

## UTILIZAÇÃO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS ORDINÁRIAS NA SIMULAÇÃO DO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO EM ARGISSOLO SOB DIFERENTES TIPOS DE MANEJO

TAIANA VINCIGUERRA<sup>1</sup>, CAMILA NICOLA BOERI DI DOMENICO<sup>1</sup>,  
NATÁLIA ANDERLONI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

<taiana-vinciguerra@hotmail.com>, <camiladomenico@utfpr.edu.br>,  
<natiianderloni@outlook.com>

DOI: 10.21439/conexoes.v14i2.1326

**Resumo.** O artigo presente tem como principal objetivo estimar o teor de carbono orgânico em função da profundidade no Argissolo Vermelho Amarelo distrófico na Zona da Mata de Minas Gerais. Analisou-se diferentes profundidades por meio da Equação Diferencial de Primeira Ordem. Através do estudo realizado, foi identificado um decaimento considerável do teor de Carbono Orgânico Total em função da profundidade, tendo semelhança entre os dados do carbono real para os dados obtidos na equação. Sendo assim, a maior quantidade de carbono armazenada no solo é encontrada nas camadas mais superficiais, diminuindo gradativamente conforme a profundidade. Os resultados obtidos nas estimativas para os manejos de Floresta Nativa (FN), Plantio Direto (PD), Arado de Disco (AD), Arado de Disco e Grade Pesada (AD+PD), Grade Pesada (GP) foram, respectivamente, 0,0788; 0,0072; 0,0123; 0,0097 e 0,0072.

**Palavras-chaves:** Teor de Carbono. Fertilidade do solo. Profundidade do solo. Tipos de manejo. Equações diferenciais.

**Abstract.** The present article has as main objective to estimate the organic carbon content as a function of soil depth in the dystrophic Yellow Red Argisol in the. Different depths were analyzed by means of the First Order Differential Equation. Through the study, a significant decay of the Total Organic Carbon content as a function of depth was observed, with similarity between the real carbon data for the data obtained in the equation. Thus, the greatest amount of carbon stored in the soil is found in the most superficial layers, decreasing gradually according to the depth. The results obtained in the estimates for the management of native forest (FN), direct plantation (PD), disk plow (DP), disk plow and heavy grid (DP + HG), heavy grid (HG), were respectively, 0,0788; 0,0072; 0,0123; 0,0097 and 0,0072.

**Keywords:** Carbon content. Soil fertility. Soil depth. Types of management. Differential equations.

## 1 INTRODUÇÃO

O carbono orgânico é de extrema importância para o melhoramento da estrutura física do solo, melhor agregação, maior porosidade, maior infiltração e armazenamento de água no solo.

Segundo Steiner et al. (2011), o Carbono Orgânico Total (COT) e seu estoque têm sido utilizados como indicadores do efeito de sistemas de manejo na qualidade do solo. Dependendo das características do solo e dos sistemas de manejo adotados, a quantidade de carbono armazenada pode apresentar alterações.

O Brasil, sendo um país de grande extensão territorial em adoção de plantio direto e sistemas de produção com elevada adição de resíduos vegetais, mostra grande potencial de absorção de gás carbônico. Este potencial está ligado à efetiva rotação de culturas que consequentemente gera maior produção de resíduos vegetais e cobertura no solo, causando assim um aumento essencial no estoque de carbono no solo (AMADO et al., 2001).

A fixação do carbono no solo também ocorre através da fotossíntese, onde a série completa de reações culmina na redução de gás carbônico e nas reações de fixação de carbonos (KLUGE, 2008). As plantas capturam da atmosfera o gás carbônico, levando até suas raízes, onde há o armazenamento do que foi detido.

Souza et al. (2012) destacam que, em consideração da grande cobertura vegetal encontrada nas florestas, principalmente no que diz respeito à floresta Amazônica, a absorção de carbono da atmosfera através do povoamento de espécies arbóreas torna-se um fator importante. Ainda, de acordo com a idade florestas, são mais eficazes na captação de gás carbônico, sendo capazes de acumular mais carbono em sua biomassa a longo prazo.

Costa et al. (2015) mencionam que a intensa utilização da área agrícola com rotação de culturas realizados durante o ano todo, juntamente com a adubação, possibilita a introdução de espécies com diferentes sistemas radiculares, além de resíduos vegetais com diferentes relações entre carbono/nitrogênio. A associação feita ao decorrer dos anos, contribui para alterações das taxas de decomposição e ciclagem de nutrientes, gerando maior possibilidade de armazenamento de carbono no solo.

Por outro lado, a extensão de áreas agrícolas e atividade antrópica negativa podem estar provocando profundo impacto na conservação das matas nativas e matas ciliares, que por sua vez, são responsáveis por manter o ar mais úmido e conservar o solo (SILVA; FELIZMINO; OLIVEIRA, 2015).

Apesar da matéria orgânica ser a maior controladora da disponibilidade de nutrientes no solo, há também

a influência de fatores associados ao clima, temperatura, precipitação, textura e mineralogia do solo (HICKMANN; COSTA, 2012). Sendo assim, é necessário realizar estudos regionalmente nas diferentes condições climáticas e referentes ao solo, para que seja possível concluir um estudo sobre o sequestro de carbono em sistemas de manejo de plantio direto.

Desta forma, o objetivo do trabalho é determinar, através de uma equação diferencial, a quantidade de carbono que poderá ser encontrada em profundidades mais elevadas do solo Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, nas condições referentes ao solo e o clima na zona da Mata de Minas Gerais.

## 2 METODOLOGIA

O presente estudo tem como base o trabalho de Hickmann e Costa (2012), realizado na área experimental da Universidade Federal de Viçosa - UFV no município de Coimbra, Zona da Mata de Minas Gerais. Com finalidade de avaliar o teor de carbono orgânico total, no solo e nos agregados de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico de textura argilosa, sob sistemas de manejo convencional com preparos por arado de disco, arado de disco mais grade pesada, somente grade pesada e o sistema plantio direto, em experimento que foi conduzido ao longo de 23 anos (Tabela 1).

Após analisar os cultivos realizados entre os anos de 1985 e 2008, finalmente, em agosto de 2008 foram coletadas cinco amostras de solo, visando a determinação da estabilidade dos agregados, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm em cada parcela. Dessas amostras, analisou-se a densidade com o método do anel volumétrico, as características químicas e físicas e o teor de carbono orgânico total do solo (COT).

A partir da coleta de amostras, foram realizados diversos experimentos laboratoriais, assim como a secagem, peneiração, avaliação de massa, fracionamento para obtenção das classes de tamanho, análise de COT no solo e agregados. O estoque de carbono orgânico total (COT) foi determinado pela multiplicação do teor de COT pelo volume e a densidade do solo de cada camada.

Para que fosse possível realizar o cálculo através de uma Equação Diferencial, foi necessário fazer a média de cada parcela de solo e, ainda, de cada forma de manejo (Tabela 2).

Conforme a profundidade do solo (cm) aumenta, a concentração de Carbono diminui, isso está associado à maior concentração de raízes e ao acúmulo de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo, o que

**Tabela 1:** Valores médios de carbono orgânico total (COT), estoque de carbono orgânico total (ECOT), densidade do solo (Ds) e o coeficiente de variação (CV) em camadas de um Argissolo Vermelho Amarelo após 23 anos de condução dos manejos plantio direto (PD), arado de disco (AD), arado de disco e grade pesada (AD+GP), somente grade pesada (GP) e, floresta nativa (FN).

| Camada (cm) | FN       | PD      | AD                          | AD+GP    | GP       | CV(%) |
|-------------|----------|---------|-----------------------------|----------|----------|-------|
|             |          |         | COT (dag kg <sup>-1</sup> ) |          |          |       |
| 0-5         | 3,41 aA  | 2,17 bA | 1,44 cA                     | 1,59 cA  | 1,68 cA  | 4,8   |
| 5-10        | 2,60 aB  | 1,50 bB | 1,40 bA                     | 1,49 bA  | 1,58 bA  | 5,7   |
| 10-20       | 2,02 aC  | 1,32 bB | 1,23 bB                     | 1,34 bAB | 1,18 bB  | 9,7   |
| 20-40       | 1,53 aD  | 1,02 bC | 0,87 bC                     | 0,99 bC  | 0,89 bC  | 8,6   |
| CV(%)       | 2,4      | 6,4     | 3,9                         | 3,7      | 7,7      |       |
|             |          |         | ECOT (Mg ha <sup>-1</sup> ) |          |          |       |
| 0-5         | 14,49 aA | 9,23 bA | 6,15 dB                     | 6,74 cdB | 7,14 cAB | 4,8   |
| 5-10        | 12,84 aB | 7,41 bB | 6,93 bA                     | 7,40 bA  | 7,85 bA  | 5,7   |
| 10-20       | 10,29 aC | 6,74 bB | 6,26 bB                     | 6,85 bAB | 6,01 bBC | 9,8   |
| 20-40       | 8,80 aD  | 5,59 bC | 5,05 bC                     | 5,72 abC | 5,15 bC  | 10,3  |
| CV(%)       | 2,6      | 5,4     | 3,9                         | 4,1      | 8,1      |       |
|             |          |         | Ds (Mg m <sup>-3</sup> )    |          |          |       |
| 0-5         | 0,85     | 1,32    | 1,21                        | 1,08     | 1,07     | -     |
| 5-10        | 0,99     | 1,34    | 1,36                        | 1,47     | 1,47     | -     |
| 10-20       | 1,02     | 1,28    | 1,30                        | 1,34     | 1,41     | -     |
| 20-40       | 1,15     | 1,21    | 1,36                        | 1,39     | 1,32     | -     |

Fonte: Hickmann e Costa (2012).

**Tabela 2:** Relação entre o Carbono Orgânico Total (COT) real em função da profundidade nos diferentes sistemas de manejo.

| Profundidade (cm) | FN     | PD    | AD     | AD+GP  | GP     |
|-------------------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 5                 | 0,682  | 0,434 | 0,288  | 0,318  | 0,336  |
| 20                | 0,202  | 0,132 | 0,123  | 0,123  | 0,118  |
| 40                | 0,0765 | 0,051 | 0,0435 | 0,0495 | 0,0445 |

Fonte: Hickmann e Costa (2012).

colabora para a intensificação do estoque de Carbono (HICKMANN; COSTA, 2012).

Na última etapa foi estimado para a profundidade 60 cm com a Equação Diferencial Ordinária de decaimento para um suposto valor da quantidade de CO<sub>2</sub>.

Foi utilizada a seguinte Equação:

$$\frac{dC}{dP} = KC \quad (1)$$

Em que, C é o Carbono Orgânico Total, P é a profundidade e K é uma constante.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Modelagem Matemática

Nos primeiros centímetros de Argissolo Vermelho Amarelo obteve-se a relação de 0,288 dagKg<sup>-1</sup> de carbono orgânico total.

Sendo assim, a equação utilizada foi dada por:

$$\frac{dC}{dP} = KC$$

Separando as variáveis:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{C} &= k \quad dP \\ \ln |C| &= KP + c \\ C(P) &= ce^{KP} \end{aligned} \quad (2)$$

Para P = 5 a quantidade de carbono orgânico total era de 0,288 dagKg<sup>-1</sup>. Assim:

$$\begin{aligned} C(5) &= 0,288 \\ 0,288 &= ce^{5K} \\ c &= \frac{0,288}{e^{5K}} \end{aligned} \quad (3)$$

Determina-se agora o valor de K. Sabendo-se que para P = 20 o valor de C é de 0,123 dagKg<sup>-1</sup>, tem-se:

$$\begin{aligned} C(20) &= 0,123 \\ 0,123 &= ce^{20K} \end{aligned} \quad (4)$$

Substituindo (3) em (4), temos:

$$\begin{aligned} 0,123 &= \frac{0,288}{e^{5K}} e^{20K} \\ 0,123 &= 0,288 e^{15K} \\ \frac{0,123}{0,288} &= e^{15K} \\ \ln |0,4271| &= 15K \end{aligned}$$

$$K = \frac{\ln |0,4271|}{15}$$

$$K = -0,0567 \quad (5)$$

Substituindo (5) em (3), tem-se:

$$\begin{aligned} c &= \frac{0,288}{e^{5(-0,0567)}} \\ c &= 0,372 \end{aligned}$$

Com os valores de c = 0,372 e K = -0,0567, a equação fica:

$$C = 0,372e^{P(-0,0567)}$$

Sendo assim, para cada sistema de manejo, foram obtidos valores para c e K utilizando as mesmas equações descritas acima. Os valores obtidos estão descritos no Tabela 3.

#### 3.2 Simulações

A partir da solução encontrada, foi possível fazer as estimativas desejadas. Assim, para um valor da profundidade de 60 cm, tem-se:

$$\begin{aligned} C &= ce^{60K} \\ C &= 0,372e^{60(-0,0567)} \\ C &= 0,0123 \text{ dagKg}^{-1} \end{aligned}$$

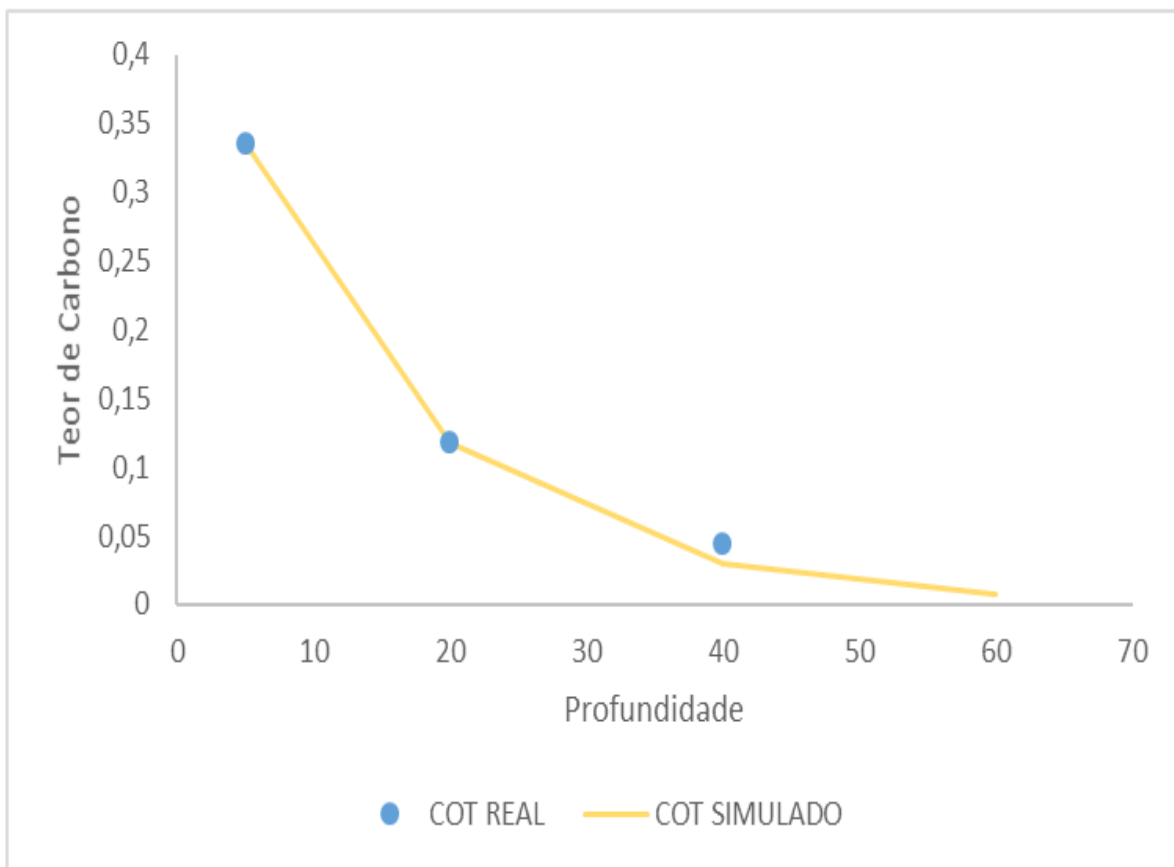
Por meio das simulações, obteve-se os dados da Tabela 4:

A partir dos dados, é possível construir um gráfico para cada sistema de manejo. Neste, visualiza-se um comportamento exponencial, tanto com os dados reais quanto com os dados obtidos através do cálculo da relação entre Carbono/Profundidade.

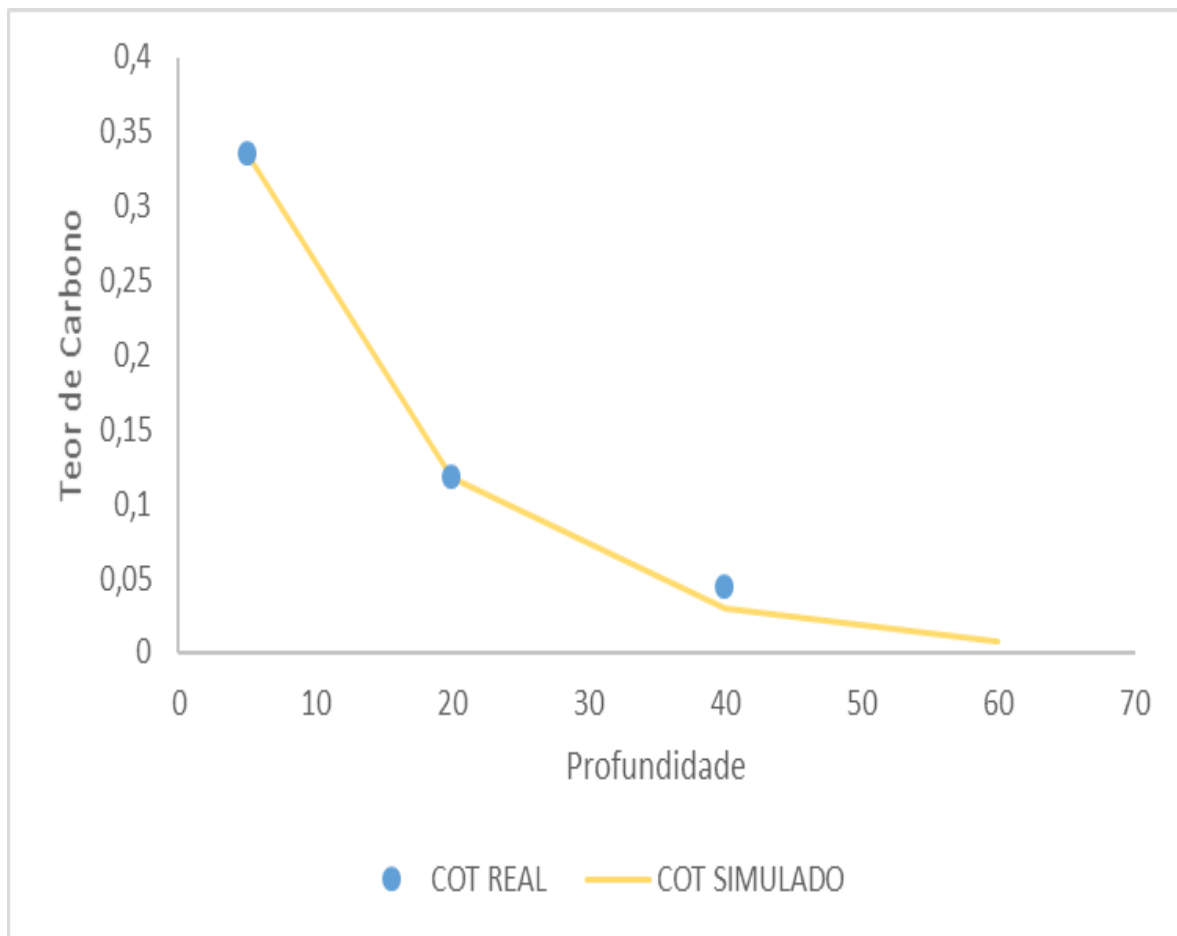
Verificando que houve um pequeno erro para a simulação do teor de carbono na profundidade de 40 cm, há uma possibilidade de erro nas estimativas realizadas para os 60 cm. Segundo os resultados obtidos, pode-se perceber que a Floresta Nativa teve um teor significativamente maior que nos demais tipos de manejo analisados (Figura 6).

Ao analisar a Figura 6, pode ser observado que os manejos Plantio Direto (PD) e Grade Pesada (GP) apresentaram maior semelhança no teor de carbono estimado nos 60 cm. Já o manejo Arado de Disco e Grade Pesada (AD+GP) apresentam pequena conformidade com Arado de Disco (AD), que por sua vez indicou um teor pouco maior que 0,01 dag/Kg<sup>-1</sup>.

A maior concentração de Carbono fica armazenada na parte superficial do solo, onde há maior concentração



**Figura 1:** Comparação entre os dados reais e simulados da relação COT/Profundidade para a Floresta Nativa (FN).



**Figura 2:** Comparação entre os dados reais e simulados da relação COT/Profundidade para o manejo Plantio Direto (PD).

**Tabela 3:** Valores de c e K obtidos através da Equação Diferencial.

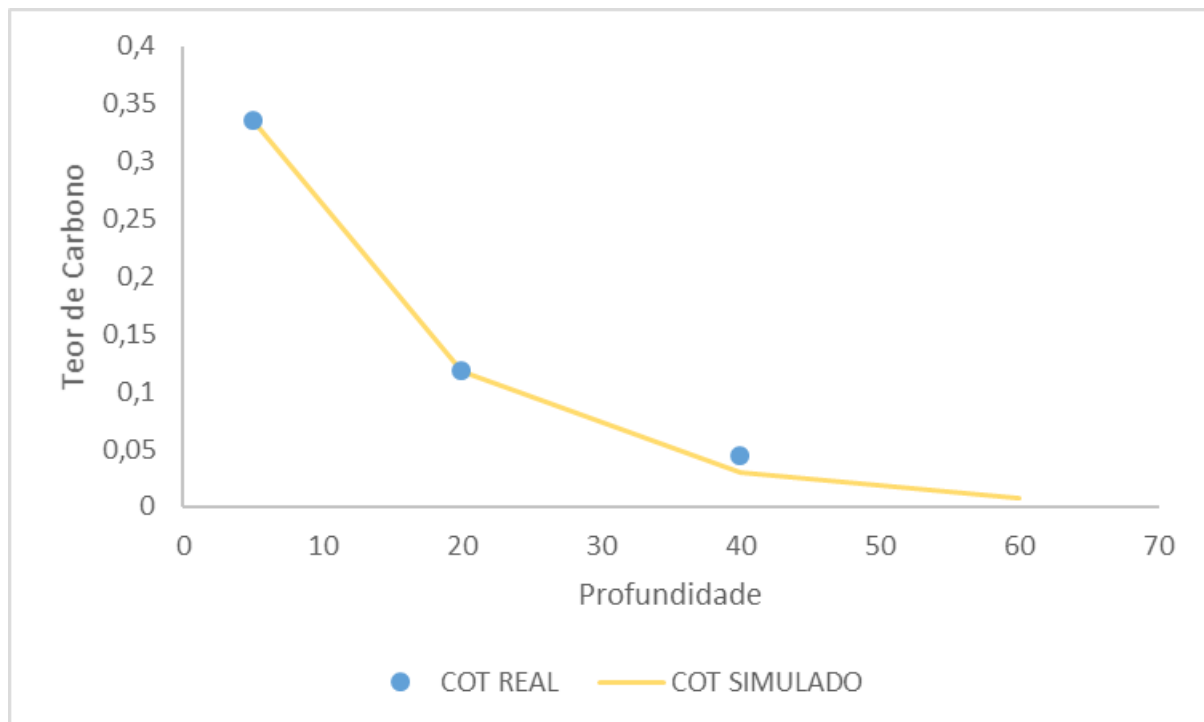
| Tipos de Manejo | C     | K       |
|-----------------|-------|---------|
| FN              | 1,023 | -0,0811 |
| PD              | 0,645 | -0,0793 |
| AD              | 0,372 | -0,0567 |
| AD+GP           | 0,436 | -0,0634 |
| GP              | 0,476 | -0,0697 |

Fonte: Dados do autor.

**Tabela 4:** Relação entre o Carbono Orgânico Total (COT) simulado em função da profundidade nos diferentes sistemas de manejo.

| Profundidade (cm) | FN     | PD     | AD     | AD+GP  | GP     |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 5                 | 0,6819 | 0,4339 | 0,281  | 0,317  | 0,3359 |
| 20                | 0,202  | 0,132  | 0,119  | 0,122  | 0,118  |
| 40                | 0,0399 | 0,027  | 0,0385 | 0,034  | 0,029  |
| 60                | 0,0788 | 0,0072 | 0,0123 | 0,0097 | 0,0072 |

Fonte: Dados do autor.



**Figura 3:** Comparação entre os dados reais e simulados da relação COT/Profundidade para o manejo Arado de Disco (AD).

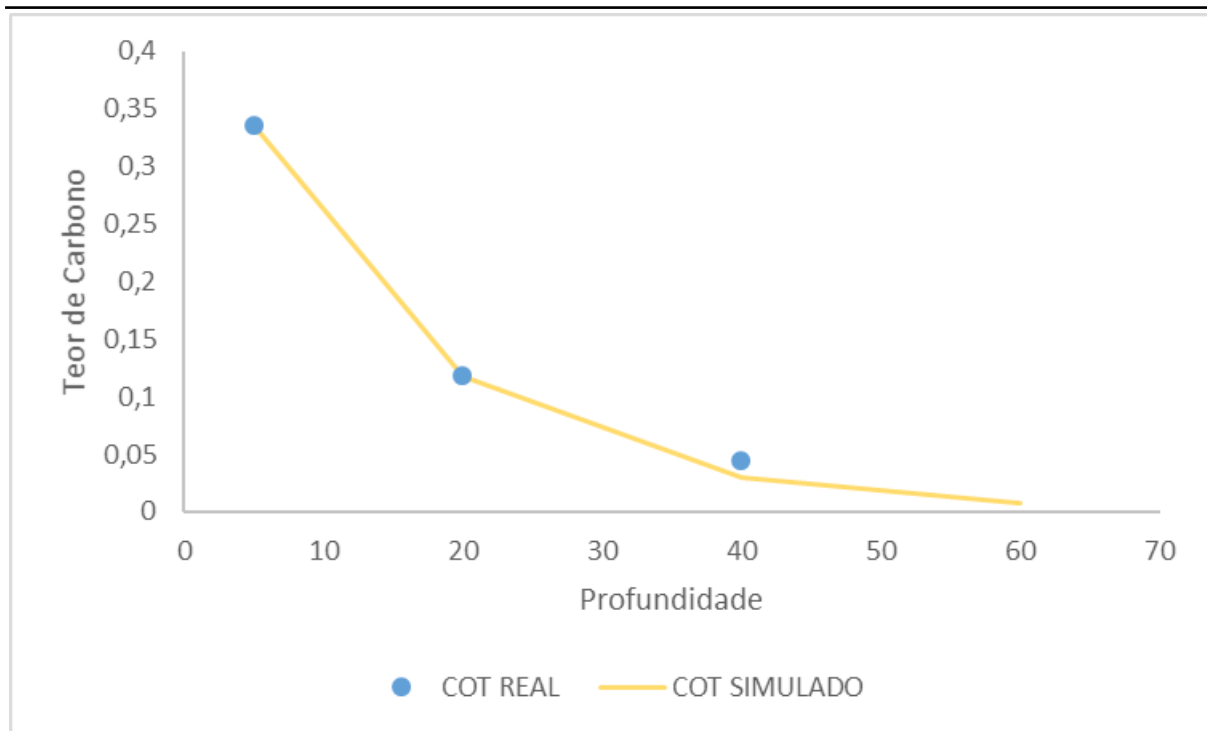


Figura 4: Comparação entre os dados reais e simulados da relação COT/Profundidade para o manejo Arado de Disco e Grade Pesada (AD+GP).

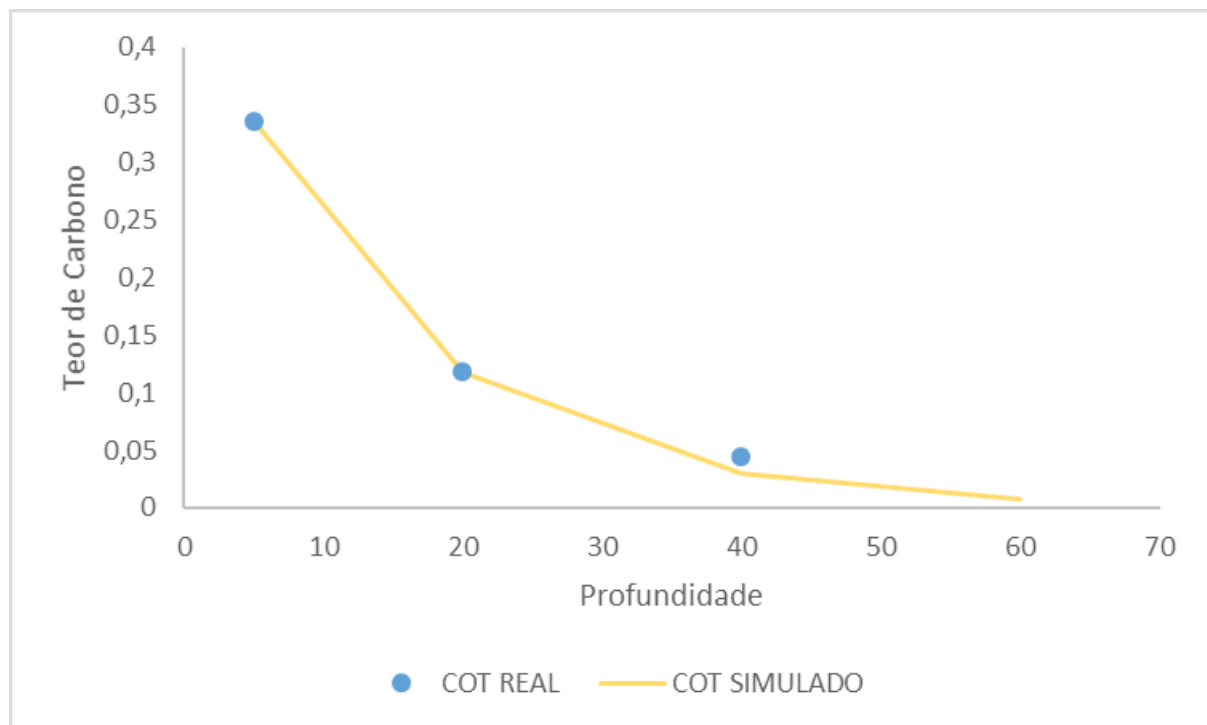


Figura 5: Comparação entre os dados reais e simulados da relação COT/Profundidade para o manejo Grade Pesada (GP).

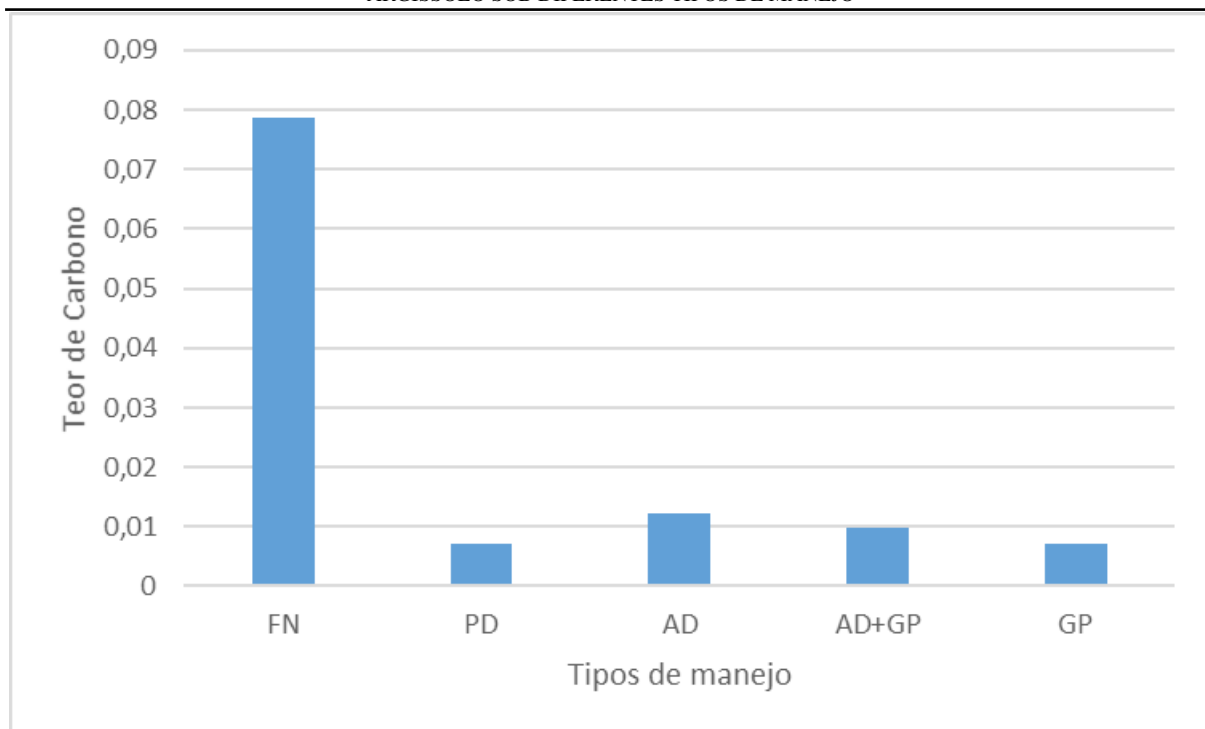


Figura 6: Comparativo das estimativas para a profundidade de 60 cm sob os diferentes tipos de manejo.

e decomposição de raízes, gerando acúmulo de material orgânico (HICKMANN; COSTA, 2012), desde modo é notável a importância da cobertura do solo, que gera ao entorno maiores possibilidades de armazenamento de Carbono.

O decaimento do teor de Carbono orgânico em função da profundidade é um acontecimento natural, na maioria das vezes ocorre devido à falta de material em decomposição. Segundo Salton et al. (2011), a redução do estoque de Carbono ocorre devido a indisponibilidade de matéria orgânica lábil suficiente para a manutenção da atividade biológica e o fluxo de carbono, fazendo com que o processo de oxidação da matéria orgânica resulte na redução do Carbono, ocasionando degradação e perda de qualidade do solo.

Por fim, percebe-se a semelhança entre os dados do Carbono Orgânico Total Real e o Simulado, possibilitando novas alternativas para encontrar o teor de Carbono disponível em solos mais profundos. E, através dos gráficos, é possível identificar o decaimento da quantidade de carbono em função da profundidade.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Equação Diferencial Ordinária utilizada para realização dos cálculos mostrou-se eficiente na geração de dados estimados de teor de carbono orgânico total para a profundidade de 60 cm, sendo possível comparar os valores estimados nas diferentes profundidades do solo com os valores reais.

O teor de carbono orgânico total teve variações de acordo com as diferentes classes de agregados, porém as estimativas mantiveram-se de acordo com cada tipo de manejo, mostrando eficiência e conformidade.

#### REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *Revista brasileira de ciência do solo.*, v. 25, n. 1, p. 189–197, jan-mar 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n1/20.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2017.
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.;

PARIZ, C. M.; BONINI, C. dos S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, n. 3, p. 852–863, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v39n3/0100-0683-rbcs-39-3-0852.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 16, n. 10, p. 1055–1061, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n10/a04.pdf>>. Acesso em: 3 abr. 2017.

KLUGE, R. A. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese**. Piracicaba – SP, 2008. Disponível em: <[https://social.stoa.usp.br/articles/0016/2634/Apostila\\_FotossA\\_ntese.pdf](https://social.stoa.usp.br/articles/0016/2634/Apostila_FotossA_ntese.pdf)>. Acesso em: 15 mai. 2017.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. d. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1349–1356, out 2011.

SILVA, D. D. E.; FELIZMINO, F. T. A.; OLIVEIRA, M. G. de. Avaliação da degradação ambiental a partir da prática da cultura do feijão no município de tavares-pb. **Holos**, v. 8, n. 1, p. 148–165, 2015.

SOUZA, C. R. d.; AZEVEDO, C. P. d.; ROSSI, L. M. B.; SILVA, K. E. d.; SANTOS, J. d.; HIGUCHI, N. Dinâmica e estoque de carbono em floresta primária na região de manaus/am. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 4, p. 501–506, 2012.

STEINER, F.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G.; COSTA, M. S. d. M.; COSTA, L. A. d. M. Carbono orgânico e carbono residual do solo em sistema de plantio direto, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 3, p. 401–408, jul-set 2011.