

# DECOMPOSIÇÃO E APORTE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E GRUPOS SUCESSIONAIS NA RESTAURAÇÃO

Lucas Florêncio Mariano <sup>1</sup>, Glória Fabiani Leão da Costa <sup>2</sup>, Francisca Alcivania de Melo Silva <sup>3</sup>, Fátima Conceição Márquez Piña-Rodrigues <sup>4</sup>

<sup>1</sup>Biólogo, Doutorando PPGPUR UFSCAR, Assistente em UNESP, campus Registro/SP(lucas.mariano@unesp.br); <sup>2</sup>Engenheira Florestal, Mestranda, PPGPUR UFSCAR (gloria@estudante.ufscar.br); <sup>3</sup>Engenheira Agrônoma, Dra., Docente, UNESP, campus Registro/SP (alcivania.silva@unesp.br), <sup>4</sup>Engenheira Florestal, Dra., Docente, UFSCAR, campus Sorocaba/SP (fpina@ufscar.br)

**Resumo:** A busca por novos modelos de restauração e a avaliação do retorno de nutrientes para que reabilitem as funcionalidades são importantes considerados a demanda crescente por restauração florestal. O presente estudo teve como objetivo avaliar os nutrientes e a decomposição da serapilheira em modelos de restauração adotando diferentes espaçamentos (1 x 0,3 m; 2 x 1,0 m; 1 x 1 m; 2 x 1 m) associados à proporções distintas pelos grupos sucessionais de pioneiras-P e não pioneiras- NP (40P-60NP; 60P-40NP; 20P-80NP). O experimento foi instalado em 2012 e as coletas de serapilheira ocorreram em bimestralmente em 2019 e foi utilizado a fração folhas para análises químicas. Para avaliação da decomposição foram instalados litterbags, onde a serapilheira foi coletada ao longo de 6 meses. Os modelos estudados, na idade de 7 anos de restauração sob diferentes espaçamentos apresentaram diferença em relação ao teor e aporte de nutrientes, o teor de N, Ca e Mg apresentou alteração entre os espaçamentos e o teor de Ca foi o único elemento que apresentou alterações para proporção por grupo sucessional. O espaçamento foi o tratamento mais significativo, resultando em uma relação de maior aporte de nutrientes em menores espaçamentos. A decomposição de serapilheira não apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos.

**Palavras-chave:** Nutrição florestal; Decomposição; Serapilheira.

## Introdução

A restauração florestal torna-se relevante devido ao aumento da degradação florestal e os compromissos de restauração tem grande potencial de reverter esse prejuízo, por isso, as tomadas de decisões devem ser cuidadosas, visando restaurar, reabilitar e tornar as funcionalidades dos ecossistemas florestais resilientes no longo prazo (JACOBS et al. 2015).

Estudos em Floresta Estacional Semidecidual verificaram que alguns modelos de restaurações não propiciaram o retorno de processos ecológicos fundamentais como a ciclagem de nutrientes (SAMILA; FRANCO; PIÑA-RODRIGUES, 2017; FERNANDES; FREITAS; RODRIGUES, 2017; GALETTI et al., 2018).

A discussão sobre o insucesso das restaurações e a busca por novos padrões, torna-se relevante a ponto de não analisar somente o produto da cobertura florestal, mas também os processos que garantam a autonomia da área ao longo do tempo (FERNANDES et al., 2017; SAMILA; FRANCO; PIÑA-RODRIGUES, 2017; GALETTI et al., 2018). Uma das lacunas para estudo de novas formas de restauração, segue a combinação de espécies, espaçamentos, densidades e distribuição das mudas no campo (CALDEIRA et al, 2019).

Nesse contexto, pretende-se responder a seguinte questão: Como o aporte de nutrientes e a decomposição de serapilheira, foram afetados em diferentes modelos de restauração?

## Material e métodos

O estudo foi realizado na região de Itu, São Paulo, em propriedade de 526 ha situada a 23°14'15.18"S e 47°24'3.29"O. A fisionomia vegetal regional é predominante de Floresta Atlântica Estacional Semidecidual (IBGE, 2012) com transição para Cerrado. O clima da região é classificado como Cwa - inverno seco e verão quente, sendo a precipitação média anual de 1.299,6 mm e a temperatura média anual de 21,3 °C (ALVARES et al., 2013).

O experimento foi instalado em março de 2012 com mudas produzidas no viveiro local, empregando-se o delineamento experimental fatorial parcial com três blocos ao acaso e 10 tratamentos (Tabela 1). Os plantios foram realizados em blocos, nos quais foram distribuídas parcelas com 70 mudas em diferentes espaçamentos e proporção entre grupos sucessionais de plantas pioneiras e não pioneiras

TABELA 1: Descrição dos modelos de restauração de áreas degradadas e dos tratamentos implantados na área de estudo situada em Itu, São Paulo, Brasil. Plantio em março de 2012.

| Modelo de restauração | Espaçamento  | Proporção por grupo sucessional                  | Tratamentos |
|-----------------------|--|--|-------------|
| <b>Adensado</b>       | 1 x 1 m (1 m <sup>2</sup> /planta)                                   | 60% de espécies pioneiras e 40% de não pioneiras | T1          |
|                       |  | 60% de não pioneiras e 40% de pioneiras          | T2          |
|                       |  | 80% de não pioneiras e 20% de pioneiras          | T3          |
| <b>Semi-adensado</b>  | 2 x 1 m (2 m <sup>2</sup> /planta)                                   | 60% de espécies pioneiras e 40% de não pioneiras | T4          |
|                       |  | 60% de não pioneiras e 40% de pioneiras          | T5          |
|                       |  | 80% de não pioneiras e 20% de pioneiras          | T6          |
| <b>Denso</b>          | 1 x 0,3 m - 3 plantas/m <sup>2</sup><br>(0,3 m <sup>2</sup> /planta) | 60% de espécies pioneiras e 40% de não pioneiras | T7          |
|                       |  | 60% de não pioneiras e 40% de pioneiras          | T8          |
|                       |  | 80% de não pioneiras e 20% de pioneiras          | T9          |
| <b>Convencional</b>   | 3 x 2 m (6 m <sup>2</sup> /planta)                                   | 60% de espécies pioneiras e 40% de não pioneiras | T10         |

A coleta da serapilheira foi bimestralmente no ano de 2019, foi utilizado coletores circulares com 64 cm de diâmetro (0,32 m<sup>2</sup>), dispostos transversalmente e equidistantes em cada repetição dos tratamentos e suspensos a 1,20 m de altura.

As amostragens para as análises de nutrientes da serapilheira aportada foram realizadas por tratamento (n=10) de fevereiro de 2019, bimestralmente até dezembro de 2019 (n= 6 meses). Das três frações coletadas e secas em estufa, somente a fração folha foi devidamente moída em moinho tipo Willey para análise de nutrientes.

As amostras foram analisadas e determinados os teores de nitrogênio (N), fosforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). O N pelo método Kjeldahl, o P por colorimetria, o S por turbidimetria do sulfato de bário, o K, Ca e Mg, em espectrofotômetro de absorção atômica, após digestão nítrico-perclórica segundo propostos por Malavolta; Vittti; Oliveira (1989). Os resultados foram expressos em teores (g do elemento por kg de serapilheira (g.kg<sup>-1</sup>)). A partir da determinação dos teores dos elementos, se determinou o conteúdo dos nutrientes, isto é, a quantidade de cada nutriente contido na serapilheira aportada, segundo a equação descrita em Scoriza et al. (2012):

$$\text{Equação. } C_e = t_e \cdot T_s / 1000$$

Onde:

C<sub>e</sub> é o conteúdo do elemento "e" (kg); t<sub>e</sub> é o teor do elemento "e" na serapilheira (g kg<sup>-1</sup>) e T<sub>s</sub> corresponde à quantidade de serapilheira aportada (kg ha<sup>-1</sup>)

Para o estudo da degradação da serapilheira foram montados litterbags (sacos de polímero sintético, 20 x 20 cm com malha de 2 mm) conforme Scoriza et al (2012). Os litterbags foram instalados em julho de 2019 e distribuídos em proporção de três por tratamento (n= 10) em cada bloco (n= 3) por período de coleta (n= 6 meses) totalizando 540 unidades. Cada litterbag foi preenchido com um mix de, no máximo 10 gramas de folhas secas das espécies presentes em cada tratamento e que não apresentassem sinais de decomposição ou, ao menos, sendo homogêneas quanto ao grau de fragmentação (SCORIZA et al., 2012). Mensalmente, ao longo de 180 dias, foram coletados 90 litterbags em sacolas individuais e levados para estufa a 60 °C até atingir a massa constante e posterior pesado em

balança semi-analítica.

A quantificação da decomposição foi feita com base na perda de massa seca a partir da massa inicial em relação à amostrada em cada período de coleta, a partir do tempo zero (instalação). A partir destes valores a constante de decomposição (k) foi estimada, segundo a equação abaixo:

$$\text{Equação. } X_t = X_0 \cdot e^{-kt}$$

Onde:

$X_t$  = é a massa do material remanescente após t dias e  $X_0$  = é a massa inicial do material seco colocado nos litterbags, sendo k a constante de decomposição calculada a partir da plotagem da relação entre perda de massa e tempo (SCORIZA et al., 2012). A velocidade de decomposição foi calculada considerando-se o % de massa seca remanescente de cada coleta em relação à inicial.

Para avaliar os pressupostos, os dados foram submetidos à análise de normalidade (teste de Shapiro Wilk) e homogeneidade da variância dos erros (teste de Levene). Para avaliar a ocorrência de diferenças e interações no teor e aporte de nutrientes e decomposição entre os espaçamentos e as proporções por grupos sucessionais, foram realizadas as análises no modelo geral linear (GLM) com distribuição Gamma e função de ligação “identity”. Como variável resposta foi utilizado o aporte de nutrientes sendo utilizados o teor, aporte e, para a decomposição da serapilheira, foi utilizada a constante K e o tempo de meia vida. Como variável explicativa foram usados os espaçamentos e as proporções por grupos sucessionais, aplicando-se o teste de Tukey para a comparação das médias.

Considerou-se o nível de 5% de significância para a inclusão das variáveis independentes e a análise gráfica da distribuição dos resíduos. As análises estatísticas foram realizadas no ambiente estatístico R STUDIO, com os pacotes “car” para teste de homogeneidade e normalidade, “RT4Bio” para desvios de resíduos do modelo GLM, “multcomp” para comparar as médias do GLM.

## Resultados e Discussão

Em relação aos resultados do teste GLM para teores de nutrientes das proporções por grupo sucessional (Tabela 4), observou-se acréscimos significativos somente para o teor de cálcio ( $F=3.47$ ;  $p=0.047$ ) no tratamento 60P40NP. Para os demais teores de nutrientes não foi obtida diferença significativa. Também foi observado que não houve diferença para os valores de aporte de nutrientes.

No que se refere aos espaçamentos, houve diferença significativa para o teor de nitrogênio ( $F=5.02$ ;  $p=0.007$ ), sendo o tratamento 1 x 1 m o que apresentou maior diferença e o teor de magnésio ( $F= 3.00$ ;  $p=0.050$ ) sendo o espaçamento 1 x 0,3 m o que obteve maior valor e não houve diferença para os demais teores. Para os aporte de nutrientes entre os diferentes espaçamentos houve diferença significativa para nitrogênio ( $F= 3.74$ ;  $p= 0.024$ ), cálcio ( $F= 4.02$ ;  $p= 0.018$ ), magnésio ( $F= 5.06$ ;  $p= 0.007$ ), potássio ( $F= 7.30$ ;  $p= 0.001$ ) e enxofre ( $F= 3.89$ ;  $p= 0.021$ ) sendo o tratamento 1 x 0,3m que apresentou maiores valores em relação a outros espaçamentos e não houve diferença somente para fósforo.

Estes valores de  $F < 1$  evidenciam o efeito de fatores não controlados pela análise, possivelmente a alta variação entre parcelas de cada bloco em relação aos outros blocos. Ao mesmo tempo reforça a complexidade da análise da proporção de grupos ecológicos tanto para a serapilheira quanto para o teor de nutrientes, sendo necessário inserir em um estudo futuro o levantamento de dominância de espécies e análises químicas foliares das espécies chaves do sistema de restauração.

TABELA 4: Teores (g/kg-1) e aporte (Kg/ha-1) de nutrientes nos diferentes modelos de restauração na área experimental durante o ano de 2019, em Itu, São Paulo, Brasil. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não

diferem entre si, pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ) para cada ano de plantio e modelos testados.

| Identificação                     | N        | P      | K      | Ca      | Mg      | S       |
|-----------------------------------|----------|--------|--------|---------|---------|---------|
| <b>Teor g kg<sup>-1</sup></b>     |          |        |        |         |         |         |
| Proporção por grupos sucessionais |          |        |        |         |         |         |
| 60NP40P                           | 16.1 A   | 1.2 A  | 3.9 A  | 11.0 A  | 2.5 A   | 1.4 A   |
| 60P40NP                           | 16.0 A   | 1.3 A  | 4.3 A  | 11.5 B  | 2.6 A   | 1.5 A   |
| 80NP20P                           | 16.0 A   | 1.2 A  | 4.1 A  | 11.0 A  | 2.5 A   | 1.5 A   |
| Espaçamentos                      |          |        |        |         |         |         |
| 1 x 0.3 m                         | 15.6 B   | 1.2 A  | 4.3 A  | 11.6 A  | 2.8 A   | 1.5 A   |
| 1 x 1 m                           | 17.0 A   | 1.3 A  | 3.8 A  | 11.1 AB | 2.4 B   | 1.4 A   |
| 2x 1 m                            | 15.8 B   | 1.2 A  | 4.0 A  | 10.9 B  | 2.4 B   | 1.5 A   |
| 3 x 2 m                           | 15.3 B   | 1.2 A  | 4.8 A  | 11.1 AB | 2.5 AB  | 1.4 A   |
| <b>Aporte Kg ha<sup>-1</sup></b>  |          |        |        |         |         |         |
| Proporção por grupos sucessionais |          |        |        |         |         |         |
| 60NP40P                           | 132 A    | 10.0 A | 33 A   | 90.9 A  | 21 A    | 12.4 A  |
| 60P40NP                           | 118 A    | 9.3 A  | 32 A   | 85.9 A  | 20 A    | 10.6 A  |
| 80NP20P                           | 135 A    | 10.1 A | 36 A   | 93.6 A  | 21 A    | 16.6 A  |
| Espaçamentos                      |          |        |        |         |         |         |
| 1 x 0.3 m                         | 140.3 A  | 10.9 A | 44.5 A | 103.7 A | 24.5 A  | 13.5 A  |
| 1 x 1 m                           | 132.5 AB | 10.0 A | 29.1 B | 88.6 AB | 19.0 AB | 11.6 AB |
| 2x 1 m                            | 122.3 AB | 9.5 A  | 28.6 B | 85.6 AB | 19.1 AB | 11.4 AB |
| 3 x 2 m                           | 86.4 B   | 6.8 A  | 26.2 B | 63.4 B  | 14.2 B  | 7.9 B   |

O aporte de nutrientes em função do espaçamento evidencia uma relação de menor espaçamento entre plantas com maior aporte de nutrientes, essa relação também é verificada em pesquisa realizada por Villa et al (2016).

Os resultados do presente estudo indicaram que, quanto menor o espaçamento do plantio, mais rápida foi a recuperação das funções de retorno de nutrientes. Isso pode ser considerado na estratégia de restauração uma vez que, dependendo do objetivo, da velocidade de restauração pretendida e do orçamento disponível, a densidade de mudas afeta diretamente não só a quantidade de nutrientes aportados, mas também os custos do plantio.

Aos 180 dias de coleta dos litterbags o resultado do teste GLM evidenciou não haver diferença significativa para a taxa de decomposição k em relação aos espaçamentos ( $F= 1.04$ ;  $p= 0.392$ ) e às proporções por grupo sucessionais ( $F= 0.37$ ;  $p= 0.692$ ) (Tabela 5). Também não apresentou diferença estatística para o tempo de meia vida nos diferentes espaçamentos ( $F= 1.90$ ;  $p= 0.156$ ) e entre proporção por grupo sucessionais ( $F= 0.23$ ;  $p= 0.739$ ).

Entre os tratamentos avaliados nesse estudo, as menores constantes k foram encontradas para a proporção 60NP40P e espaçamento 2 x 1 m e, conseqüentemente, maiores tempos de meia vida. Os resultados dos testes estatísticos podem representar que os efeitos dos espaçamentos na área experimental não foi um fator que produziu diferenças na velocidade decomposição. Por causa da mudança da proporção de diferentes grupos sucessionais que ocorreu ao longo do experimento, não foi possível verificar um efeito ao temporal para os grupos sucessionais. Portanto, estudos futuros, podem incluir o inventário de campo e fatores, como microrganismos, qualidade foliar, umidade do solo e buscar entender os efeitos dos espaçamentos e grupos ecológicos na decomposição.

TABELA 5: Constante de decomposição (K) e tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) da serapilheira no último mês (180 dias) de avaliação nos diferentes modelos de restauração na área experimental em Itu, São Paulo, Brasil. Médias seguidas

pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ )

| Identificação                     | k (g.g.dia <sup>-1</sup> ) | t½ (dias) |
|-----------------------------------|----------------------------|-----------|
| Proporção por grupos sucessionais |                            |           |
| 60NP40P                           | 0.0026 A                   | 280 A     |
| 60P40NP                           | 0.0027 A                   | 269 A     |
| 80NP20P                           | 0.0027 A                   | 265 A     |
| Espaçamentos                      |                            |           |
| 1 x 0,3 m                         | 0.0028 A                   | 257 A     |
| 2 x 1 m                           | 0.0024 A                   | 305 A     |
| 1 x 1 m                           | 0.0029 A                   | 248 A     |
| 3 x 2 m                           | 0.0025 A                   | 282 A     |

O comportamento apresentado da velocidade de decomposição mostrou uma porcentagem mais rápida nos primeiros 30 dias, alcançando decomposição média de 14,9%. Entre 30 e 90 dias, houve menor taxa de decomposição entre os tratamentos (2,4%), e aumento progressivo médio de decomposição 5,2 %, 6,3% e 6,8% para 90 a 120, 120 a 150 e 150 a 180, respectivamente. Essas rampas de maior e menor velocidade podem ser explicadas pelo fato de a decomposição seguir um padrão exponencial, reforçando os estudos que evidenciam que o processo não é constante (GRUGIKI et al., 2017; JUNIOR et al., 2019).

Avaliando a decomposição causada por efeitos antrópicos, Silva et al. (2018) verificaram média de 28% de decomposição nos 30 primeiros dias, o que atribuíram a grande contribuição do material orgânico, lixiviação de açúcares e proteínas e o segundo período mais lento à quebra de componentes recalcitrantes, como celulose e lignina. No período de 30 até 90 dias, onde ocorreu menor velocidade de decomposição no presente estudo, esse comportamento pode estar relacionado com a menor precipitação observada durante esses meses, reduzindo a atividade microbológica do solo (GRUGIKI et al., 2017).

## Conclusões

Os modelos estudados, na idade de 7 anos de restauração sob diferentes espaçamentos apresentaram diferença em relação, teor e aporte de alguns nutrientes e não apresentaram diferença para decomposição. Os tratamentos por grupo sucessional não influenciaram a decomposição e os teores de nutrientes, exceto para o cálcio. Há a necessidade de levantamento fitossociológico para verificar o efeito da dominância das espécies. Na metodologia de decomposição sugere-se inserir mais critérios de avaliação da decomposição, tais como microrganismos, qualidade foliar, abertura e fechamento de dossel e cobertura de herbáceas.

## AGRADECIMENTOS

A UFSCar, campus Sorocaba/SP e UNESP campus Registro/SP pela estrutura dos laboratórios de pesquisa e ao Centro de experimento SOS Mata Atlântica em Itu/SP pela cessão da área experimental.

## Referências Bibliográficas

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

- FERNANDES, G. E.; FREITAS, N. P. D.; RODRIGUES, F. C. M. P.-. Cobertura florestal ou função ecológica: a eficácia da restauração na bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**. n. 44, p. 127–145, 2017.
- CALDEIRA, M. V. W.; GODINHO, T. D. O.; MOREIRA, F. L.; CAMPANHARO, Í. F.; CASTRO, K. C.; MENDONÇA, A. R. D.; TRAZZI, P. A. Litter as an ecological indicator of forest restoration processes in a dense ombrophylous lowland forest. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 26, n. SPE1, 2019
- GALETTI, G. et al. Análise multicriterial da estabilidade ecológica em três modelos de restauração florestal. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, , n. 48, p. 142–157, 2018.
- GRUGIKI, M. A.; ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R.; FERREIRA, A. C. F. Decomposição e atividade microbiana da serapilheira em coberturas florestais no sul do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, p. 1-12, abr. 2017.
- IBGE. **Manual técnico da brasileira**. 2ª edição Rio de Janeiro, 2012. 271 p.
- JACOBS, D. F. et al. Restoring forests: what constitutes success in the twenty-first century? **New For**. 46, 601–614. 2015.
- JUNIOR, D. G. et al. Decomposition of Leaf Litter in Semideciduous Submontane Forest, in The Southern State of Espírito Santo. **Floresta Ambiente**. Seropédica , v. 26, n. spe1, e20180400, 2019.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, SP. Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato. 201p. 1989.
- SAMILA, J. D. A.; FRANCO, F. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Funcionalidade Ecológica De Modelos De Restauração: Microbacia Do Ribeirão Piraí, Cabreúva, Sp. **Revista do Instituto Florestal**. v. 29, n. 2, p. 181–197, 2017.
- SCORIZA, R.N. et al. Métodos para coleta e análise de serapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. **Floresta e Ambiente** v.2, n.2, p. 01 - 18, 2012
- VILLA, E. B. et al. Aporte de serapilheira e nutrientes em área de restauração florestal com diferentes espaçamentos de plantio. **Floresta Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 90-99, 2016.