

# Perda de carbono em resíduos de origem vegetal: efeito das características (bio)químicas iniciais

## Carbon loss in plants residues: effect of initial (bio)chemical characteristics

João Ricardo Sousa<sup>1,\*</sup> e João Coutinho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas (CITAB), UTAD, Vila Real, Portugal

<sup>2</sup> Centro de Química (CQ), UTAD, Vila Real, Portugal

(\*E-mail: jricardo@utad.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.28467>

### RESUMO

A gestão da matéria orgânica do solo, através da aplicação dos resíduos das culturas, pressupõe o conhecimento do respetivo processo de decomposição e mineralização, de modo a fornecer informações importantes, quer ao nível da libertação de nutrientes para as culturas, quer no rendimento de húmus, para a manutenção da fertilidade e qualidade do solo. O objetivo do presente trabalho é avaliar os processos de decomposição de diferentes resíduos vegetais, através da respetiva estimativa da dimensão e dinâmica, com base no ajustamento do modelo exponencial negativo de um reservatório. Os resultados revelaram diferenças significativas para os parâmetros  $C_0$  e  $k_C$ , com os valores a variarem entre os 270 a 661 g/kg e 0,008 a 0,027 dia<sup>-1</sup>, respetivamente, de acordo com a ordem decrescente: Trem; Pt; Rm; e  $F_{vid}=F_{cast}=F_{mac}$ . Foram observadas correlações significativas entre a qualidade (bio)química inicial dos materiais e os  $C_0$  e  $k_C$ , com os indicadores de  $C_{sol}$  ( $r^2$  0,977\*\*\*) e  $Len$  ( $r^2$  0,969 \*\*\*) dos resíduos vegetais a revelarem-se como os mais robustos nas estimativas da dimensão e dinâmica dos respetivos processos de perda de C. Estes resultados revelam a necessidade de integração de indicadores mais eficientes na avaliação dos processos de decomposição/humificação, de modo a tornar a aplicação de resíduos orgânicos mais ecocompatível.

**Palavras-chave:** Carbono, decomposição, humificação, resíduos, solo.

### ABSTRACT

The management of soil organic matter, through the application of crop residues, implies the knowledge of the respective decomposition and mineralization process, in order to provide important information, in terms of the release of nutrients to the crops and in the humus yield, for the maintenance soil fertility and quality. The objective of the present work is to evaluate the processes of decomposition of different plant residues, through the respective estimation of the dimension and dynamics, based on the adjustment of the negative exponential model of one pool. The results revealed significant differences for the parameters  $C_0$  and  $k_C$ , with the values varying between 270 to 661 g/kg and 0.008 to 0.027 day<sup>-1</sup>, respectively, following the decreasing order: Trem, Pt, Rm and  $F_{vid}=F_{cast}=F_{mac}$ . Significant correlations were observed between the initial (bio)chemical quality of the materials and the  $C_0$  and  $k_C$ , with the indicators of  $C_{sol}$  ( $r^2$  0.977\*\*\*) and  $Len$  ( $r^2$  0.969 \*\*\*) of the vegetal residues revealing the more robust results in estimation of the dimension and dynamics of C loss processes. These results reveal the need to integrate more efficient indicators in the evaluation of decomposition/humification processes, in order to make the application of organic residues more eco-friendly.

**Keywords:** Carbon, decomposition, humification, residues, soil.

## INTRODUÇÃO

O teor de húmus, a fração mais estável da matéria orgânica do solo, é resultado de um equilíbrio entre os processos de decomposição biológica e os ganhos decorrentes da restituição de resíduos das culturas, como folhas, palhas, raízes, e aplicação de corretivos orgânicos ao solo (Zech *et al.*, 1997). Este equilíbrio sensível, dependente do balanço de entradas e saídas de matéria orgânica do solo, é fortemente influenciado pelas condições edafológicas e ambientais e qualidade (bio)química dos respetivos materiais orgânicos que, por sua vez, influenciam a respetiva dinâmica, fazendo variar o teor de húmus no solo.

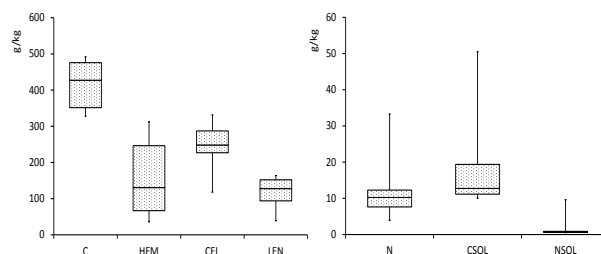
O estudo dos processos de decomposição dos resíduos orgânicos torna-se, assim, uma ferramenta importante na avaliação dos processos decomposicionais/humificação. A estimativa das frações potencialmente mineralizáveis do carbono ( $C_0$ ) e respetivas dinâmicas ( $k_C$ ), bem como a sua dependência de fatores de qualidade dos resíduos orgânicos, ajudam a melhor entender os processos de humificação e sequestro de C associado à aplicação de resíduos orgânicos no solo.

Deste modo, o objetivo do presente trabalho centra-se na avaliação do efeito da qualidade (bio)química inicial de resíduos vegetais nos respetivos processos de mineralização de C, durante um período de 392 dias de incubação, em condições de campo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Na realização do trabalho foram considerados seis resíduos vegetais de origem e características (bio)químicas variadas: (i) folhada de castanheiro (Fcast); (ii) folhada de macieira (Fmac); (iii) folhada videira (Fvid); (iv) palha de trigo (Pt); (v) restolho de milho (Rm) e (vi) tremocilha (Trem) (Figura 1). Uma massa de material, equivalente a 10 toneladas por hectare, foi individualmente colocada a incubar num saco de decomposição (12 cm\*7 cm e malha 1 mm), enterrado a 10 cm de profundidade, num Regossolo eutrício (pH 6,8; matéria orgânica 15,2 g/kg; N total 0,6 g/kg, argila 10,6 g/kg e classe de textura areno-franco). Para cada resíduo foram consideradas quatro repetições e seis datas de amostragem (28, 56, 85, 112, 224 e 392 dias), num

total de 144 sacos de decomposição, colocados em simultâneo a incubar *in-situ*, em condições de clima Mediterrâneo, durante um período de 392 dias (Sousa *et al.*, 2016).



**Figura 1** - Diagramas de extremos e quartis para os parâmetros de carbono (C), azoto (N) totais, carbono ( $C_{sol}$ ) e azoto ( $N_{sol}$ ) orgânico solúvel, hemicelulose (HEM), celulose (CEL) e lenhina (LEN), determinados para avaliação (bio)química inicial dos resíduos vegetais.

Em cada data de amostragem foram recolhidos quatro sacos de decomposição por material e, após limpeza para eliminação de resíduos e partículas de solo, foram colocados em estufa a 60 °C para determinação da matéria seca (MS). Uma toma de MS ( $\pm 50$  mg) de cada material foi usada para determinação dos teores de C remanescente na MS, por via seca, através de NIRD, após combustão a 1100 °C, em autoanalisador SKALAR®. Posteriormente, os valores foram corrigidos através da determinação do teor de cinzas.

Os dados obtidos para cada material foram ajustados a um modelo de um único reservatório [ $C_{MSR} = C_0 * (\exp(-k_C t)) + (1000 - C_0)$ ] (Olson, 1963), para estimativa das respetivas constantes de C potencialmente mineralizável ( $C_0$ ) (mg/kg MS) e a respetiva cinética associada ( $k_C$ ) ( $\text{dia}^{-1}$ ), através do método *NonLin*, com base no software Systat®. Com base nos dados estimados foram determinados os respetivos tempos de semi-vida ( $t_{50\%}$ ) ( $0,693/k_C$ ), para cada material. Por sua vez, os valores obtidos foram sujeitos a uma análise de normalidade e homogeneidade, pelos testes de Kolmogorov e Barlett, respetivamente, seguida da realização de uma ANOVA a um fator, acompanhada do teste de Tukey para um grau de probabilidade de  $p \leq 0,05$ . Por sua vez, os valores de  $C_0$  e  $k_C$  foram correlacionados com os parâmetros (bio)químicos iniciais e determinadas as respetivas relações, através de modelos de regressão linear simples.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da qualidade de ajustamento dos dados ao modelo de um único reservatório e respetivas constantes associadas a cada resíduo vegetal estudado são apresentados no Quadro 1.

O modelo testado revelou uma elevada exatidão, explicando mais de 95% da variação do C mineralizável em todos os resíduos vegetais, com as respetivas constantes a registar diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre si, com os valores a variarem entre os 270 a 661 g/kg, para o  $C_0$ , e 0,007 a 0,027  $\text{dia}^{-1}$  para a  $k_c$  (Quadro 1).

**Quadro 1** - Valores das constantes estimadas pela aplicação do modelo de um único reservatório,  $C_0$  e  $k_c$ , tempo de semi-vida ( $t_{50\%}$ ) e respetiva qualidade de ajustamento ( $r^2_{\text{ajust}}$ )

| Material | $C_0$<br>(g/kg) | $k_c$<br>( $\text{dia}^{-1}$ ) | $r^2_{\text{ajust}}$ | $t_{50\%}$<br>(dia) |
|----------|-----------------|--------------------------------|----------------------|---------------------|
| Fcast    | 320 ab          | 0,008 a                        | 0,971 ***            | 93 d                |
| Fmac     | 270 a           | 0,009 a                        | 0,958 ***            | 67 d                |
| Fvid     | 318 ab          | 0,011 a                        | 0,972 ***            | 72 d                |
| Pt       | 404 c           | 0,018 c                        | 0,976 ***            | 32 b                |
| Rm       | 361 bc          | 0,016 b                        | 0,966 ***            | 58 c                |
| Trem     | 661 d           | 0,027 d                        | 0,992 ***            | 26 a                |

Para cada coluna, relativa a cada parâmetro, linhas seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, para 5% de probabilidade; \*\*\* significativo para um grau de probabilidade de 0,1%.

A Trem foi o material que apresentou maior fração de C mineralizável (661 g/kg), associado a uma elevada dinâmica de decomposição (0,027  $\text{dia}^{-1}$ ), que se traduziu por um  $t_{50\%}$  de 26 dias. Os maiores teores de  $C_{\text{sol}}$  e  $N_{\text{sol}}$ , associados a reduzidos teores de elementos estruturantes, como a Len, conferem a este resíduo uma elevada e acelerada decomposição no solo, comportamento consistente com os resultados observados por Abiven *et al.* (2005).

Seguiram-se os resíduos Pt e Rm que apresentaram um comportamento similar, com valores de  $C_0$  equiparados (Quadro 1). A menor disponibilidade de N total ou em formas solúveis ( $N_{\text{sol}}$ ) nestes materiais, parece limitar os fenómenos de decomposição (Reinertsen *et al.*, 1984), os quais apresentaram valores de  $C_0$  entre os 361 e 404 g/kg MS. Em termos cinéticos, as diferenças observadas poderão

estar relacionadas com os maiores teores de Len do Rm, em que a maior resistência desta fração aos processos biológicos (Talbot *et al.*, 2012), quase duplica o  $t_{50\%}$  deste material comparativamente à Pt (Quadro 1).

Com um comportamento diferenciado dos restantes materiais, as folhadas de castanheiro (Fcast), macieira (Fmac) e videira (Fvid) apresentaram valores de  $C_0$  e  $k_c$  similares, entre 270 a 320 g/kg MS e 0,008 a 0,011  $\text{dia}^{-1}$ , respetivamente. Estes valores são resultado dos maiores teores de Len e, nestes materiais em particular, dos maiores teores de polifenóis, que limitam fortemente a mineralização de C (Fox *et al.*, 1990) aumentando de forma significativa o  $t_{50\%}$ , comparativamente aos restantes materiais (Quadro 1).

Sendo a qualidade química inicial dos materiais um dos vetores mais importantes do processo de decomposição da matéria orgânica no solo, foram estabelecidas correlações entre os parâmetros (bio) químicos iniciais dos materiais e os valores das constantes estimadas ( $C_0$  e  $k_c$ ), sendo os resultados apresentados no Quadro 2.

Os resultados indiciam correlações positivas significativas entre os indicadores das frações solúveis ( $C_{\text{sol}}$  e  $N_{\text{sol}}$ ) ou o teor total de N, elemento normalmente limitante nos processos de decomposição deste tipo de resíduos, que promovem um maior  $C_0$  e  $k_c$ , sempre que os respetivos teores de N nos resíduos aumentam. Por sua vez, pelo contrário, os indicadores de frações mais resistentes

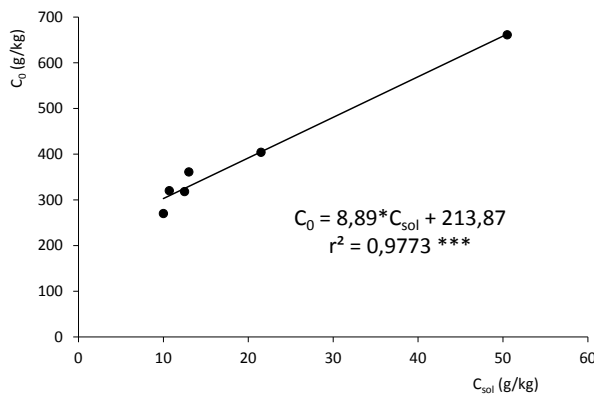
**Quadro 2** - Correlação entre o C mineralizável ( $C_0$ ) e respetiva constante cinética ( $k_c$ ) e os parâmetros (bio) químicos iniciais dos resíduos vegetais estudados

| Parâmetro<br>(g/kg) | Coeficiente de correlação<br>de Pearson |            |
|---------------------|---|------------|
|                     | $C_0$                                   | $k_c$      |
| $C_{\text{total}}$  | -0,695 ns                               | -0,719 ns  |
| $N_{\text{total}}$  | 0,818 *                                 | 0,663 ns   |
| $C_{\text{sol}}$    | 0,989 ***                               | 0,918 *    |
| $N_{\text{sol}}$    | 0,939 **                                | 0,812 *    |
| HEM                 | 0,151 ns                                | 0,344 ns   |
| CEL                 | -0,756 ns                               | -0,551 ns  |
| LEN                 | -0,943 **                               | -0,984 *** |

ns – não significativo; \*, \*\*, \*\*\* significativo para um nível de probabilidade de 5%, 1% e 0,1%, respetivamente.

ou recalcitrantes, como o caso da Len, apresentaram correlações negativas, contribuindo para uma maior resistência dos processos de decomposição e, conseqüentemente, uma diminuição dos valores de  $C_0$  e  $k_c$  dos resíduos, potenciando o aumento do sequestro de C no solo, em resultado da aplicação deste tipo de resíduos. Esta tendência é corroborada por Jensen *et al.* (2005), em estudos que incluem um conjunto mais alargado de resíduos de origem vegetal.

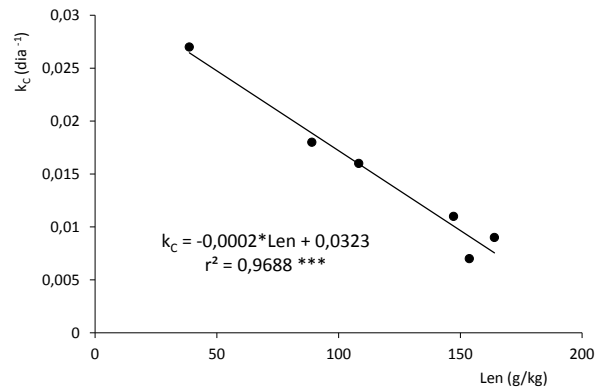
Considerando os resultados obtidos na Figura 2, o  $C_{sol}$  é o parametro que explica uma maior variabilidade dos valores estimados para o  $C_0$  nos resíduos vegetais estudados ( $r^2 = 0,9773$ ).



**Figura 2** - Regressão linear simples entre os valores de  $C_0$  (g/kg) e  $C_{sol}$  (g/kg) nos resíduos vegetais estudados.

Estes resultados estão de acordo com os pressupostos referidos por Smreczak & Ukalska-Jaruga (2021), os quais sugerem o  $C_{sol}$  como um dos indicadores mais sensível das alterações associadas à transformação da matéria orgânica aplicada ao solo.

Por sua vez, no caso da constante cinética, apesar dos resultados significativos observados com o  $C_{sol}$  (Quadro 2), a Len apresenta valores mais consistentes explicando, neste caso, cerca de aproximadamente 97% da variação dos valores estimados para o  $k_c$  nos resíduos vegetais estudados (Figura 3).



**Figura 3** - Regressão linear simples entre os valores de  $k_c$  ( $\text{dia}^{-1}$ ) e  $C_{sol}$  (g/kg) nos resíduos vegetais estudados

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, podemos concluir que a qualidade química inicial dos resíduos vegetais estudados é um importante fator modelador dos processos de decomposição associados, podendo ser usado para estimar quer a intensidade como dinâmica dos processos associados à fração de C potencialmente mineralizável. As frações solúveis, como o  $C_{sol}$  e recalcitrantes, como o teor de Len, foram, entre os parâmetros estudados, os que se revelam mais capazes e sensíveis nas respetivas estimativas.

## FINANCIAMENTO

Este trabalho foi financiado no âmbito do projeto SoilRec4+Health - Soil recover for a healthy food and quality of life (NORTE-01-0145-FEDER000083).

## AGRADECIMENTO

João Ricardo Sousa, agradece a colaboração do CI-TAB/UTAD, no âmbito do projeto SoilRec4+Health - Soil recover for a healthy food and quality of life.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abiven, S.; Recous, S.; Reyes, V. & Olive, R. (2005) - Mineralisation of C and N from root, stem and leaf residues in soil and role of their biochemical quality. *Biology and Fertility of Soils*, vol. 42, p. 119-128. <https://doi.org/10.1007/s00374-005-0006-0>
- Fox, R.H.; Myers, R.J.K. & Vallis, I. (1990) - The nitrogen mineralization rate of legume in soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents. *Plant and Soil*, vol. 129, p. 251-259. <https://doi.org/10.1007/BF00032420>
- Jensen, L.S.; Salo, T.; Palmason, F.; Breland, T.A.; Henriksen, T.M.; Stenberg, B.; Pedersen, A.; Lundstrom, C. & Esala, M. (2005) - Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. *Plant and Soil*, vol. 273, p. 307-326. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-8128-y>
- Olsen, J.S. (1963) - Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposers in Ecological Systems. *Ecology*, vol. 44, n. 2, p. 322-331. <https://doi.org/10.2307/1932179>
- Reinertsen, S.A.; Elliott, L.F.; Cochran, V.L. & Campbell, G.S. (1984) - Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. *Soil and Biology Biochemistry*, vol. 16, n. 5, p. 459-464. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(84\)90052-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(84)90052-X)
- Smreczak, B. & Ukalska-Jaruga, A. (2021) - Dissolved organic matter in agriculture soils. *Soil Science Annual*, vol. 72, n. 1, art. 132234. <https://doi.org/10.37501/soilsa/132234>
- Sousa, J.R.; Cabral, F. & Coutinho, J. (2016) - Assessment of N mineralization and N leaching in soil using a new in-situ incubation method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 47, n. 19, p. 2157-2167. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1208751>
- Talbot, J.M.; Yelle, D.J.; Nowick, J. & Treseder, K.K. (2012) - Litter decay rate are determined by lignin chemistry. *Biogeochemistry*, vol. 108, p. 279-295. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9599-6>
- Zech, W.; Senesi, N.; Guggenberger, G.; Kaiser, K.; Lehman, J.; Miano, T.M.; Miltner, A. & Schroth, G. (1997) - Factor controlling humification and mineralization of soil organic matter in tropics. *Geoderma*, vol. 79, n. 1-4, p. 117-161. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00040-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00040-2)