a partir de experimentos de decomposição, supondo-se que o valor estacionário de k possa ser encontrado neste prazo curto, que no presente estudo foi de 8 meses.

O valor de serapilheira acumulada no sistema pode ser considerado muito alto, especialmente no caso da grandíuva, ou seja, cerca de 43.000 kg/ha. É possível que isto ocorra porque a correlação entre produção de serapilheira e crescimento (em altura) esteja produzindo uma superestimativa de entrada de serapilheira. No modelo, considera-se que Δ_i é diretamente proporcional a altura (Y). É possível que o incremento em X_o , não seja uma função linear de Y , o que deverá ser estudado através da acumulação de dados ao longo do crescimento das espécies.

5. Referências bibliográficas

- [1] A. M. Austin, & P. M. Vitousek, Precipitation, decomposition and litter decomposability of *Metrosideros polymorpha* in native forests on Hawai'i. *Journal of Ecology*, vol. 88, p. 129-138, 2000.
- [2] B. Berg, A.V. de Santo, F. A. Rutigliano, A. Fierro and G. Ekbohm. Limit values for plant litter decomposing in two contrasting soils – influence of litter elemental composition. *Acta Oecologica*, vol. 24, p. 295-302, 2003.
- [3] B. Berg, G. Ekbohm, M.B. Johansson, C. McLaugherty, F. A. Rutigliano and A.V. de Santo. Some foliar litter types have a maximum limit for decomposition—a synthesis of data from forest systems. *Canadian Journal of Botany*, vol. 74, p. 659–672, 1996.
- [4] B. Berg, G. Ekbohm,. Litter mass-loss rates and decomposition patterns in some needle and leaf litter types. Long-term decomposition in a Scot pine forest. VII. *Canadian Journal of Botany*, v. 69, p. 1449-1456, 1991.
- [5] E. Bossata and G.I. Ågren. Theoretical analysis of microbial biomass dynamics in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 26, n. 1, p. 143-148, 1994.
- [6] H. A. Cárcamo, C. E.Prescott,; C. P.Chanway, T. A.Abe, Do soil fauna increase rates of litter breakdown and nitrogen release in forests of British Columbia, Canada? *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 31, p. 1195-1204, 2001.
- [7] M.M. Coûteaux, K.B. McTiernan, B. Berg, D. Szuberla, P. Dardenne and P. Pottner. Chemical composition and carbon mineralization potential of scots pine needles at different stages of decomposition. In: *Soil Biology Biochemistry*. Vol. 30, Nº 5. Elsevier Science Ltda. pp. 583-595, 1998.
- [8] M.M. Coûteaux, A. Aloui and. C. Kurz-Besson. *Pinus halepensis* litter decomposition in laboratory microcosms as influenced by temperature and a millipede, *Glomeris marginata*. In: *Applied Soil Ecology*, v. 20, n. 2, p.85-96, 2002.
- [9] F C. A. G. Finger, *Fundamentos de Biometria Florestal*. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992.
- [10] K. E. Hammel, Fungal degradation of lignin. In: G. Cadish & K. E. Giller, *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. CAB International: Cambridge, 1997, p. 33-45.
- [11] P.J.A. Howard and D.M. Howard. Microbial decomposition of tree and shrub leaf litter. *Oikos*, 25:341-352. Copenhagen 1974.
- [12] B. H. Janssen, A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' organic matter. *Plant and Soil*, vol. 76, p. 481-491, 1984.
- [13] J. J. Middelburg. A simple rate model for organic matter decomposition in marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica acta*, v. 53, p. 1577-1581, 1989.
- [14] J. S. Olson. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* vol. 44, p. 322-331, 1963.
- [15] K. Paustian; G.I. Ågren and E. Bossata. Modelling litter quality effects on decomposition and soil organic matter dynamics. In: G. Cadish & K. E. Giller, *Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. CAB International: Cambridge, 1997, p. 313-335.
- [16] J. Petry; A. Hüller e G. C. Coelho. Análise Comparativa do crescimento inicial de *Schinus molle* L. (aroeira-periquita) e *Trema micrantha* (L.) Blume (grandíuva). In: O. A. Lucchese,; G. C. Coelho, (Org.). Biodiversidade e cultura: a gestão ambiental em foco. Editora da UNIJUÍ: Ijuí, 2003, p.127-133.
- [17] R. J. Raison; P. V. Woods,; P. K. Khanna, Dynamics of fire fuels in recurrently burnt eucalypt forest. *Aust. For.*, vol. 46, p. 294-302, 1983.
- [18] J. A Trofymow,.; T. R. Moore,; B. Titus, C. E.Prescott; I. Morrison,; M. Siltanen, , S. Smith,; J. Fyles,; R. Wein,; C. Camiré,; L. Duschene,; L. Kozak, M. Kranabetter,; S. Visser. Rates of litter decomposition over 6 years in Canadian forests: influence of litter quality and climate. *Canadian Journal of Forestry Research*, vol. 32, p. 789-804,

2002.

- [19] J. Turner, & M. J. Lambert. Litterfall and forest floor dynamics in *Eucalyptus pilularis* forests. *Austral Ecology*, vol. 27, p. 192-199, 2002.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.