

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

TESE

**Organossolos: Funções de Pedotransferência para
Densidade do Solo, Avaliação do Grau de
Subsidência e Estoques de Carbono**

Sidinei Julio Beutler

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

**ORGANOSSOLOS: FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA
DENSIDADE DO SOLO, AVALIAÇÃO DO GRAU DE SUBSIDÊNCIA E
ESTOQUES DE CARBONO**

SIDINEI JULIO BEUTLER

Sob a orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

e Coorientação do Professor
Wagner de Souza Tassinari

Tese submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Doutor no Curso de
Pós-Graduação em Agronomia,
Área de Concentração em
Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2016

631.417

B569o

T

Beutler, Sidinei Julio, 1987-

Organossolos: funções de pedotransferência para densidade do solo, avaliação do grau de subsidência e estoques de carbono / Sidinei Julio Beutler. – 2016.

102 f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.

Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2016.

Inclui bibliografias.

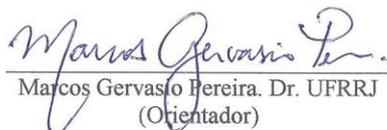
1. Solos orgânicos - Teses. 2. Humus - Teses. 3. Solos - Densidade - Teses. 4. Drenagem – Teses. 5. Turfeira – Teses. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

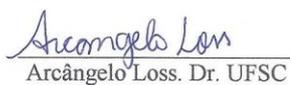
SIDINEI JULIO BEUTLER

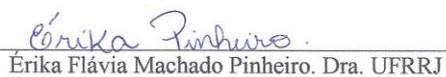
Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutorado**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM 25/02/2016.


Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ
(Orientador)


Andrés Calderín García. Dr. UFRRJ


Arcangelo Loss. Dr. UFSC


Érika Flávia Machado Pinheiro. Dra. UFRRJ


Waldir de Carvalho Junior. Dr. Embrapa Solos

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Marli Sirlene Heimann Beutler e Valério Beutler,
aos meus irmãos Cheila e Claiton,
aos familiares, amigos,
e a meus tutores.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por conceder a vida e todos os recursos para a sua existência e me fornecer esta oportunidade como um dos maiores desafios.

Aos meus pais Valério Beutler e Marli Sirlene Heimann Beutler por sempre me apoiarem nas decisões e serem os importantes motivadores para que eu sempre buscasse os meus objetivos. Pelas grandes lições de vida me dadas, e suas experiências.

Aos meus irmãos Cheila e Claiton por me proporcionarem grandes momentos juntos, sempre com diversão e descontração.

A todos os meus parentes por serem importantes coadjuvantes no incentivo e na busca dos ideais, das conversas, dos conselhos e de suas experiências.

Ao professor e orientador Marcos Gervasio Pereira por todo apoio e paciência fornecido para superar as dificuldades na elaboração deste trabalho. Por ser também um grande amigo de trabalho, através de sugestões e conselhos.

À professora Michelle Duarte de Menezes por ter me apoiado e auxiliado desde que iniciei a estudar este tema.

Ao professor e co-orientador Wagner Tassinari, por seu apoio nas análises estatísticas.

À professora Lúcia Helena Cunha dos Anjos por sempre ser uma das pessoas que me proporcionou grandes momentos de convívio, além de todo o seu conhecimento técnico e de vida transmitidos.

Ao professor Arcângelo Loss por sempre estar me apoiando e contribuindo para o aperfeiçoamento dos diversos trabalhos desenvolvidos em conjunto. E também pela amizade e grandes momentos de descontração.

Ao professor Nivaldo Schultz por ter me ajudado no início desta jornada científica, e também pela amizade.

A todos os alunos e estagiários do Laboratório de Gênese e Classificação do Solo, pelo apoio, amizade e experiências. Aos funcionários do Departamento de Solos, Maria Helena, Anselmo (molhar experimento nas férias de final de ano 2014/2015), Marcos (Marquinhos), Wagner, e Michelle pela grande eficiência nos trabalhos e pela amizade. Ao motorista da UFRRJ, Moraes por nos conduzir até as áreas de coleta de solos.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos, e ao CNPq e FAPERJ pelo auxílio financeiro deste projeto.

Agradecimento especial a todos os professores e aos colegas de turma pelos seus ensinamentos e experiências compartilhadas.

Aos pesquisadores da Embrapa Solos, Waldir de Carvalho e César Chagas pelas aulas de Mapeamento Digital, *insights*, experiência de campo (em Piauí).

Ao professor Mauro Antunes, pelas aulas de Sensoriamento Remoto, experiências transmitidas, e conselhos.

À José Ricardo Pedruzzi (*in memoriam*), Gustavo, e Darlin, da Empresa Planner, pelas suas experiências em trabalhos de campo e incentivos à continuar estudando.

Agradeço à todas as pessoas que geraram e forneceram os seus dados de solos orgânicos para subsidiar este estudo. São muitas as pessoas, mas gostaria de citar Gustavo Valladares, por fornecer sua base de dados, à Paula Chaves Soares, Rafael Cipriano, Adierison Ebeling, e Ademir Fontana pelos diversos dados fornecidos.

À Ademir Fontana pelo auxílio no fornecimento de material para implementar banco de dados e mapa de solos do Estado do Rio de Janeiro.

À estudante da ESALQ, Ingrid Horák, que forneceu seus perfis de Minas Gerais.

Ao professor Everaldo Zonta pela concessão da casa de vegetação para a realização do experimento de subsidência.

Ao grupo que colaborou na coleta das amostras de solo em Santa Cruz (Rio de Janeiro – RJ) e Magé – RJ. São Gilsonley Lopes, Anderson Diniz, Elias Mendes, Paula Fernanda, Sandra Lima, e o motorista da UFRRJ, Moraes.

A Paula Fernanda Chaves Soares, por compartilhar seus conhecimentos sobre os solos orgânicos, e amizade.

A Julio Feitosa pela grande ajuda nas análises laboratoriais.

À toda equipe do LGCS.

Ao Colégio Agrícola de Magé (pertencente a UFF), e ao senhor Marcos (popular Marquinhos) por cederem as áreas de Magé e Santa Cruz (Bairro Santa Cruz, município do Rio de Janeiro) respectivamente, nos permitindo as coletas de amostras de Organossolos.

A minha banca de qualificação de doutorado, que me apoiou e ajudou bastante em um momento difícil durante o curso. A banca foi composta por Waldir de Carvalho Júnior (pesquisador Dr. da Embrapa Solos), Wagner de Souza Tassinari (professor Dr. do Departamento de Matemática da UFRRJ), Mauro Antônio Homem Antunes (professor Ph.D. do Departamento de Engenharia da UFRRJ), e Marcos Gervasio Pereira (professor Dr. do Departamento de Solos da UFRRJ, e orientador).

Tenho certeza que há mais menções para algumas pessoas que tanto me ajudaram, e outras que posso ter não lembrado, mas uma das poucas certezas que tenho, é que sem essas pessoas com que convivi, não teria conseguido concluir o presente trabalho.

Muito obrigado.

BIOGRAFIA

Sidinei Julio Beutler nasceu no município de Salgado Filho - PR, no dia 28 de dezembro de 1987. Em 2004 concluiu o curso Técnico Agrícola com Habilitação em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Concórdia – SC (atual IFET – Concórdia). Em 2005 ingressou no curso de graduação em Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), concluindo-o em 2009. Durante o período de graduação foi bolsista de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq) no período de agosto de 2007 a julho de 2009. E no período de agosto a dezembro de 2009 exerceu a monitoria da disciplina de Aptidão Agrícola e Manejo dos Solos desta instituição. Em março de 2010 ingressou no Mestrado do Curso de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo (CPGA-CS), na UFRRJ, concluindo-o em fevereiro de 2012. Ingressou no Curso de Especialização em Estatística Aplicada (*latu sensu*) da UFRRJ em maio de 2014 concluindo-o em novembro de 2015. Em março de 2012 ingressou no Doutorado do CPGA-CS, na UFRRJ, concluindo-o em fevereiro de 2016.

RESUMO GERAL

BEUTLER, Sidinei Julio. **Organossolos: funções de pedotransferência para densidade do solo, avaliação do grau de subsidência, e estoques de carbono.** 2016. 102f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

Os Organossolos são uma importante fonte de estoque de carbono nos ambientes terrestres e possuem alta suscetibilidade às perdas de carbono quando perturbados. O objetivo do presente trabalho foi gerar equações, avaliar a acurácia de equações já publicadas, aplicando-as para a predição da densidade do solo (Ds) em solos orgânicos do Brasil; avaliar a taxa de subsidência, a variação da Ds, e o carbono das substâncias húmicas em Organossolos ao longo do período de um ano; e estimar o estoque e as potenciais perdas de carbono nos Organossolos do Estado do Rio de Janeiro. Para a primeira parte, trabalhou-se com horizontes orgânicos, i.e., materiais de solo com teores de carbono orgânico total (COT) iguais ou maiores que 80 g kg^{-1} de solo, totalizando 280 horizontes em diferentes regiões do Brasil. Foi empregada a técnica de regressão linear múltipla e as equações foram validadas sobre dados independentes. Foram testadas 9 equações já publicadas na literatura. As equações com melhor desempenho foram FPT2 e Hollis, com parâmetros de validação R^2 de 0,48 e 0,49. Em casos onde os teores de argila estejam quantificados, recomenda-se a equação FPT1, e na sua ausência recomenda-se as equações FPT2 e Hollis, que possuem somente o COT como variável preditora. Para a segunda parte, realizou-se um experimento em casa de vegetação. Foram coletadas amostras indeformadas em tubos de PVC, de dois perfis de Organossolo Tiomórfico, sendo um no bairro Santa Cruz (Perfil SC), município de Rio de Janeiro, e outro no município de Magé (Perfil MG). Foram avaliados 3 níveis de drenagem, sendo de 30, 60, e 100 cm de profundidade, 5 avaliações ao longo do tempo, sendo de 0, 90, 180, 270, e 360 dias (com 4 repetições). O perfil MG apresentou as maiores taxas de subsidência, chegando a $1,30 \text{ cm ano}^{-1}$ para a drenagem de 100 cm. A Ds aumentou ao longo do tempo para os dois perfis, e a drenagem mais profunda aumentou os valores no perfil SC. A drenagem mais profunda favoreceu a redução do pH para os dois perfis. Os teores de COT apresentaram tendência de redução ao longo do tempo. Os valores de carbono da fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH), e fração húmica (HUM), não mostraram diferenças de acordo com os níveis de drenagem. No entanto, ao longo do tempo, apresentaram alta sensibilidade às variações de temperatura, mostrando elevados teores de FAF e FAH no período final, e a consequente redução dos teores de HUM. Para a terceira e última parte do estudo, foram usados 43 perfis de Organossolos, sendo que 18 deles não apresentavam os dados de densidade do solo (Ds), os quais foram estimados por meio de FPTs. As comparações entre os grupos de dados medidos e estimados foi feita pelo teste de Wilcoxon. A espacialização das variáveis foi realizado através do método de interpolação IDW. Os valores médios de COT foi de $228,0 \text{ g kg}^{-1}$, a Ds foi de $0,48 \text{ Mg m}^{-3}$, a espessura dos perfis foi de 86 cm, a profundidade foi de 90 cm, e o estoque médio de COT foi de $73,51 \text{ kg m}^{-2}$. A espacialização mostrou diferenças qualitativas para as variáveis nos diferentes locais. Foi estimado um estoque de COT de $27.178.631,8 \text{ Mg}$ para os Organossolos do Estado do RJ. As taxas estimadas de perdas foram de $10,87 \text{ kg m}^{-2}$ para Organossolos com drenagem mais recente e altos teores de COT; de $7,16 \text{ kg m}^{-2}$ para Organossolos intermediários; e $1,46 \text{ kg m}^{-2}$ para Organossolos com menores teores de COT e longo tempo de drenagem. Solos com altos teores de COT estão mais propensos a terem altas perdas de COT quando perturbados.

Palavras-chave: Solos orgânicos. Matéria orgânica do solo. Turfeiras.

GENERAL ABSTRACT

BEUTLER, Sidinei Julio. **Histosols: bulk density pedotransfer functions, evaluation of subsidence rate, and carbon stocks**. 2016. 102p. Thesis (Doctor Science in Agronomy-Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

The Histosols are a major source of carbon storage in terrestrial environments and have high susceptibility to carbon losses when disturbed. The objective of this study was to generate pedotransfer functions (FPT) to assess the accuracy of previously published equations, applying them to predict soil bulk density (Bd) in organic soils from Brazil; to evaluate subsidence rate, and the variation of Bd and carbon of humic substances in Histosols over a period of one year; and to estimate stock and potential loss of carbon in Histosols from Rio de Janeiro State. For the first part of the study, there were used organic horizons, i.e., soil materials with total organic carbon (TOC) equal to or greater than 80 g kg^{-1} soil, totaling 280 horizons from different regions of Brazil. It was used the multiple linear regression technique and the equations were validated on independent data. There were tested 9 equations already published in the literature. The equations with better performance were the Hollis and FPT2, with R^2 validation parameters of 0.48 and 0.49. When the clay fraction data is available, it is recommended to use the FPT1 equation; if there is no data on clay it is recommended the FPT2 and Hollis equations, which have only the TOC as a predictor variable. For the second part, a greenhouse experiment was carried out. For that, undisturbed samples were collected using PVC pipes, of two profiles of *Organossolos Tiomórficos*, one in the neighborhood of Santa Cruz (SC Profile), city of Rio de Janeiro, and one in Magé (Profile MG) municipality. There were evaluated 3 drainage levels, at 30, 60, and 100 cm deep, with 5 measurements over time, being 0, 90, 180, 270, and 360 days (4 replicates). The MG profile presented the highest rates of subsidence, reaching $1.30 \text{ cm year}^{-1}$ for the 100 cm drainage. Bd increased over time for both profiles, and the deeper drainage increased values in the SC profile. The deeper drainage favored the reduction of pH for both profiles. The TOC showed a decreasing trend over time. The values of carbon in the fulvic acid fraction (FAF), humic acid fraction (HAF), and humin fraction (HUM) showed no differences according to drainage levels. However, over time they showed high sensitivity to temperature changes, showing high levels of FAF and HAF at the end period and a consequent reduction in humin fraction. For the third and final section, there were used 43 soil profiles, where 18 of them did not have bulk density data, which were estimated by the FPTs. Comparisons between measured and estimated data groups was performed using the Wilcoxon test. The spatial distribution of the variables was performed using the IDW interpolation method. The average values of TOC was 228.0 g kg^{-1} , Bd was 0.48 Mg m^{-3} , the thickness of the profiles was 86 cm, the depth was 90 cm and the average stock TOC was 73.51 kg m^{-2} . The spatialization showed qualitative differences for the variables in the different profile locations. The estimated TOC stock for the profiles from RJ State was 27,178,631.8 Mg. The estimated rates of loss were 10.87 kg m^{-2} for Histosols more recently drained and high TOC; of 7.16 kg m^{-2} for intermediate drained Histosols; and 1.46 kg m^{-2} for Histosols with longer time after drainage and low TOC. Soils with high TOC levels are more likely to have high losses TOC when disturbed.

Keywords: Organic soils. Soil organic matter. Peatlands.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Funções de pedotransferência testadas neste trabalho.....	10
Tabela 2. Estatística descritiva de todas as variáveis testadas.....	12
Tabela 3. Estatística descritiva do conjunto de dados independente (validação).....	13
Tabela 4. Funções de pedotransferência geradas para densidade do solo e seus respectivos índices estatísticos da regressão.	14
Tabela 5. Análise de variância das regressões geradas.....	15
Tabela 6. Análise dos resíduos das regressões.	15
Tabela 7. Teste de médias, normalidade e homocedasticidade dos resíduos para os modelos pelos testes t de Student's, Shapiro-Wilk e Breusch-Pagan respectivamente.	15
Tabela 8. Validação com os dados independentes (50 amostras).....	16
Tabela 9. Validação com todos os dados (280 amostras). Modelos somente com carbono total como variável independente.	17
Tabela 10. Normais climatológicas de precipitação (1961 a 1990) do município de Rio de Janeiro, RJ.....	32
Tabela 11. Coletas e suas respectivas datas.....	34
Tabela 12. Adaptações realizadas nas análises das amostras coletadas no experimento de subsidência.....	35
Tabela 13. Taxas de subsidência para os diferentes níveis de drenagem e perfis de Organossolos avaliados.	38
Tabela 14. Densidade do solo nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.....	39
Tabela 15. Densidade do solo nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.....	40
Tabela 16. Interação entre os diferentes níveis de drenagem e de tempo para densidade do solo (Ds) em Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.....	40
Tabela 17. Densidade do solo nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.....	41
Tabela 18. Densidade do solo nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.....	42
Tabela 19. Interação entre os diferentes níveis de drenagem e de tempo para densidade do solo (Ds) em Magé, RJ.	42
Tabela 20. Valores de pH (em água) nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.	43
Tabela 21. Valores de pH (em água) nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.	44
Tabela 22. Interação entre os diferentes níveis de drenagem e de tempo para valores de pH do solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.....	44
Tabela 23. Valores de pH (em água) nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.....	45

Tabela 24. Valores de pH (em água) nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.....	45
Tabela 25. Interação entre os diferentes níveis de drenagem e de tempo para valores de pH do solo de Magé, RJ.....	45
Tabela 26. Carbono orgânico total nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.	46
Tabela 27. Carbono orgânico total nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.....	47
Tabela 28. Carbono orgânico total nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.....	48
Tabela 29. Carbono orgânico total nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.....	48
Tabela 30. Carbono da fração ácido fúlvico nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.....	50
Tabela 31. Carbono da fração ácido fúlvico nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.	51
Tabela 32. Carbono da fração ácido fúlvico nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.	52
Tabela 33. Carbono da fração ácido fúlvico nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.....	52
Tabela 34. Carbono da fração ácido húmico nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.....	53
Tabela 35. Carbono da fração ácido húmico nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.	54
Tabela 36. Interação entre os diferentes níveis de drenagem e de tempo para a fração ácido húmico do solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.	54
Tabela 37. Carbono da fração ácido húmico nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.	55
Tabela 38. Carbono da fração ácido húmico nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.....	55
Tabela 39. Carbono da fração humina nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.	56
Tabela 40. Carbono da fração humina nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.	57
Tabela 41. Carbono da fração humina nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.....	58
Tabela 42. Carbono da fração humina nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.....	58
Tabela 43. Relação entre os valores de carbono da fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.	60
Tabela 44. Relação entre os valores de carbono da fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.....	60

Tabela 45. Relação entre os valores de carbono da fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.	61
Tabela 46. Relação entre os valores de carbono da fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.	62
Tabela 47. Relação entre os valores de carbono do extrato alcalino (EA) e humina (HUM) nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.	63
Tabela 48. Relação entre os valores de carbono do extrato alcalino (EA) e humina (HUM) nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.	63
Tabela 49. Relação entre os valores de carbono do extrato alcalino (EA) e humina (HUM) nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.	64
Tabela 50. Relação entre os valores de carbono do extrato alcalino (EA) e humina (HUM) nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.	64
Tabela 51. Estatística descritiva dos horizontes e/ou camadas avaliados (43 perfis).	76
Tabela 52. Estatística descritiva e testes de médias para a densidade do solo medida ($D_{s_{med}}$), estimada ($D_{s_{est}}$), e aplicada ($D_{s_{aplic}}$), para os horizontes e/ou camadas.	78
Tabela 53. Estatística descritiva e testes de médias para estoque de carbono orgânico total medido ($EstC_{med}$), estimado ($EstC_{est}$), e aplicado ($EstC_{aplic}$), para os horizontes e/ou camadas.	79
Tabela 54. Estatística descritiva e testes de médias para a soma do estoque de carbono orgânico total medido ($\Sigma EstC_{med}$), estimado ($\Sigma EstC_{est}$), e aplicado ($\Sigma EstC_{aplic}$), de cada perfil avaliado.	80
Tabela 55. Estatística descritiva e testes de médias para a soma dos estoques de carbono de todos os perfis ($\Sigma EstC_{med}$), dos perfis selecionados pelo interpolador ($\Sigma EstC_{selec}$), e para os valores interpolados no mapa ($\Sigma EstC_{interp}$).	81
Tabela 56. Estatística descritiva e testes de médias para os valores de espessura e profundidade medidas (Esp_{med} ; $Prof_{med}$), selecionadas pelo interpolador (Esp_{selec} ; $Prof_{selec}$), e interpolados no mapa (Esp_{interp} ; $Prof_{interp}$).	82
Tabela 57. Estatística descritiva e testes de médias para COT e D_s médios de todos os perfis (μCOT_{med} ; $\mu D_{s_{med}}$), dos perfis selecionados pelo interpolador (μCOT_{selec} ; $\mu D_{s_{selec}}$), e dos valores interpolados no mapa (μCOT_{interp} ; $\mu D_{s_{interp}}$).	83
Tabela 58. Estoque estimado para a área total de Organossolos do Estado do Rio de Janeiro.	89
Tabela 59. Perdas estimadas para o Estado do Rio de Janeiro baseando-se nos resultados da regressão, no perfil SC, e no perfil MG.	91
Tabela 60. Análises físicas e químicas do perfil SC.	99
Tabela 61. Análises físicas e químicas do perfil MG.	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da distribuição dos perfis de solos com horizontes orgânicos.	7
Figura 2. Etapas da elaboração e validação das equações.	8
Figura 3. Boxplot da densidade do solo observada e preditas pelas diferentes funções testadas na amostra independente. Ds: densidade do solo; Obs: valores de densidade do solo observados.	18
Figura 4. Boxplot da densidade do solo observada e preditas através de funções com carbono orgânico total como única variável independente. Ds: densidade do solo; Obs: valores de densidade do solo observados.	18
Figura 5. Valores observados e preditos para as funções propostas e as já publicadas aplicadas no conjunto de dados de validação. Ds: densidade do solo.	19
Figura 6. Valores observados e preditos para as funções propostas e as já publicadas com carbono orgânico total como única variável independente e aplicadas em todos os dados (treinamento e validação). Ds: densidade do solo.	21
Figura 7. Esquema ilustrativo do processo de subsidência (Adaptado de Aich et al., 2013).	29
Figura 8. Ilustração do processo de subsidência mostrando a redução da profundidade do solo orgânico após a drenagem ao longo dos anos (adaptado de Ewing & Vepraskas, 2006).	30
Figura 9. Ilustração mostrando a redução do volume pela subsidência primária, porém mantendo a sua massa, após as forças de empuxo da água. Vi: volume inicial do solo (antes da drenagem); Vf: volume final após a subsidência primária (adaptado de Ewing & Vepraskas, 2006).	30
Figura 10. Representação dos diferentes tubos do tipo PVC nos quais se deu a coleta dos perfis, apresentando dimensões de 110, 70 e 40 cm, cm lamina de drenagem a 100, 60 e 30 cm de profundidade.	32
Figura 11. Ilustração dos procedimentos da coleta das amostras indeformadas nas colunas de tubo PVC (Fotos: Paula F. C. Soares).	33
Figura 12. Ilustração do acondicionamento e organização das colunas de amostras indeformadas em casa de vegetação (Fotos: Elias Mendes Costa).	34
Figura 13. Histórico das médias de temperatura e umidade relativa do ambiente de condução do experimento. As datas do eixo de “Meses de Avaliação” compreendem todo o período do experimento, porém, a temperatura e umidade relativa foram coletadas a partir de 25/09/2014.	36
Figura 14. Taxa de subsidência dos Organossolos de Santa Cruz (SC) e Magé (MG) nas diferentes profundidades de drenagem.	37
Figura 15. Boxplot da taxa de subsidência anual observada nas áreas e drenagens avaliadas.	37
Figura 16. Densidade do solo (Ds) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).	39

Figura 17. Densidade do solo (Ds) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).....	41
Figura 18. Valores de pH (em água) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).....	43
Figura 19. Valores de pH (em água) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).....	44
Figura 20. Carbono orgânico total (COT) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).....	46
Figura 21. Carbono orgânico total (COT) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).....	47
Figura 22. Regressão das perdas de carbono orgânico total (COT) nas diferentes camadas e nos dois perfis avaliados no experimento de subsidência.....	49
Figura 23. Carbono da fração ácido fúlvico (FAF) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).....	50
Figura 24. Carbono da fração ácido fúlvico (FAF) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).....	51
Figura 25. Carbono da fração ácido húmico (FAH) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).....	53
Figura 26. Carbono da fração ácido húmico (FAH) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).....	55
Figura 27. Carbono da fração humina (HUM) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).....	56
Figura 28. Carbono da fração humina (HUM) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).....	57

Figura 29. Taxa de recuperação (TR) das substâncias húmicas do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).	59
Figura 30. Taxa de recuperação (TR) das substâncias húmicas do perfil de Organossolo de Magé (RJ).Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).	59
Figura 31. Relação entre os valores de carbono da fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).	60
Figura 32. Relação entre os valores de carbono da fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).	61
Figura 33. Relação entre os valores de carbono do extrato alcalino (EA) e humina (HUM) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).	62
Figura 34. Relação entre os valores de carbono do extrato alcalino (EA) e humina (HUM) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).	64
Figura 35. Áreas de Organossolos no Estado do Rio de Janeiro. (Baseado em Carvalho Filho et al., 2003. 1:250.000). Os pontos em marron mostram os locais com os perfis de Organossolos do banco de dados (43 perfis descritos).	74
Figura 36. Esquema básico com os procedimentos adotados para execução e testes dos resultados.	75
Figura 37. Mapa da densidade do solo dos perfis de Organossolos do Estado do Rio de Janeiro.	85
Figura 38. Mapa de carbono orgânico total dos perfis de Organossolos do Estado do Rio de Janeiro.	86
Figura 39. Mapa de profundidade dos perfis de Organossolos do Estado do Rio de Janeiro.	87
Figura 40. Mapa da espessura dos perfis de Organossolos do Estado do Rio de Janeiro.	88
Figura 41. Mapa da distribuição do estoque de carbono orgânico total das áreas de Organossolos do Estado do Rio de Janeiro.	90
Figura 42. Perfil SC no bairro Santa Cruz, município de Rio de Janeiro – RJ na imagem acima, e sua área de coleta em um cultivo de côco na imagem abaixo (Fotos: Paula Fernanda Chaves Soares).	98
Figura 43. Perfil MG em Magé – RJ na imagem acima, e sua área de coleta sob vegetação nativa na imagem abaixo (Fotos: Paula Fernanda Chaves Soares).	101

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2	CAPÍTULO I: PREDIÇÃO DA DENSIDADE EM SOLOS ORGÂNICOS DO BRASIL.....	2
2.1	RESUMO	3
2.2	ABSTRACT	4
2.3	INTRODUÇÃO	5
2.4	MATERIAL E MÉTODOS	7
2.4.1	Obtenção do banco de dados	7
2.4.2	Estatística descritiva dos dados	10
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
2.5.1	Análise dos resíduos	15
2.5.2	Avaliação dos modelos com relação a parâmetros de erros	16
2.6	CONCLUSÕES.....	22
2.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
3	CAPÍTULO II: SUBSIDÊNCIA, DENSIDADE DO SOLO, E CARBONO DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM SOLOS ORGÂNICOS	26
3.1	RESUMO	27
3.2	ABSTRACT	28
3.3	INTRODUÇÃO	29
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.4.1	Histórico e coleta das amostras no campo.....	32
3.4.2	Coleta dos dados do experimento.....	34
3.4.3	Análises realizadas	35
3.4.4	Análises estatísticas	35
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.5.1	Histórico de temperatura e umidade relativa	36
3.5.2	Densidade do solo (Ds).....	38
3.5.3	pH	42
3.5.4	Carbono orgânico total (COT).....	45
3.5.5	Fração ácido fúlvico (FAF)	49
3.5.6	Fração ácido húmico (FAH)	52
3.5.7	Fração humina (HUM)	55
3.5.8	Taxa de recuperação (TR) das substâncias húmicas (SHs)	58
3.5.9	Relação ácido húmico (FAH) / ácido fúlvico (FAF).....	59
3.5.10	Relação extrato alcalino (EA) / humina (HUM)	62
3.6	CONCLUSÕES.....	65
3.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
4	CAPÍTULO III: ESTOQUE E PERDAS DE CARBONO EM ORGANOSSOLOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL	68
4.1	RESUMO	69
4.2	ABSTRACT	70
4.3	INTRODUÇÃO	71

4.4	MATERIAL E MÉTODOS	73
4.4.1	Banco de dados	73
4.4.2	Estimativa da densidade do solo.....	76
4.4.3	Cálculo do estoque de COT.....	77
4.4.4	Espacialização dos atributos e estoque de COT	77
4.4.5	Análise estatística	77
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4.5.1	Estimativa do estoque de COT e de suas variáveis	78
4.5.2	Espacialização das variáveis e do estoque de COT	83
4.5.3	Perdas de COT	91
4.6	CONCLUSÕES.....	92
4.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
5	CONCLUSÕES GERAIS	95
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
7	ANEXOS.....	97

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os Organossolos são uma ordem de solos com constituição predominantemente orgânica. No entanto, é necessário que atendam alguns requisitos com relação aos teores de carbono orgânico total (COT) e também da espessura das camadas ou horizontes orgânicas. Os principais critérios são os teores de carbono orgânico maiores ou igual a 80 g kg^{-1} , e espessura mínima de 40 cm (SiBCS, 2013).

A ocorrência desses solos é restrita a alguns ambientes específicos. A maioria destas áreas está em regiões de baixa altitude e normalmente muito mal drenados. Por isso as áreas de maior expressão são encontradas nas zonas costeiras do país. Também podem ser encontrados em ambientes altimontanos, porém em situações mais específicas. Nesses locais, a baixa temperatura na maior parte do ano é um dos fatores mais importantes no acúmulo de matéria orgânica e formação destes solos. Os Organossolos destes ambientes muitas vezes são bem drenados, porém, também pode haver ocorrência de perfis mal drenados.

Estes solos são considerados um dos maiores reservatórios de carbono em ambientes terrestres. O uso destas áreas provoca perturbações que desencadeiam a perda de grandes quantidades do carbono retido nestes solos. São áreas que podem ser utilizadas para cultivos, no entanto, devem ser manejadas de forma diferenciada dos solos minerais. O uso de práticas inadequadas podem levar à grandes danos, podendo tornar estas áreas improdutivas.

Este trabalho aborda a importância do carbono para estes solos de constituição orgânica, compostos principalmente pela classe dos Organossolos. O trabalho está dividido em três capítulos.

O primeiro capítulo constitui-se na elaboração e avaliação de funções de pedotransferência para estimar a densidade do solo (D_s). Há uma carência deste tipo de trabalho para os solos de nosso país, inclusive os orgânicos.

No segundo capítulo avalia-se o comportamento de Organossolos submetidos à diferentes níveis de drenagem e com avaliações regulares ao longo de um ano. São avaliados a taxa de subsidência, a D_s , o pH, o carbono orgânico total (COT), e as substâncias húmicas.

No terceiro capítulo são mostrados as estimativas do estoque de COT do Estado do Rio de Janeiro, e também, algumas estimativas de perdas baseando-se em resultados observados no segundo capítulo. Além disso, realizou-se a espacialização das variáveis D_s , COT, profundidade, espessura, e o estoque de COT para as áreas de Organossolos do Estado do RJ, apresentando-se os mapas.

2 CAPÍTULO I:

PREDIÇÃO DA DENSIDADE EM SOLOS ORGÂNICOS DO BRASIL

2.1 RESUMO

A predição da densidade do solo (D_s) consiste na sua inferência a partir de outras informações mais facilmente obtidas, por meio de funções de pedotransferência (FPT). O objetivo do presente trabalho foi gerar equações, e também avaliar a acurácia de equações já publicadas, aplicando-as para a predição da D_s de solos e horizontes orgânicos do Brasil. Trabalhou-se com horizontes de solos orgânicos com teores de carbono orgânico total (COT) iguais ou maiores que 80 g kg^{-1} de solo, totalizando 280 horizontes em diferentes regiões do Brasil. Foi empregada a técnica de regressão linear múltipla e as equações foram validadas sobre dados independentes, e em uma segunda etapa, sobre todos os dados (independentes e treinamento). Os dados foram transformados pelo método de Box-Cox para atender as pressuposições dos modelos de regressão. Foram testadas 9 equações já publicadas na literatura. A validação (dados independentes) da equação FPT1 apresentou R^2 de 0,47; erro médio (ME) de -0,04; raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) de 0,22; e erro médio absoluto (MAE) de 0,18. As equações com melhor desempenho foram FPT2 e Hollis (validação sobre todos os dados), com parâmetros de validação R^2 de 0,48 e 0,49; ME de -0,05 e 0; RMSE de 0,22 e 0,21; e MAE de 0,17 e 0,17, respectivamente. Havendo os dados dos teores de argila, recomenda-se a equação FPT1. No entanto, como são escassas as análises dos teores de argila nos solos orgânicos, não havendo tal análise recomenda-se as equações FPT2 e Hollis, que possuem somente o COT como variável preditora. As equações geradas apresentaram boa acurácia quando comparadas com as equações já publicadas, considerando-se as características particulares dos solos orgânicos e o contexto ambiental em que são formados.

Palavras-chave: Funções de pedotransferência. Regressão linear múltipla. Transformação box-cox.

2.2 ABSTRACT

The bulk density (Ds) prediction consists of its inference from other information easily obtained, by means of pedotransfer functions (FPT). This work aimed the generation of equations, as well as assesses the accuracy of equations already published in the literature, applying them to the prediction of Ds for organic soils and horizons of Brazil. Organic soil horizons were used, which the total carbon content (COT) is equal or higher than 80 g kg^{-1} , in a total of 280 horizons in different regions of Brazil. Multiple linear stepwise regression technique was used and the equations were validated over independent data, and in a second stage, over the whole data (independent and training data set). The data were transformed by the Box-Cox method in order to answer the assumptions of regression models. It was tested 9 equations already published in the literature. The validation (independent data) of FPT1 showed R^2 of 0.47; mean error (ME) of -0.04; root mean square error (RMSE) of 0.22; e mean absolute error (MAE) of 0.18. The equations with best performance were FPT2 and Hollis (validation over the whole data set), with validation parameters R^2 of 0.48 and 0.49; ME of -0.05 and 0; RMSE of 0.22 and 0.21; MAE 0.17 and 0.17, respectively. Having the clay analysis it is recommended the FPT1 equation. However, clay analysis in organic soils are scarce, not having such soil analysis, it is recommended the FPT2 and Hollis equations, which have only the COT as a predictor variable. The equations generated showed good accuracy when compared with equations already published, considering the particular characteristics of organic soils and the environmental context in which they are formed.

Keywords: Pedotransfer functions. Multiple linear regression. Box-cox transformation.

2.3 INTRODUÇÃO

O termo função de pedotransferência foi usado na literatura primeiramente por Bouma (1989), significando a “transformação de dados que temos em dados que necessitamos”. As funções de pedotransferência (FPT) podem ser definidas como funções de previsão de determinadas propriedades do solo através de outras propriedades obtidas facilmente, de forma rotineira, ou de baixo custo (McBratney et al., 2002).

As primeiras FPTs para estimar a Ds foram elaboradas na década de 1970 (Jeffrey, 1970). Essas FPTs foram elaboradas somente com o COT do solo (Adams, 1973; Federer, 1993; Honeysett & Ratkowski, 1989), e mais recentemente tem-se adicionadas informações de textura e propriedades químicas dos solos (Leonavičiute, 2000; Kaur et al., 2002; Bernoux et al., 1998; Benites et al., 2007).

Segundo McBratney et al. (2002), é importante que as FPTs atendam a dois princípios básicos para evitar o seu mau uso, ou então o seu abuso. O primeiro princípio é não predizer um atributo que é mais fácil de medir que o preditor. E o segundo princípio é não usar a FPT que é impossível estimar a incerteza.

As FPTs podem ser aplicadas na predição de diferentes propriedades dos solos, como hídricas (Fidalski & Tormena, 2007; Silva et al., 2008), e físicas, na qual se inclui a Ds (Nanko et al., 2014). As recentes alterações climáticas globais têm despertado a preocupação com a mitigação de carbono nos solos, sendo necessária a determinação dos seus estoques em amplas áreas, como em níveis nacionais (IPCC, 2014). Para a determinação dos estoques de carbono é necessária a determinação do conteúdo de carbono orgânico e a densidade do solo.

A determinação da densidade do solo abaixo da camada de 0-30 cm, geralmente é de difícil obtenção, já que o trabalho necessário é muito exaustivo (Sequeira et al., 2014). Além disso, a Ds do solo não é um atributo usado para classificação de solos. Por isso são poucos os resultados de densidade do solo até 1 m de profundidade (Benites et al., 2007; Heuscher et al., 2005).

No Brasil, os primeiros trabalhos abordando os estoques de carbono em solos até a profundidade de 1 m por meio de FPT da Ds, foram os apresentados por Bernoux et al. (1998) e Tomasella e Hodnett (1998), que estudaram várias propriedades dos solos da Bacia Amazônica.

O carbono orgânico e o conteúdo de argila são atributos do solo que podem ser obtidos com maior facilidade. No entanto, segundo De Vos et al. (2005), as FPTs apresentam grande variação de desempenho quando aplicadas nos ambientes em que elas não foram geradas.

Em um estudo realizado por Benites et al. (2007) empregou-se as FPTs para a determinação de Ds nos principais solos brasileiros. Estes autores observaram que entre as diversas técnicas de modelagem empregadas, as funções de regressão foram aplicadas com resultados satisfatórios (66 % da variação da densidade do solo), utilizando-se somente os dados de carbono orgânico total (COT), argila e soma de bases (SB). Em trabalho de Bernoux et al. (1998) na bacia do Rio Amazonas, conseguiu-se explicar até 79 % da variação para os Latossolos com a aplicação da regressão múltipla *stepwise*. No entanto, isso somente foi possível após uma boa separação dos horizontes. A regressão múltipla *stepwise* tem sido o método estatístico mais comumente utilizado na predição da densidade do solo (Bernoux et al., 1998; Calhoun et al., 2001; Heuscher et al., 2005).

Para realizar a predição da densidade do solo, Calhoun et al. (2001) observaram que além de atributos químicos e físicos normalmente utilizados, como carbono orgânico e textura, os atributos morfológicos e os princípios genéticos dos solos utilizados no banco de dados podem melhorar a qualidade da predição, ou seja, elevar a explicação da variância dos

resultados. Já Hollis et al. (2012) concluiu que para a maioria dos solos europeus, o carbono orgânico, textura, profundidade dos horizontes, práticas de cultivo e o material de origem possuem maior influência sobre a densidade do solo. E estes mesmos autores também relataram que o COT foi a principal variável na predição da Ds em solos orgânicos.

Para a elaboração de FPT é necessário partir de uma base de dados previamente compilada. No Brasil, esta tem sido uma das maiores limitações na área de ciência do solo nos últimos anos. As técnicas de manejo de informações se tornaram mais acessíveis com o avanço da informática principalmente. O volume de informações existentes no Brasil é amplo, no entanto, a maioria se encontra dispersa (Benedetti et al., 2008). Por isso, é importante a maior centralização destes dados. Uma das principais iniciativas nesse sentido foi desenvolvida por Chagas et al. (2004) e Cooper et al. (2005), em que foram reunidas as informações dos principais projetos nacionais em banco de dados. A compilação do banco de dados para a elaboração deste trabalho, apesar de estar parcialmente feito (Valladares, 2003), tem apresentado dificuldades na obtenção de informações. A maioria dos perfis adicionados ao banco de dados foram encontrados em teses e dissertações desenvolvidos nos diversos programas de pós-graduação do Brasil. No entanto, muitos destes cursos ainda não disponibilizam nem sequer as suas dissertações e teses. O presente banco de dados reuniu o máximo de informações possíveis sobre perfis de solos com características orgânicas do Brasil.

Sendo as informações sobre a Ds de solos orgânicos escassas, o objetivo do presente trabalho foi a geração de novas FPT, e também avaliar a acurácia das equações já publicadas para a predição da densidade de solos em horizontes orgânicos do Brasil.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Obtenção do banco de dados

Todas as informações sobre os perfis com horizontes orgânicos foram obtidas em documentos já publicados e compreendem perfis descritos em diferentes regiões do Brasil (Figura 1). O estudo partiu de um banco de dados de solos orgânicos elaborado por Valladares (2003) e foi complementado com publicações entre os anos de 2003 até 2014. As buscas dos dados foram feitas em dissertações, teses, documentos de pesquisa, instituições de ensino e pesquisa. Todas as informações encontradas foram implementadas em um banco de dados. Todas as etapas realizadas para geração e validação das FPT encontram-se na Figura 2.

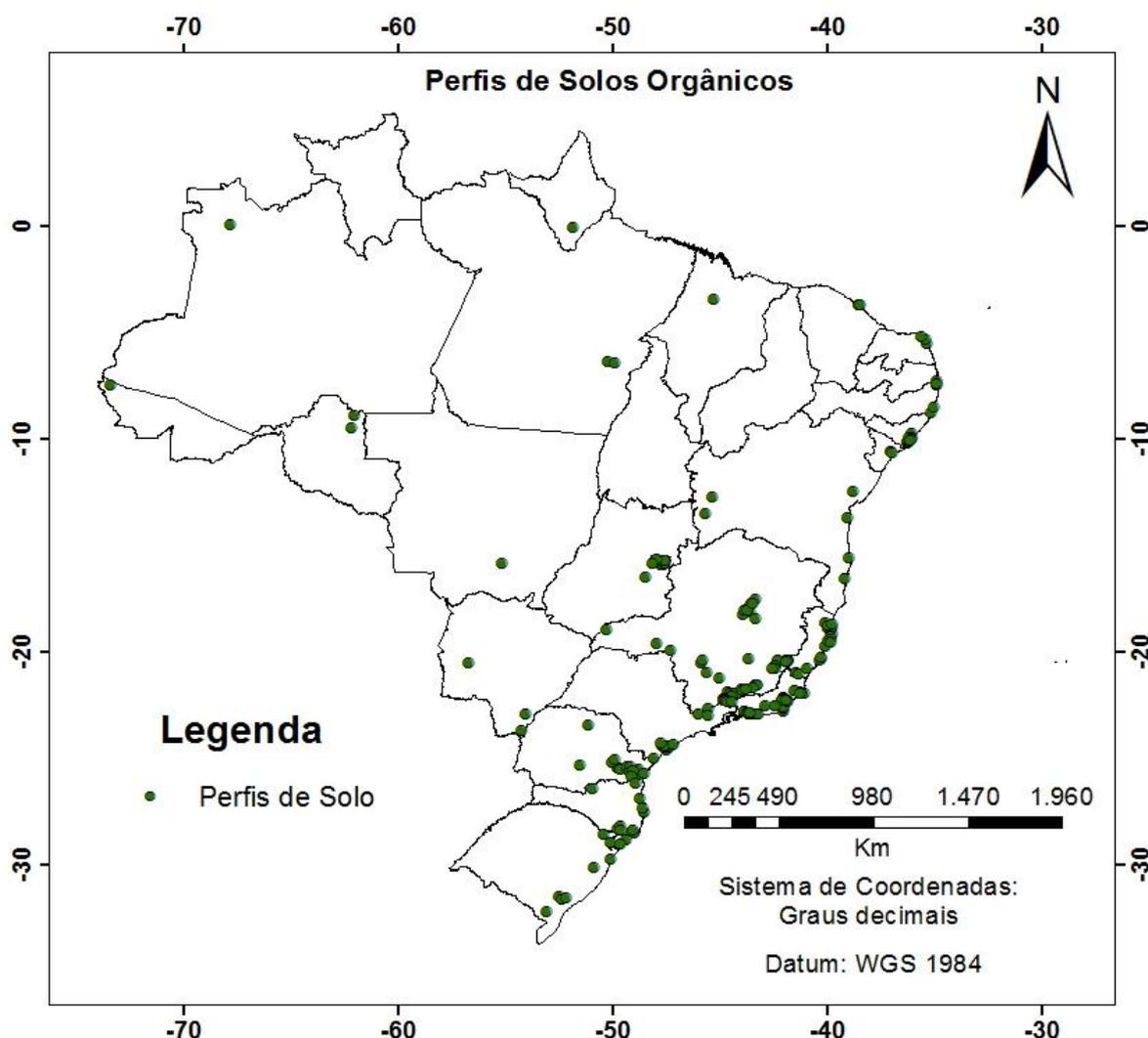


Figura 1. Mapa da distribuição dos perfis de solos com horizontes orgânicos.

Foram encontrados 210 perfis de solos, totalizando 648 horizontes com características orgânicas (teores de carbono orgânico total iguais ou superiores à 80 g kg^{-1} de solo). Apenas 280 horizontes com dados de Ds foram encontrados. Estes foram os dados efetivamente

utilizados para a elaboração das equações de predição ou FPT. Os perfis compilados compreendem em sua grande maioria Organossolos, alguns Gleissolos Melânicos e Tiomórficos, Cambissolos Hísticos e Húmicos, Neossolos Litólicos, e eventualmente Espodossolos.

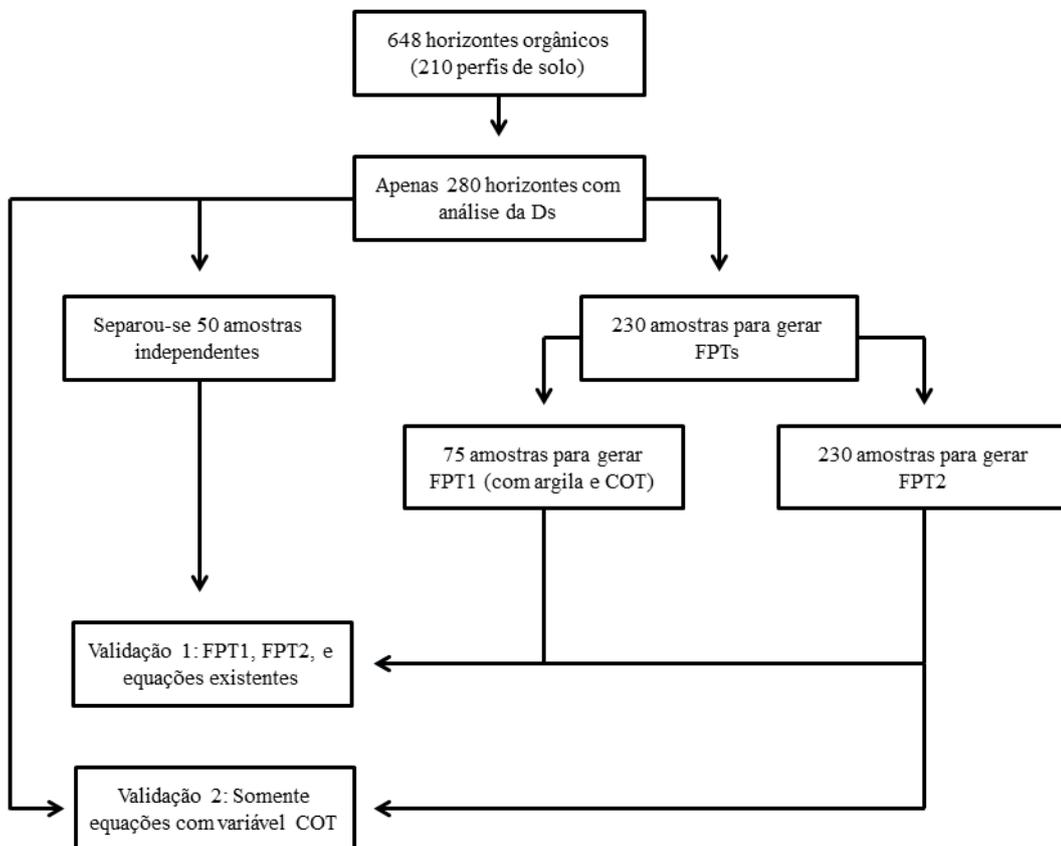


Figura 2. Etapas da elaboração e validação das equações.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa R (R Core Team, 2013). Para atender às pressuposições das análises de regressão, os dados foram transformados através da técnica de Box-Cox, com uso do pacote MASS (Venables & Ripley, 2002) no programa R. Os resíduos das equações desenvolvidas foram submetidas ao teste de normalidade através do teste de Shapiro-Wilk, a média pelo teste t, e a homogeneidade pelo teste de Breuch-Pagan através do pacote lmtest (Zeileis & Hothorn, 2002). As equações também atenderam às pressuposições do teste global de regressões disponível no pacote gvlma (Pena & Slate, 2014). Também foi realizada a análise descritiva dos resíduos das equações.

Para avaliar a acurácia das equações foram usados os seguintes parâmetros: erro médio (ME), raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE), erro médio absoluto (MAE), coeficiente de correlação (r) e coeficiente de regressão (R^2). Isto foi aplicado sobre um grupo de dados independentes e também para todo o conjunto de dados. Foi realizada a análise de variância e o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparar o ME das equações ajustadas e testadas. Para observação gráfica realizou-se plotagens com os valores observados versus valores preditos, e também gráficos do tipo boxplot para comparação do comportamento da distribuição dos valores observados e preditos pelas equações testadas. As fórmulas para calcular o ME, RMSE, e MAE encontram-se a seguir:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

onde y_i são os valores observados, \hat{y}_i os valores preditos, e n o número de amostras observadas. O R^2 mede a intensidade da relação linear entre os valores de Ds observados e preditos (Benites et al., 2007). O RMSE mede o erro global (acurácia) da predição das equações. O MAE mede o erro médio máximo das equações. O erro médio (ME) avalia se o viés da regressão é positivo ou negativo, indicando se há tendência da média dos erros serem superestimados ou subestimados, respectivamente (De Vos et al., 2005). Quanto mais próximo de zero for o ME melhor o ajuste da equação.

Para obtenção dos dados de validação foram selecionados todos os horizontes que possuíam os dados de areia, silte, argila, carbono orgânico total, pH (em água), e soma de bases. A presença destas variáveis foi necessária para a validação nas equações de alguns autores (Bernoux et al., 1998; Tomasella & Hodnett, 1998; Benites et al, 2007). Deste grupo foram amostrados aleatoriamente 50 horizontes que consistiram nos dados de validação. Após extraídas as 50 amostras, os dados restantes foram incorporados ao grupo inicial.

O critério utilizado para definir o número mínimo de amostras para validação foi estimado a partir da multiplicação do número de variáveis preditoras (incluindo-se o intercepto) por 10 (Muller & Fetterman, 2002). Segundo Hollis et al. (2012) são poucos os trabalhos com FPTs que fazem a validação das equações com dados independentes. Esta é a melhor maneira de validar modelos.

As equações testadas e que se encontram publicadas podem ser observados na Tabela 1. Assim foram utilizadas as seguintes FPTs: Hollis et al. (2012) para solos da Europa; Jeffrey (1970) para solos do norte da Inglaterra; Honeysett & Ratkowsky (1989) para solos de floresta na Tasmânia (Austrália); Adams (1970) para solos de floresta no País de Gales; Tamminen & Starr (1994) para solos de floresta da Finlândia; Manrique & Jones (1991) para solos dos Estados Unidos; Bernoux et al. (1998) e Tomasella & Hodnett (1998) para solos da Amazônia brasileira; e Benites et al. (2007) para solos do Brasil (Tabela 1).

Tabela 1. Funções de pedotransferência testadas neste trabalho.

Equação	Referência	FPT	R ²	n
Hollis	Hollis et al. (2012)	$D_s = 1,4903 - 0,33293 \text{ Ln}(\% \text{COT})$	0,68	67
Jeffrey	Jeffrey (1970)	$D_s = 1,482 - 0,6786 \log_{10}(\% \text{COT}_m)$	0,82	80
Honeysett	Honeysett & Ratkowsky (1989)	$D_s = [(0,548 + 0,0588 (\% \text{COT}_m)]^{-1}$	0,96	136
Adams	Adams (1973)	$D_s = 100 / \{ (\% \text{COT}_m / 0,311) + [(100 - \% \text{COT}_m) / 1,47] \}$	nd	45
Tamminen	Tamminen & Starr (1994)	$D_s = 1,565 - 0,2298 (\% \text{COT}_m)^{1/2}$	0,61	158
Manrique	Manrique & Jones (1991)	$D_s = 1,660 - 0,318 (\% \text{COT})^{1/2}$	0,41	19.651
Bernoux	Bernoux et al. (1998)	$D_s = 1,524 - 0,0046 (\% \text{argila}) - 0,051 (\% \text{COT}) - 0,0045 (\text{pH}_{\text{água}}) + 0,001 (\% \text{areia})$	0,56	323
Tomasella	Tomasella & Hodnett (1998)	$D_s = 1,578 - 0,054 (\% \text{COT}) - 0,006 (\% \text{silte}) - 0,004 (\% \text{argila})$	0,74	396
Benites	Benites et al. (2007)	$D_s = 1,56 - 0,0005 (\text{argila}) - 0,0100 (\text{COT}) + 0,0075 (\text{SB})$	0,66	1.396

n: número de amostras usadas no treinamento; FPT: função de pedotransferência; nd: não disponível; Ds: densidade do solo (g cm^{-3}); R²: coeficiente de regressão; COT: carbono orgânico total; COT_m: carbono orgânico total determinado em mufla; SB: soma de bases; Ln: logaritmo neperiano; Na equação de Benites et al (2007), a argila e o COT é em g kg^{-1} , e a SB é em $\text{cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$.

Juntamente com as equações são apresentados os coeficientes de regressão (R²) e o número de amostras (n) utilizadas no ajuste destas equações. Com exceção das regressões de Bernoux et al. (1998), Tomasella & Hodnett (1998), e Benites et al. (2007), todas as demais foram geradas com o COT como única variável independente para a predição da Ds (Tabela 1).

2.4.2 Estatística descritiva dos dados

O número de dados (n) apresentados na Tabela 2 é diferente para cada atributo porque os horizontes avaliados não possuem todos os dados de todas as variáveis. Um exemplo seria que determinado horizonte apresenta valores de areia e argila, porém não possui valores de saturação de bases (V%). Já outro, pode possuir o V% mas não apresentar valores de argila.

As informações da estatística descritiva do conjunto de dados são apresentadas na Tabela 2. O coeficiente de variação (CV) dos atributos é elevado, sendo maior que 50% para todos eles, com exceção do pH. Os dados são simétricos quando o valor de assimetria é igual a zero (=0). Os dados apresentam valores de assimetria positiva (>0), indicando que o pico da distribuição encontra-se do lado esquerdo da mediana. Os valores de assimetria e curtose estão relacionados a distribuição dos dados.

Os valores de curtose da areia, argila, COT e Ds mostram uma distribuição mais achatada (platicúrtica). Os casos do silte, soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (T), alumínio (Al^{+3}), hidrogênio (H^+), saturação de bases (V%), fósforo (P), e pH, apresentam uma distribuição mais concentrada, com picos altos e valores mais concentrados em torno da média e mediana (leptocúrtica) (Tabela 2). Esse comportamento não é interessante em

regressões lineares, pois tende a mostrar baixo poder de associação com outras variáveis, no caso deste estudo, a Ds. Nenhuma das variáveis apresentou distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk, pois todas elas possuem o valor-p menor que 0,05 (Tabela 2).

Para os dados independentes (validação), somente a Ds apresentou CV menor que 50%, sendo 18,5% (Tabela 3). As demais variáveis apresentaram alta dispersão dos valores. A argila apresentou a melhor assimetria dos dados (próximo de zero), e a areia, silte, COT, Ds, e S se mostraram com o pico de valores no lado esquerdo da distribuição normal. Somente o pH teve uma tendência de mostrar o pico no lado direito da distribuição normal.

Tabela 2. Estatística descritiva de todas as variáveis testadas.

Estatística	Areia	Argila	Silte	COT	Ds	S	T	Al ⁺³	H ⁺	V%	P	pH _{água}
	g kg ⁻¹				g cm ⁻³	cmol _c kg ⁻¹				%	mg kg ⁻¹	
<i>n</i>	119	125	119	280	280	254	248	274	247	248	201	272
Mínimo	0	0	9	82,4	0,05	0,18	6,8	0	0,7	0,3	0	2
Máximo	970	903	960	638,6	1,42	88,8	179	81,5	142,94	99	88	7,5
1º quartil	54	125	171	138,1	0,17	1,65	35,17	1,2	18,57	6	2	3,9
Mediana	158	310	270	229,9	0,41	7,25	44,8	3,45	30,2	16	5	4,4
3º quartil	570	590	385	408,9	0,68	16,6	62,12	6,46	40,83	31	14,2	4,8
Média	297,63	350,82	315,98	259,31	0,46	12,43	52,60	6,02	32,17	22,73	12,06	4,36
DP	302,67	259,77	213,93	137,69	0,30	16,25	28,52	9,31	21,09	22,65	16,68	0,77
CV (%)	102	74	68	53	65	131	54	155	66	100	138	18
Assimetria	0,79	0,17	1,14	0,54	0,67	2,32	1,66	4,07	1,92	1,40	2,18	0,16
Curtose	-0,87	-1,44	0,93	-1,00	-0,04	5,82	3,86	22,08	6,61	1,49	4,84	1,67
Teste de normalidade de Shapiro-Wilk												
W	0,84	0,91	0,90	0,91	0,93	0,71	0,87	0,57	0,86	0,84	0,70	0,98
valor- <i>p</i>	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

n: número de amostras; **DP**: desvio padrão; **CV**: coeficiente de variação (%); **Areia**: areia total (g kg⁻¹); **Argila**: argila total (g kg⁻¹); **Silte**: (g kg⁻¹); **COT**: carbono orgânico total (g kg⁻¹); **Ds**: densidade do solo (g cm⁻³); **S**: soma das bases Ca, Mg, K e Na (cmol_c kg⁻¹); **T**: capacidade de troca de cátions (cmol_c kg⁻¹); **Al⁺³**: alumínio trocável (cmol_c kg⁻¹); **H⁺**: hidrogênio trocável (cmol_c kg⁻¹); **V%**: saturação de bases (%); **P**: fósforo assimilável (mg kg⁻¹); **pH_{água}**: potencial de hidrogênio em água (1:2,5); **W**: valor da estatística de Shapiro-Wilk (mais próximos de 1 tendem a ter maior distribuição de normalidade).

Tabela 3. Estatística descritiva do conjunto de dados independente (validação).

Estatística	Areia	Argila	Silte	COT	Ds	S	pH _{água}
	----- g kg ⁻¹ -----				Mg m ⁻³	cmol _c kg ⁻¹	
Mínimo	0	0	30	82,4	0,08	0,3	2,2
Máximo	920	903	960	512	1,38	56,06	5,3
1º quartil	22,2	182,5	214,7	125	0,36	1,78	3,8
Mediana	93	433	310	197,6	0,54	7,2	4,25
3º quartil	282,5	650	492,5	296,8	0,72	14,72	4,67
Média	186	406	378	229,2	0,56	10,33	4,16
DP	226,13	270,24	235,40	126,22	0,30	11,00	0,77
CV (%)	121,2	66,6	62,3	55,1	53,1	106,5	18,5
Assimetria	1,49	-0,11	0,93	0,73	0,61	1,82	-0,45
Curtose	1,44	-1,41	-0,06	-0,68	0,20	4,23	-0,51
Teste de normalidade de Shapiro-Wilk							
W	0,79	0,92	0,90	0,90	0,96	0,81	0,96
Valor- <i>p</i>	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	0,11	<0,001	0,07

DP: desvio padrão; **CV:** coeficiente de variação (%); **Areia:** areia total (g kg⁻¹); **Argila:** argila total (g kg⁻¹); **Silte:** (g kg⁻¹); **COT:** carbono orgânico total (g kg⁻¹); **Ds:** densidade do solo (Mg m⁻³); **S:** soma das bases Ca, Mg, K e Na (cmol_c kg⁻¹); **pH_{água}:** potencial de hidrogênio em água (1:2,5); **W:** valor da estatística de Shapiro-Wilk.

A areia e o valor S apresentaram uma distribuição mais concentrada dos valores (curtose >0,263). Já a argila, silte, COT e pH apresentaram uma forma de distribuição mais achatada (curtose <0,263) e a Ds teve uma distribuição mesocúrtica. Somente a Ds e o pH apresentaram distribuição normal dos valores à 5% de significância (valor-*p* >0,05) (Tabela 3). De forma geral, o grupo de dados independentes (validação) representa a forma de distribuição dos dados de treinamento.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a elaboração das FPTs foram priorizadas variáveis que fossem mais facilmente obtidas, que é um princípio importante na geração de equações de predição. Os atributos da Tabela 2 foram usados como dados de entrada na regressão, e a técnica stepwise selecionou as variáveis significativas nas equações. Assim, somente carbono orgânico total (COT) e argila se mostraram significativas nas equações de predição da Ds.

Em estudo para avaliar a importância das variáveis nos modelos de Ds, Jalabert et al. (2010) concluíram que o COT foi a variável mais importante na predição da Ds. Benites et al. (2007) reportaram que o COT foi mais importante que a argila na predição da Ds para as camadas até 30 cm de profundidade, porém, a argila foi mais importante nas camadas de 30-100 cm de profundidade.

Foram geradas duas equações, sendo denominadas de FPT1 e FPT2 (Tabela 4). A FPT1 foi gerada com as variáveis COT e argila, e a FPT2 somente com a variável COT, uma vez que a realização da análise dos teores de argila não é comum para solos orgânicos. Os expoentes das equações são devido às transformações dos dados pela técnica de Box-Cox. Essa técnica encontra um valor mais apropriado para ser usado como potência, o que possibilitou que os resíduos das equações apresentassem normalidade.

Tabela 4. Funções de pedotransferência geradas para densidade do solo e seus respectivos índices estatísticos da regressão.

Regressão	FPT1			FPT2	
Equação	$Ds = [1,6179 - 0,0180*(Argila+1)^{0,46} - 0,0398*COT^{0,55}]^{1,33}$			$Ds = [4,0899 - 2,3978*COT^{0,06}]^{3,85}$	
<i>n</i>	75			230	
Parâmetro	Intercepto	$(Argila+1)^{0,46}$	$COT^{0,55}$	Intercepto	$COT^{0,06}$
B	1,6179	-0,0180	-0,0398	4,0899	-2,3978
EP	0,1016	0,0038	0,0042	0,2110	0,1521
Valor <i>t</i>	15,92	-4,72	-9,47	19,39	-15,77
Valor- <i>p</i>	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Valor- <i>p_m</i>	< 0,001			< 0,001	
R^2	0,58			0,52	
R^2_{adj}	0,56			0,52	
SE	0,19			0,11	

n: número de amostras de treinamento; B: valor *beta*; EP: erro padrão das variáveis; Valor-*p_m*: valor-*p* do modelo; R^2_{adj} : coeficiente de regressão ajustado; SE: erro padrão do modelo; Ds: densidade do solo ($g\ cm^{-3}$); Argila: argila total ($g\ Kg^{-1}$); COT: carbono orgânico total ($g\ Kg^{-1}$).

O valor-*p* dos parâmetros das duas equações geradas foram significativos (<0,05), assim como o valor-*p* das equações (valor-*p_m*). Os R^2 das equações foram 0,58 e 0,52 para as equações FPT1 e FPT2, respectivamente. Já os R^2 ajustados (R^2_{adj}) foram 0,56 e 0,52 para FPT1 e FPT2. Os erros padrões (SE) das equações foram de 0,19 e 0,11 $g\ cm^{-3}$ para FPT1 e FPT2, respectivamente (Tabela 4). A análise de variância também mostra que as variáveis foram significativas à 5% para as duas equações geradas (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de variância das regressões geradas.

Modelo	FV	GL	SQ	QM	Valor F	Valor-p
FPT1	Argila	1	0,306	0,306	8,191	0,005
	COT	1	3,352	3,352	89,770	<0,001
	Resíduo	72	2,689	0,037		
FPT2	COT	1	2,776	2,776	248,59	<0,001
	Resíduo	228	2,546	0,011		

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; COT: carbono orgânico total.

2.5.1 Análise dos resíduos

A estatística dos resíduos das duas FPTs é mostrada na Tabela 6. Observa-se que a média dos resíduos tende a zero, que é uma condição favorável. O desvio padrão (DP) da FPT2 foi menor, indicando maior precisão. E os valores máximos e mínimos mais próximos de zero indicam a melhor precisão da equação. A FPT2 apresentou os resíduos mais próximos de zero, sendo melhor avaliada. Os valores de assimetria e curtose foram satisfatórios, apresentando distribuição normal. De maneira geral os resíduos da FPT2 são melhores que a FPT1.

Tabela 6. Análise dos resíduos das regressões.

	Média	DP	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
FPT1	-6,38e ⁻²⁰	0,19	-0,38	0,38	-0,07	-0,86
FPT2	-2,93e ⁻¹⁸	0,10	-0,31	0,24	-0,25	-0,30

DP: desvio padrão

O valor crítico (valor-p) pelo risco de 5% do teste de Shapiro-Wilk é respectivamente de 0,34 para o modelo FPT1 e 0,21 para o modelo FPT2. Assim pressupõe-se que os resíduos são originados de uma distribuição normal. Isso indica que a média dos erros dos modelos tende a zero, o que foi confirmado pelo teste t de Student (Tabela 7). Todas estas pressuposições são desejáveis para as regressões.

Tabela 7. Teste de médias, normalidade e homocedasticidade dos resíduos para os modelos pelos testes t de Student's, Shapiro-Wilk e Breusch-Pagan respectivamente.

Modelo	Teste t de Student's (média)			Teste de Shapiro-Wilk (normalidade)		Teste de Breusch-Pagan (homocedasticidade)	
	Média ^a	t	p (>0,05)	W	p (>0,05)	BP	p (>0,05)
FPT1	< -0,001 a	0	1	0,9817	0,349	2,902	0,234
FPT2	< -0,001 a	0	1	0,9916	0,211	0,052	0,818

^a: letras iguais significam que as médias são semelhantes pelo teste t ($p < 0,05$).

Os erros também atendem a pressuposição da homocedasticidade (distribuição homogênea) à 5% pelo teste de Breusch-Pagan, com os valores-p de 0,23 e 0,81 para FPT1 e FPT2, respectivamente. A homoscedasticidade é uma circunstância favorável para uma função de regressão ser válida.

2.5.2 Avaliação dos modelos com relação a parâmetros de erros

Para julgar o desempenho das FPTs geradas, foram utilizados os parâmetros erro médio de predição (ME), raiz quadrada do erro médio de predição (RMSE), erro médio absoluto (MAE), coeficiente de correlação (r), e coeficiente de regressão (R^2), ajustando-as à amostra independente e também comparando-os com outras FPTs publicadas (Tabela 8).

Tabela 8. Validação com os dados independentes (50 amostras).

Modelo	n	r	R^2	ME ^a	RMSE	MAE
				----- g cm ³ -----		
FPT1	75	0,69	0,47	-0,04 b	0,22	0,18
FPT2	230	0,61	0,37	-0,10 bc	0,26	0,21
Hollis	67	0,60	0,36	-0,06 b	0,24	0,19
Jeffrey	80	0,60	0,36	-0,12 bc	0,26	0,21
Honeysett	136	0,61	0,37	0,05 ab	0,24	0,20
Adams	45	0,59	0,35	0,28 a	0,37	0,31
Tamminen	158	0,57	0,33	-0,05 b	0,28	0,24
Manrique	19.651	0,57	0,33	-0,36 c	0,50	0,39
Bernoux	323	0,64	0,41	-0,22 bc	0,50	0,34
Tomasella	613	0,37	0,14	-2,07 e	2,19	2,07
Benites	1.396	0,56	0,31	-1,41 d	1,76	1,41

^a: letras iguais significam que as médias são semelhantes pelo teste de Tukey à 5%; n : número de observações; r : coeficiente de correlação; R^2 : coeficiente de regressão; ME: erro médio; RMSE: raiz quadrada do erro quadrático médio; MAE: erro médio absoluto. Hollis et al. (2012); Jeffrey (1970); Honeysett & Ratkowsky (1989); Adams (1973); Tamminen & Starr (1994); Manrique & Jones (1991); Bernoux et al. (1998); Tomasella & Hodnett (1998); Benites et al. (2007).

A validação das equações foi realizada em duas etapas, sendo a primeira aplicada as equações desenvolvidas e as equações a serem testadas em dados independentes (Tabela 8). A segunda validação consistiu somente na aplicação das equações que possuem apenas o COT como variável preditora (Tabela 9). Esta aplicação foi realizada sobre todos os dados (treinamento e validação).

Na Tabela 8 pode-se observar que, com exceção das equações de Honeysett e Adams, todas as demais subestimaram a Ds. As equações de Tomasella e Benites foram as que apresentaram os piores desempenhos, com os maiores ME, RMSE, e MAE. Estas equações foram desenvolvidas para solos minerais. As equações de Bernoux e Manrique também se mostraram limitadas, mostrando altos valores de RMSE e MAE.

As equações com melhor desempenho foram a FPT1, FPT2, Hollis, Jeffrey, e Honeysett (Tabela 8). Dentre estas, O R^2 variou de 0,36 a 0,47; o ME de -0,12 a 0,05; o RMSE de 0,22 a 0,26; e o MAE de 0,18 a 0,21. O ME destas equações foram semelhantes. De maneira geral, estes foram os melhores valores de parâmetros de validação sobre os dados independentes.

A validação da equação de Hollis pelos autores explicou 29% da variação da Ds medida, com uma porcentagem de erro de $\pm 39\%$. No presente trabalho, a equação de Hollis explicou 36% da variação com uma porcentagem de erro $\pm 13\%$. Os autores observaram que para todas as equações desenvolvidas, a predição da Ds é relativamente limitada quando aplicada sobre um conjunto de dados de validação independente, mesmo quando proveniente da mesma área ou tipo de solo.

A FPT1 apresentou a maior acurácia e possui o COT e a argila como variáveis preditoras. Portanto, recomenda-se o uso desta equação para realizar estimativas da Ds em solos orgânicos. Há de se considerar os teores elevados de argila em alguns solos orgânicos.

Pela Tabela 2, o máximo foi de 90% de argila, sendo a média de 35%, mostrando a presença marcante da fração mineral. Porém, em muitos casos não são feitas as análises de argila para solos orgânicos. Como alternativa, têm-se as equações FPT2, Hollis, Jeffrey, e Honeysett, que possuem somente o COT como variável preditora.

Para obter-se uma conclusão mais consistente, partiu-se para uma segunda etapa do processo de validação. Aplicou-se todas as equações que possuem somente o COT como variável preditora sobre todos os dados (Tabela 9). Este teste foi aplicado devido às equações se mostrarem mais acuradas quando comparadas as equações com outras variáveis predictoras além do COT.

Tabela 9. Validação com todos os dados (280 amostras). Modelos somente com carbono total como variável independente.

Modelo	<i>n</i>	<i>r</i>	R^2	ME ^a	RMSE	MAE
				----- g cm ⁻³ -----		
FPT2	230	0,70	0,48	-0,05 c	0,22	0,17
Hollis	67	0,70	0,49	-0,00 c	0,21	0,17
Jeffrey	80	0,70	0,49	-0,05 c	0,22	0,18
Honeysett	136	0,70	0,49	0,10 b	0,24	0,19
Adams	45	0,70	0,49	0,34 a	0,40	0,36
Tamminen	158	0,69	0,47	-0,02 c	0,24	0,20
Manrique	19.651	0,69	0,47	-0,36 d	0,47	0,39

^a: letras iguais significam que as médias são semelhantes pelo teste de Tukey à 5%; *n*: número de observações; *r*: coeficiente de correlação; R^2 : coeficiente de regressão; ME: erro médio; RMSE: raiz quadrada do erro quadrático médio; MAE: erro médio absoluto.

Hollis et al. (2012); Jeffrey (1970); Honeysett & Ratkowsky (1989); Adams (1973); Tamminen & Starr (1994); Manrique & Jones (1991); Bernoux et al. (1998); Tomasella & Hodnett (1998); Benites et al. (2007)

As equações FPT2, Hollis, e Jeffrey apresentaram os melhores desempenhos quando aplicadas sobre todos os dados, mostrando o ME, RMSE e MAE mais próximos de zero (Tabela 9). O ME destas equações foi semelhante. As equações de Hollis e Jeffrey aplicam o logaritmo dos valores de COT para a linearização das equações, ou seja, a Ds dos solos orgânicos apresentaram uma boa relação logarítmica com o COT. Para a geração da FPT2 foi utilizado a transformação de Box-Cox, para atender aos pressupostos da regressão linear.

As equações FPT2 e Hollis apresentaram o R^2 de 0,48 e 0,49; ME de -0,05 e 0,00; RMSE de 0,22 e 0,21; e MAE de 0,17 e 0,17; respectivamente (Tabela 9). Portanto, as equações FPT2 e Hollis apresentaram os melhores resultados de validação, com desempenhos semelhantes, podendo ser adotadas para predições da Ds em solos orgânicos (Tabela 9).

A distribuição dos resultados preditos por todas as equações testadas são apresentadas na Figura 3. O box-plot das equações FPT1, FPT2, Hollis, Jeffrey, e Honeysett foram os mais semelhantes com o box-plot dos dados observados. Já os box-plot das equações de Benites, Tomasella, e Bernoux mostram que estas equações apresentaram os piores desempenhos de predição da Ds. Estas três equações empregaram mais de duas variáveis para predição da Ds, incluindo propriedades químicas, sugerindo que as propriedades químicas não são boas variáveis predictoras das Ds em solos orgânicos.

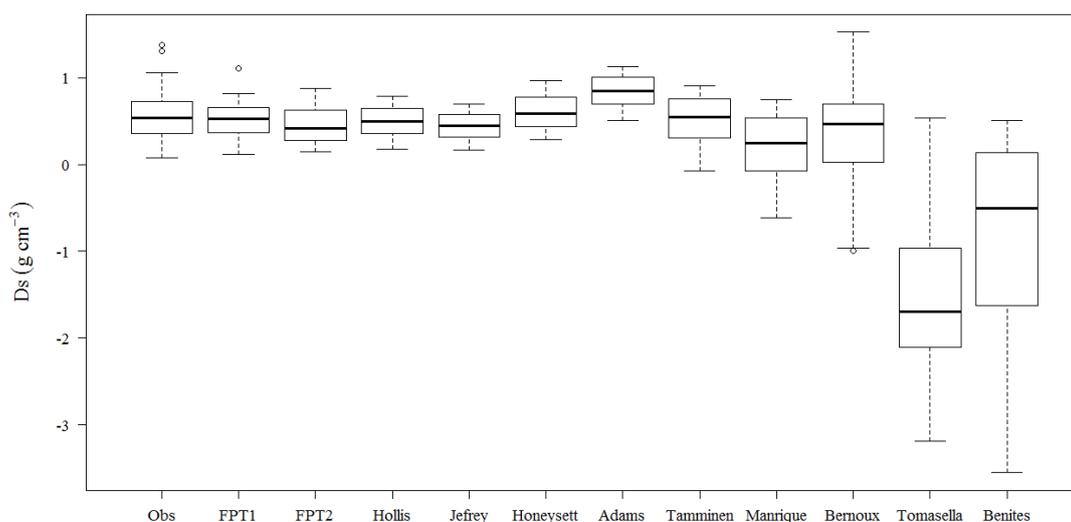


Figura 3. Boxplot da densidade do solo observada e previstas pelas diferentes funções testadas na amostra independente. Ds: densidade do solo; Obs: valores de densidade do solo observados.

Na Figura 4 são observadas as distribuições da Ds previstas pelas equações que possuem somente o COT como variável preditora. Verifica-se que a distribuição do box-plot das equações FPT2, Hollis, e Jeffrey possuem maior semelhança com a distribuição do box-plot dos dados observados. Estas equações apresentaram os melhores desempenhos na predição da Ds. As equações de Tamminen e Manrique apresentaram os piores desempenhos.

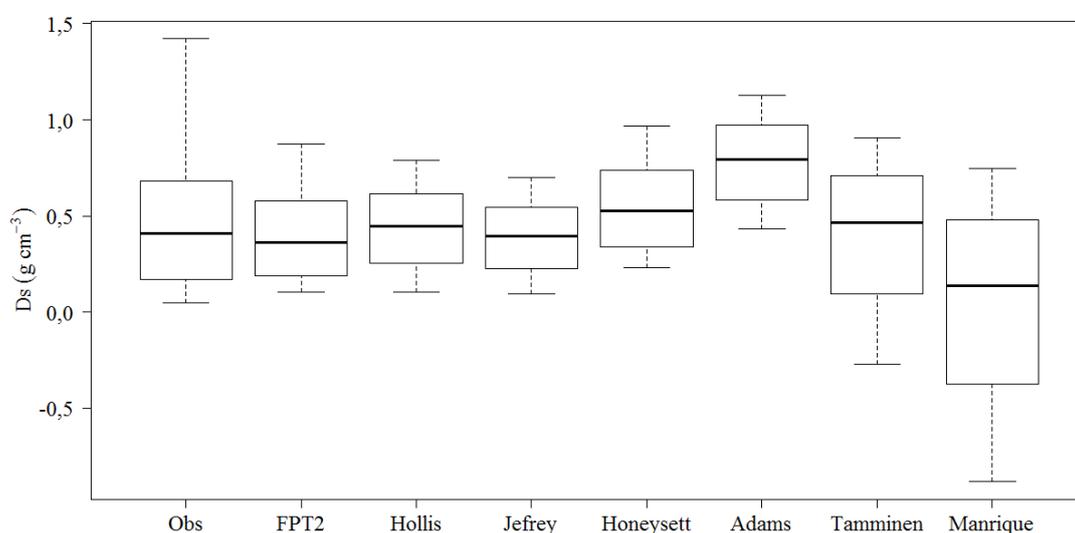


Figura 4. Boxplot da densidade do solo observada e previstas através de funções com carbono orgânico total como única variável independente. Ds: densidade do solo; Obs: valores de densidade do solo observados.

Os solos orgânicos apresentam muitas dificuldades na aplicação das metodologias de análises químicas e físicas (Pereira et al., 2006; Gatto et al., 2009). A grande maioria das metodologias utilizadas foram calibradas para solos minerais, gerando assim maiores dificuldades na interpretação dos resultados.

Na Figura 5 estão apresentadas as correlações entre os valores de Ds observados e preditos, aplicadas sobre os dados independentes. Quanto maior a proximidade dos pontos com a linha diagonal melhor é a correlação. As equações melhor correlacionadas foram FPT1, FPT2, Hollis, Jeffrey e Honeysett. Já as equações de Manrique, Bernoux, Tomasella, e Benites tiveram as piores correlações.

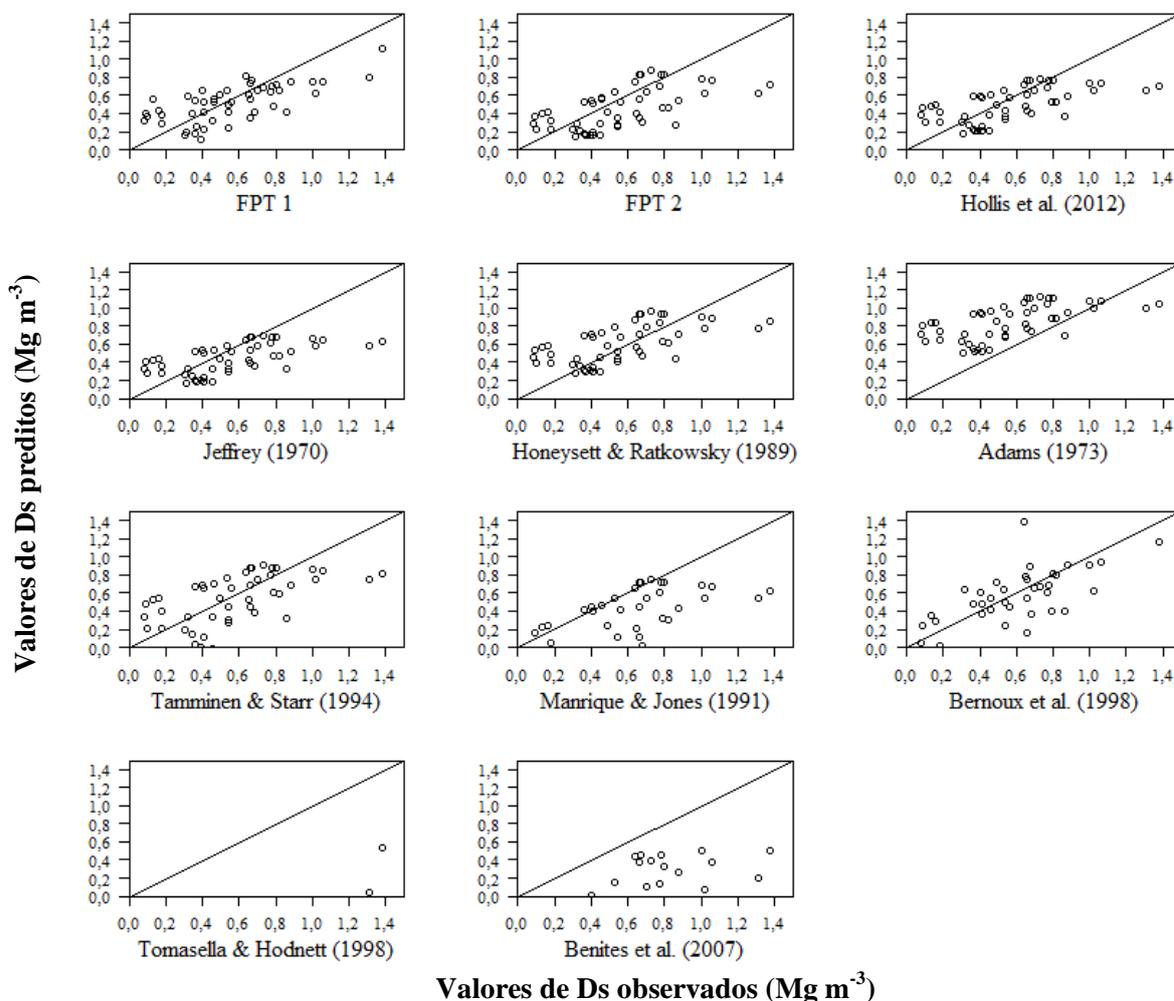


Figura 5. Valores observados e preditos para as funções propostas e as já publicadas aplicadas no conjunto de dados de validação. Ds: densidade do solo.

As amostras de solos avaliadas possuem elevados teores de carbono, que são um dos grupos mais restritos dentro dos diversos tipos de solos. Apesar de buscar-se a especificação na elaboração de equações de predição para solos orgânicos, neste estudo foram observadas algumas limitações na fase de elaboração do banco de dados e de processamento. As limitações incluem a diferença de métodos de análises e as diferentes categorias de solos orgânicos. No caso das diferentes categorias, observa-se que os solos com elevados teores de COT possuem uma ampla variação de classes de solos, ou mesmo em sua constituição, como é o caso dos Organossolos, que apresentam características sápricas, hêmicas ou fíbricas. No entanto, essa limitação foi abrandada pelas conclusões de Hollis et al. (2012), que não observaram diferença significativa nas médias da Ds de horizontes Hísticos e Fólicos, sendo assim, combinados em único grupo, como neste estudo. Essas limitações, no entanto, não

comprometem a validade deste trabalho, que mostra equações mais específicas e acuradas para a predição da Ds em solos orgânicos.

Assim, a maior limitação são as diferentes formas de análises empregadas nesses solos, e também a própria variabilidade dos resultados que é alta. Na fase de elaboração do banco de dados foram encontradas metodologias diferenciadas para quantificar os teores de carbono no solo, sendo observados os métodos da combustão (mufla), titulação com dicromato (Yeomans & Bremner, 1988; e Walkley & Black, 1934), e auto-analisadores elementares (CHN). Quando aplicados métodos diferentes à uma mesma amostra normalmente observam-se variações dos teores de carbono entre os métodos (Pereira et al., 2006; Gatto et al., 2009).

As correlações entre as Ds observadas e estimadas, aplicadas sobre todos os dados e usando-se somente a variável preditora COT, são mostradas na Figura 6. Entre estas equações, a FPT2, Hollis, Jeffrey, e Honeysett apresentaram as melhores correlações. Porém, pelos indicadores já apresentadas na Tabela 9, as equações FPT2 e Hollis foram as melhores.

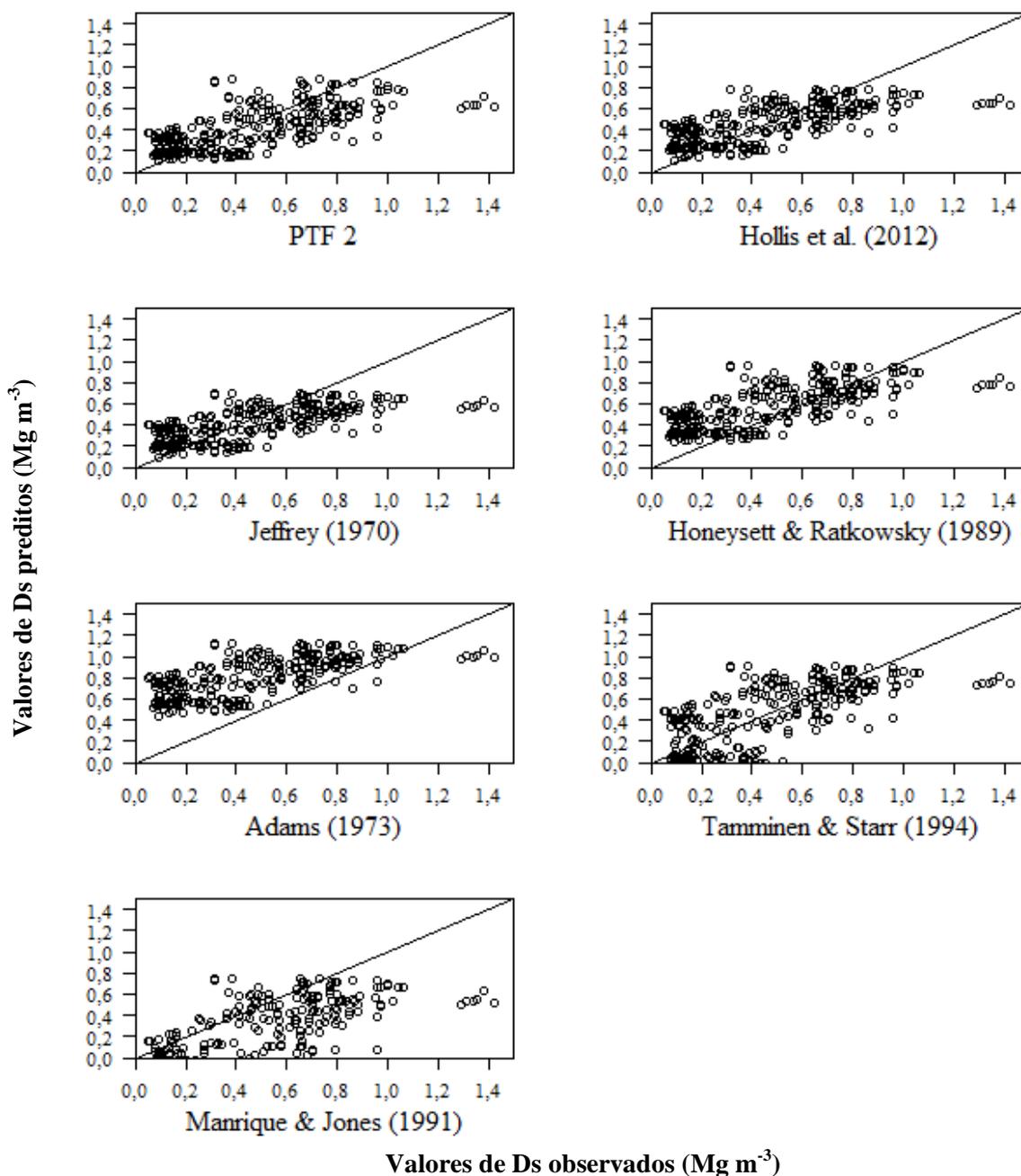


Figura 6. Valores observados e preditos para as funções propostas e as já publicadas com carbono orgânico total como única variável independente e aplicadas em todos os dados (treinamento e validação). Ds: densidade do solo.

No entanto, uma das qualidades dos modelos de regressão é chamada de regressão à média, que gera os seus parâmetros das equações com base em valores médios dos dados de treinamento. Assim, os valores obtidos por métodos diferentes tenderão para uma média dos diferentes métodos de análise. Nesse caso, o método de regressão linear é um método apropriado para reduzir estes efeitos nas equações de predição, independente de adotar-se uma equação gerada neste trabalho ou de adotar-se equações elaboradas por outros autores.

2.6 CONCLUSÕES

Havendo a análise do teor de argila, recomenda-se a FPT1, gerada a partir da regressão linear stepwise, onde além do teor de COT, a argila foi também selecionada como variável preditora para a densidade de solos orgânicos. Os índices estatísticos calculados apontam esta equação gerada como a de maior acurácia dentre as FPTs levantadas na literatura.

A análise do teor de argila é escassa para solos orgânicos. Não havendo tal análise, recomenda-se a FPT2 e a de Hollis, que apresentaram acurácia mais elevada dentre as equações que empregam apenas o COT como variável preditora.

A melhor performance das equações geradas e aplicadas aos dados coletados no Brasil, ressalta a importância do contexto ambiental, principalmente edáfico e climático, no estabelecimento e na acurácia das funções de pedotransferência.

2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, W. A. The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podzolic soils. *Journal of Soil Science*, v.24, p.10–17, 1973.
- BENEDETTI, M. M.; SPAROVEK, G.; COOPER, M.; CURI, N.; CARVALHO FILHO, A. Representatividade e potencial de utilização de um banco de dados de solos do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2591-2600, 2008.
- BENITES V. M.; MACHADO P. L. O. A.; FIDALGO E. C. C.; COELHO M. R.; MADARI, B. E. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. *Geoderma*, v.139, p.90–97, 2007.
- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.; VOLKOFF, B.; JOLIVET, C. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, v.62, p.743-749, 1998.
- BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science*, v. 9, p.177-213, 1989.
- CALHOUN, F. G.; SMECK, N. E.; SLATER, B. L.; BIGHAM, J. M.; HALL, G. F. Predicting bulk density of Ohio soils from morphology, genetic principles, and laboratory characterization data. *Soil Science Society of America Journal*, v.65, p.811-819, 2001.
- CHAGAS, C. S.; CARVALHO JUNIOR, W.; BHERING, S. B.; TANAKA, A. K.; BACA, J. F. M. Estrutura e organização do sistema de informações georreferenciadas de solos do Brasil (Sigsolos - versão 1.0). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.865-876.
- COOPER, M.; MENDES, L. M. S.; SILVA, W. L. C.; SPAROVEK, G. A national soil profile database for Brazil available to international scientists. *Soil Science Society of America Journal*, v.69, p.649-652, 2005.
- DE VOS, B.; VAN MEIRVENNE, M.; QUATAERT, P.; DECKERS, J.; MUYS, B. Predictive quality of pedotransfer functions for estimating bulk density of forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.69, p.500-510, 2005.
- FAO. Guidelines for soil description. 4 th edition. FAO, Rome, 2006.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração em sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente em citros. *Ciência Rural*, v.37, p.1316-1322, 2007.
- GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; SÁ MENDONÇA, E.; VILLANI, E.M.A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.735-740, 2009.
- HEUSCHER, S. A.; BRANDT, C. C.; JARDINE, P. M. Using soil physical and chemical properties to estimate bulk density. *Soil Science Society of America Journal*, v.69, p.51–56, 2005.
- HOLLIS, J. M.; HANNAM, J.; BELLAMY, P. H. Empirically-derived pedotransfer functions for predicting bulk density in European soils. *European Journal of Soil Science*, v.63, p.96-109, 2012.

HONEYSETT, J. L.; RATKOWSKY, D. A. The use of ignition loss to estimate bulk density of forest soils. *Journal of Soil Science*, v.40, p.299–308, 1989.

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). Geneva: IPCC, 2014. 151p.

JALABERT, S. S. M.; MARTIN, M. P.; RENAUD, J. P.; BOULONNE, L.; JOLIVET, C.; MONTANARELLA, L.; ARROUAYS, D. Estimating forest soil bulk density using boosted regression modeling. *Soil Use and Management*, v.26, p.516–528, 2010.

JEFFREY, D. W. A note on the use of ignition loss as a means for the approximate estimation of soil bulk density. *Journal of Ecology*, v.58, p.297–299, 1970.

KAUR, R.; KUMAR, S.; GURUNG, H. P. A pedo-transfer function (PTF) for estimating soil bulk density from basic soil data and its comparison with existing PTFs. *Australian Journal of Soil Research*, v.40, p.847–857, 2002.

LEONAVIČIUTE, N. Predicting soil bulk and particle densities by pedotransfer functions from existing soil data in Lithuania. *Geoandgrafijos Metraštis*, v.33, p.317–330, 2000.

MANRIQUE, L. A.; JONES, C. A. Bulk density of soils in relation to soil physical and chemical properties. *Soil Science Society of America Journal*, v.55, p.476–481, 1991.

MCBRATNEY, A. B.; MINASNY, B.; CATTLE, S.R.; VERVOORT, R.W. From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma*, v.109, p.41–73, 2002.

MULLER, K. E.; FETTERMAN, B. A. Regression and ANOVA: An integrated approach using SAS software. SAS Institute, Cary, North Caroline, 2002.

NANKO, K.; UGAWA, S.; HASHIMOTO, S.; IMAHA, A.; KOBAYASHI, M.; SAKAI, H.; ISHIZUKA, S.; MIURA, S.; TANAKA, N.; TAKAHASHI, M.; KANEKO, S. A pedotransfer function for estimating bulk density of forest soil in Japan affected by volcanic ash. *Geoderma*, v.213, p.36–45, 2014.

PENA, E. A.; SLATE, E. H. *gvlma: Global Validation of Linear Models Assumptions*. R package version 1.0.0.2., 2014.

PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M.; ESPÍNDULA Jr., A.; EBELING, A. G. Organic carbon determination in histosols and soil horizons with high organic matter content from Brazil. *Scientia Agricola*, v.63, p.187–193, 2006.

PHACHOMPON, K.; DLAMINI, P.; CHAPLOT, V. Estimating carbon stocks at a regional level using soil information and easily accessible auxiliary variables. *Geoderma*, v.155, p.372–380, 2010.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (URL <http://www.R-project.org/>), 2013.

SEQUEIRA, C. H.; WILLS, S. A.; SEYBOLD, C. A.; WEST, L. T. Predicting soil bulk density for incomplete databases. *Geoderma*, v.213, p.64–73, 2014.

SILVA, Á. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1–10, 2008.

TAMMINEN, P.; STARR, M. Bulk density of forested mineral soils. *Silva Fennica*, v.28, p.53–60, 1994.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G. Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. *Soil Science*, v.163, p.190-202, 1998.

VALLADARES, G.S. Caracterização de organossolos, auxílio à sua classificação. 2003. 142f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. *Modern Applied Statistics with S*. 4th Edition. Springer: New York, 2002.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, v.37, p.29–38, 1934.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication of Soil Science and Plant Analysis*. v.19, p.1467-1476, 1988.

ZEILEIS, A. & HOTHORN, T. Diagnostic Checking in Regression Relationships. *R News*, v.2, p.7-10, 2002.

3 CAPÍTULO II:

SUBSIDÊNCIA, DENSIDADE DO SOLO, E CARBONO DAS SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM SOLOS ORGÂNICOS

3.1 RESUMO

O elevado teor de matéria orgânica dos Organossolos confere-lhes atributos físicos, químicos e biológicos próprios, sendo o processo de subsidência um dos grandes problemas decorrentes do manejo destes solos. Este estudo teve como objetivo avaliar a taxa de subsidência, a densidade do solo (Ds), e o carbono das substâncias húmicas em Organossolos ao longo do período de um ano. O experimento foi conduzido em casa de vegetação. Foram coletadas amostras indeformadas, com auxílio de tubos de PVC, em dois perfis de Organossolo Tiomórfico, sendo um no bairro Santa Cruz (Perfil SC), município de Rio de Janeiro, e outro em Magé (Perfil MG). Foram avaliados 3 níveis de drenagem, sendo de 30, 60, e 100 cm de profundidade, 5 avaliações ao longo do tempo, sendo de 0, 90, 180, 270, e 360 dias. Cada tratamento foi realizado com 4 repetições. As colunas foram irrigadas semanalmente. O perfil MG apresentou as maiores taxas de subsidência, chegando a 1,30 cm para a drenagem de 100 cm. A Ds aumentou ao longo do tempo para os dois perfis, e a drenagem mais profunda aumentou os valores no perfil SC, e reduziu os valores no perfil MG. Os valores de pH mostraram variações no decorrer do tempo, e a drenagem mais profunda favoreceu a redução do pH para os dois perfis. Os teores de COT não mostraram diferenças nos níveis de drenagem, porém apresentou redução ao longo do tempo. Os valores da fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH), e fração húmica (HUM), não mostraram diferenças nos níveis de drenagem. No entanto, ao longo do tempo apresentaram alta sensibilidade às variações de temperatura, mostrando elevados teores de FAF e FAH no período final, e a consequente redução dos teores de HUM.

Palavras-chave: Organossolos. Drenagem. Ácidos húmicos.

3.2 ABSTRACT

The high content of organic matter Histosols gives them physical, chemical and biological own, and the process of subsidência a major problem resulting from the management of these soils. This study aimed to evaluate the subsidence rate, bulk density (Bd), and the carbon of humic substances in Histosols over the period of a year. The experiment was conducted in a greenhouse. Undisturbed samples were collected with the help of PVC pipes in two profiles Organosol Tiomorfico, one in the neighborhood Santa Cruz (SC Profile), the city of Rio de Janeiro, and another in Magé city (MG profile). Were evaluated three drainage levels, at 30, 60, and 100 cm deep, 5 reviews over time, be 0, 90, 180, 270, and 360 days. Each treatment was conducted with 4 replicates. The columns were irrigated weekly. The MG profile presented the highest rates of subsidence, reaching 1.30 cm to 100 cm drainage. Bd increased over time for the two profiles, and deeper drain increased values in the SC profile and reduced values in the MG profile. The pH values showed variations over time, and deeper drain favored reducing the pH for the two profiles. The TOC showed no differences in drainage levels, but showed over time reduction trend. The values of fulvic acid fraction (FAF), humic acid fraction (HAF), and humin fraction (HUM) showed no differences in drainage levels. However, over time showed high sensitivity to temperature changes, showing high levels of FAF and HAF end period and a consequent reduction in HUM contents.

Keywords: Organosols. Drainage. Humic acids.

3.3 INTRODUÇÃO

A utilização das áreas de Organossolos com finalidade agrícola normalmente exige a realização da drenagem do excesso hídrico do solo. A drenagem dessas áreas provoca diversas alterações físicas, químicas, e biológicas nesses solos. Dentre estas alterações, pode-se destacar o processo de subsidência, que basicamente consiste na redução do volume do solo (Figura 7). Esse processo é contínuo, e pode levar vários anos. Porém, nos primeiros meses após a drenagem a taxa de subsidência tende a ser maior, ocorrendo uma redução com o passar dos anos (Figura 8).

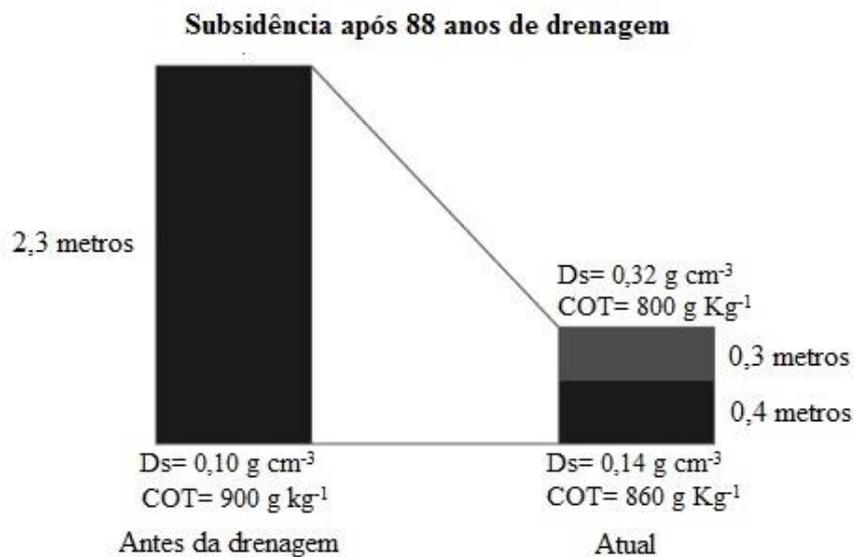


Figura 7. Esquema ilustrativo do processo de subsidência (Adaptado de Aich et al., 2013).

A intensidade da subsidência depende da natureza do material orgânico, da sua capacidade de adsorção de água, da proporção de material mineral no solo e da profundidade de drenagem (Andriessse, 1984; Conceição, 1989).

Todos os solos orgânicos originados de sedimentos orgânicos podem ser afetados pelo processo de subsidência. A subsidência em solos orgânicos ocorre por dois fenômenos principais. O primeiro deve-se à força flutuante de empuxo da água retirada na drenagem, de material mais leve, flutuante, que existia quando o solo estava saturado (Ewing & Vepraskas, 2006) e o segundo ocorre com um processo de maior entrada de oxigênio no solo, expondo o material orgânico à oxidação heterotrófica (Ambak & Melling, 2000; Dradjad et al., 2003) e maior atividade de microrganismos aeróbios (Tate, 1980). A subsidência primária ocorre rapidamente pela perda de água (Figura 9), enquanto a subsidência secundária é mais lenta (Ewing & Vepraskas, 2006). Além disso, em alguns casos pode ocorrer maior exposição do material orgânico à queima.

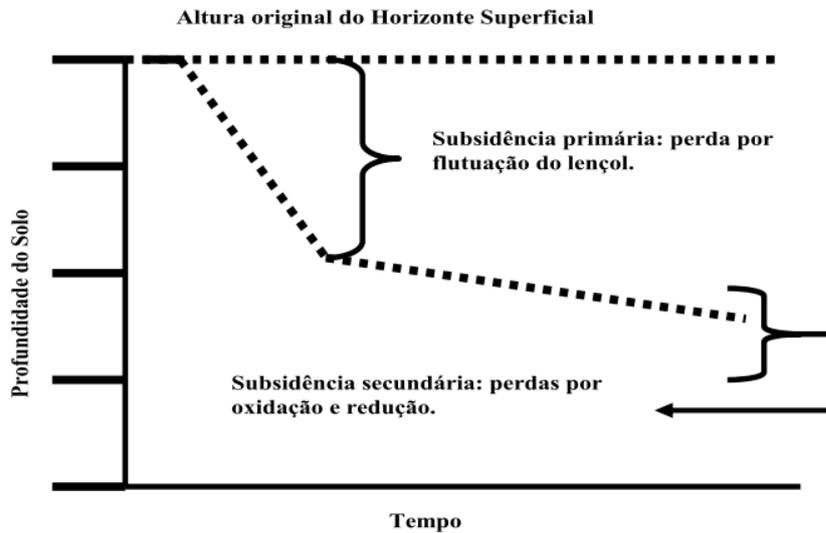


Figura 8. Ilustração do processo de subsidência mostrando a redução da profundidade do solo orgânico após a drenagem ao longo dos anos (adaptado de Ewing & Vepraskas, 2006).

Em média, 60% da subsidência é causada pela oxidação, e os 40% restantes pela secagem irreversível ou pelas forças de empuxo exercidas durante a saída do excesso de água (Wösten et al., 1997). A decomposição dos solos orgânicos leva à uma redução de massa, por outro lado, contribui para a formação de compostos orgânicos mais humificados (Inubushi et al., 2003).

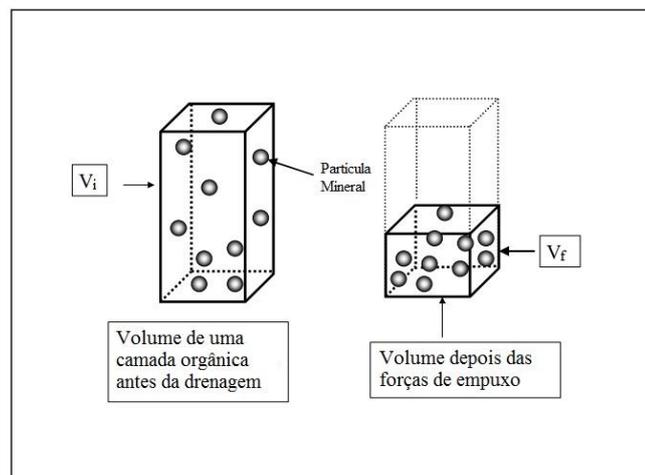


Figura 9. Ilustração mostrando a redução do volume pela subsidência primária, porém mantendo a sua massa, após as forças de empuxo da água. V_i : volume inicial do solo (antes da drenagem); V_f : volume final após a subsidência primária (adaptado de Ewing & Vepraskas, 2006).

O processo de subsidência ocasiona uma elevação das emissões de CO_2 para a atmosfera, já que perde-se parte do carbono aprisionado nestes solos após a drenagem. Tem sido estimado que para cada centímetro de subsidência nos Organossolos das regiões tropicais, há a emissão de 13 Mg CO_2 por hectare por ano (Wösten et al., 1997). No entanto, estes valores podem variar significativamente, já que alguns fatores possuem relação direta com a taxa de subsidência. Entre estes fatores incluem-se, a profundidade de drenagem, formas de uso da terra, teores de matéria orgânica do solo (Wösten & Ritzema, 2001), e aumentos na temperatura regional (Chow et al., 2006; Grønlund et al., 2008). Além disso, as

características sápricas, hêmicas ou fíbricas possuem diferentes taxas de decomposição, acelerando ou retardando as taxas de subsidência (Ambak & Melling, 2000).

As emissões de CO₂ podem variar bastante entre as regiões sendo relatado valores de até 70 Mg de CO₂ por hectare ano⁻¹ na Suécia (Kasimir-Klemedtsson et al., 1997). No entanto, este valor parece ser atípico, já que também na Suécia foram relatados emissões de 22 Mg de CO₂ por hectare ano⁻¹ (Grønlund et al., 2006), e que na Finlândia foram relatados valores entre 15 e 27 Mg de CO₂ por hectare ano⁻¹ (Maljanen et al., 2001), todos em áreas agrícolas.

Um dos fatores de grande importância regional que afetam as taxas de subsidência é a temperatura, pois esta afeta a atividade dos microorganismos (Hilbert et al., 2000), de maneira que pode acelerar ou retardar o processo. Nos ambientes mais frios ocorre um favorecimento do desenvolvimento da vegetação em detrimento do desenvolvimento de microorganismos, proporcionando assim o maior acúmulo de material vegetal (Valladares, 2003; Pereira et al., 2005).

No Brasil não há trabalhos relatando a taxa de subsidência nos Organossolos. Vários trabalhos já foram feitos em outros países, principalmente nos quais as áreas de Organossolos são expressivas, como alguns países da Europa e na América do Norte. As taxas de subsidência observados na literatura apresentam uma ampla variação, porém é possível observar que grande parte dos valores se encontram entre 2 a 4 cm ano⁻¹. Há registros de taxas de 2 a 4 cm ano⁻¹ na Inglaterra (Hutchinson, 1980; French & Pryor, 1993), 3,1 cm ano⁻¹ na Holanda (Schothorst, 1977), 2,5 cm ano⁻¹ nos Everglades, EUA (Stephens et al., 1984), e 3,4 cm ano⁻¹ na Nova Zelândia (Schipper & McLeod, 2002). Valores mais extremos foram observados na Califórnia, EUA, sendo 0,46 cm ano⁻¹ (Rojstaczer & Deverel, 1995) e 10,6 cm ano⁻¹ (Deverel & Rojstaczer, 1996).

Uma das maneiras de se reduzir as taxas de subsidência é empregar um controle da altura do lençol freático. Alguns trabalhos alertam sobre o ajuste ideal da altura do lençol freático para regulação das taxas de subsidência e acúmulo de matéria orgânica nos solos orgânicos, conjuntamente com a otimização dessas áreas com fins agrícolas (Hilbert et al. 2000; Mitchell et al., 2002; Valladares, 2003; Pereira et al., 2005). Este valor normalmente varia entre 30 cm (Hilbert et al., 2000; Souza Júnior et al. 2001) e 40 cm (Schouwenaars, 1988; Wösten et al., 2008) de profundidade.

A medição das taxas de subsidência normalmente são realizadas aplicando-se um dos três métodos mais conhecidos, que compreendem: avaliação das taxas de subsidência no longo prazo; mudanças no conteúdo de cinzas e conteúdo mineral; e medidas do efluxo de CO₂ (Grønlund et al. 2008).

O método mais empregado consiste na avaliação das taxas de subsidência utilizando-se a espessura inicial e final do solo orgânico, e suas variações dos teores de carbono orgânico e da densidade do solo, de acordo com a Figura 7 (Aich et al., 2013). O método que avalia as mudanças no conteúdo de cinzas e conteúdo mineral parece superestimar, já as medições do efluxo de CO₂ parecem subestimar as taxas de subsidência (Grønlund et al. 2008).

O objetivo do presente capítulo foi avaliar a taxa de subsidência, a densidade do solo, o COT, e o carbono das substâncias húmicas em Organossolos, ao longo do período de um ano.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Histórico e coleta das amostras no campo

As amostras de perfis de solo foram coletadas em duas áreas no Estado do Rio de Janeiro. O perfil SC está localizado no bairro de Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro (7469158 e 632289 UTM, WGS 84 Fuso 23K). É uma área de uso agrícola, com cultivo de coqueiros. O perfil MG está localizado no município de Magé (7497861 e 694090 UTM, WGS 84 Fuso 23K), estando atualmente com vegetação de mata nativa. As informações referentes à estes perfis se encontram na seção Anexos.

As coletas consistiram em amostras indeformadas em tubos de PVC de 150 mm (Figura 11). O tamanho dos tubos variou em três comprimentos, sendo de 40, 70, e 110 cm, com 4 repetições, para proporcionar lâminas de drenagem a 30, 60, e 100 cm de profundidade (Figura 10).

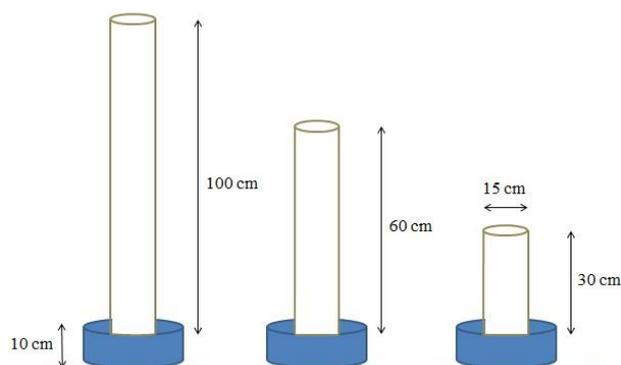


Figura 10. Representação dos diferentes tubos do tipo PVC nos quais se deu a coleta dos perfis, apresentando dimensões de 110, 70 e 40 cm, cm lâmina de drenagem a 100, 60 e 30 cm de profundidade.

O objetivo de variar a altura dos tubos foi simular o efeito de diferentes profundidades de drenagem do solo. As amostras estão acondicionadas verticalmente em casa de vegetação para serem monitoradas (Figura 12). Para simular o lençol freático, colocou-se a base das amostras em recipientes com água. A altura dos recipientes é de 10 cm, ou seja, esta será a altura máxima que as amostras estarão imersas na água. Para simular a precipitação pluviométrica, adotou-se a normal pluviométrica do município do Rio de Janeiro (RJ), com dados entre 1960 e 1990 (Tabela 10).

Tabela 10. Normais climatológicas de precipitação (1961 a 1990) do município de Rio de Janeiro, RJ.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
mm	114,1	105,3	103,3	137,4	85,6	80,4	56,4	50,5	87,1	88,2	95,6	169,0

mm: precipitação em milímetros. Fonte: INMET, 1992; 2014.



Figura 11. Ilustração dos procedimentos da coleta das amostras indeformadas nas colunas de tubo PVC (Fotos: Paula F. C. Soares).



Figura 12. Ilustração do acondicionamento e organização das colunas de amostras indeformadas em casa de vegetação (Fotos: Elias Mendes Costa).

3.4.2 Coleta dos dados do experimento

Após as amostras indeformadas estarem estabelecidas na casa de vegetação, foram coletados as medições da redução do nível do solo em intervalos de 15 dias, por um período de 360 dias. Além disso, também foram coletadas os dados de temperatura diariamente por meio de um registrador de dados automático (*data logger*).

As coletas nos tubos foi realizada a cada três meses, consistindo de uma avaliação do comportamento do solo ao longo do tempo. Esta coleta foi realizada com um mini-trado de caneca em quatro diferentes profundidades, sendo: 0-10; 10-20; 20-30; e 30-40 cm.

As coletas de amostras nos tubos (de 3 em 3 meses) teve por objetivo determinar a densidade do solo (Ds), pH em água, carbono orgânico total, e as frações húmicas da MOS (ácido húmico, ácido fúlvico, e humina).

Na Tabela 11 pode-se observar o cronograma com as datas e a referência (T0 para tempo de 0 dias, T1 para 90 dias, e assim por diante) utilizada para se referir às coletas de solo que foram realizadas durante os 360 dias do experimento.

Tabela 11. Coletas e suas respectivas datas.

Referência	T0	T1	T2	T3	T4
Tempo (dias)	0	90	180	270	360
Data da coleta	Jul 2014	Out 2014	Jan 2015	Abr 2015	Jul 2015

3.4.3 Análises realizadas

a) pH e densidade do solo

As determinações do pH (em água) e a densidade do solo foram realizadas de acordo com os métodos propostos pela Embrapa (1997). Devido à pouca quantidade de solo obtida nas coletas ao longo do tempo, foram feitas pequenas adaptações para a realização das análises (Tabela 12).

Tabela 12. Adaptações realizadas nas análises das amostras coletadas no experimento de subsidência.

Análises	Procedimentos
• pH H ₂ O	1,0 g TFSA; 2,5 mL de H ₂ O.
• COT	Pesar 0,030 g de TFSA; 7,5 de H ₂ SO ₄ ; 5,0 mL de dicromato de potássio.

b) Determinação dos teores de carbono orgânico total

O carbono orgânico total (COT) do solo foi determinado por meio da via úmida, sendo adotado o método descrito por Yeomans & Bremner (1988). Consiste na digestão de 0,30 g de solo em 5 mL de K₂Cr₂O₇ 0,167 mol L⁻¹ e 7,5 mL de H₂SO₄ p.a., por 30 min a 170°C, em chapa aquecedora. Após o resfriamento em temperatura ambiente, aferiu-se com água destilada suficiente para obter volume final de aproximadamente 80 mL. Em seguida, procede-se à titulação com solução de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O 0,2 mol L⁻¹ (sal de Mohr), sendo utilizada como indicador a solução de ferroin. Paralelamente, foram realizadas provas em branco, com e sem aquecimento.

c) Fracionamento químico da MOS

As substâncias húmicas (ácidos húmicos - FAH, ácidos fúlvicos – FAF, e humina - HUM) foram identificadas segundo a Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), conforme técnica adaptada e apresentada por Benites et al. (2003). Foi pesado 0,30 g de solo para a determinação.

3.4.4 Análises estatísticas

O experimento de subsidência foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com esquema de parcelas subdivididas. Os níveis de drenagem (30; 60; e 100 cm) foram as parcelas, e as avaliações ao longo do tempo (0; 90; 180; 270; e 360 dias) foram as subparcelas. Foi realizada a análise de variância (Anova) pelo teste F. Quando houve interação entre os níveis de drenagem e tempo, procedeu-se o desdobramento da mesma. Os modelos foram submetidos às análises de normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e de homogeneidade das variâncias dos resíduos pelo teste de Bartlett. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Todos os testes foram realizados ao nível de 5% de significância. Foi utilizado o software R (R Core Team, 2013). Para a Anova e o teste de médias foi utilizado o pacote “ExpDes” (Ferreira et al., 2013).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Histórico de temperatura e umidade relativa

O histórico de temperatura média mostra que os valores variaram entre 20 e 35°C, oscilando na maioria das vezes entre 25 e 32°C até a metade do período avaliado (01/02/2015) (Figura 13). Após este período ocorreu a redução da temperatura média, oscilando em torno de 25°C. A umidade relativa (UR) variou de 50 a 90%, sendo que teve uma leve tendência de elevação nos valores do início ao final do período avaliado. Na primeira metade os valores se concentram em torno de 70%, e na segunda metade os valores se concentram mais próximos de 80% de UR.

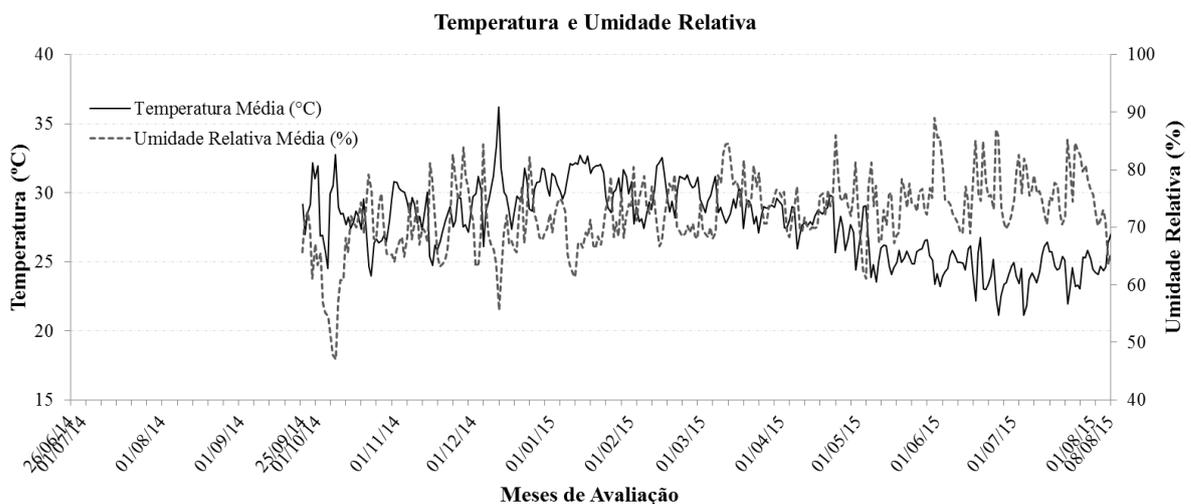


Figura 13. Histórico das médias de temperatura e umidade relativa do ambiente de condução do experimento. As datas do eixo de “Meses de Avaliação” compreendem todo o período do experimento, porém, a temperatura e umidade relativa foram coletadas a partir de 25/09/2014.

É importante destacar que os valores médios de temperatura apresentaram um pico na metade do período do experimento (01/02/2015). A partir desta época ocorre a redução gradual da temperatura. A primeira metade do período de experimento se caracteriza pelas altas temperaturas e UR, e a metade final combina um clima com a redução da temperatura e a permanência da elevada UR (Figura 13).

A subsidência dos Organossolos avaliados e suas profundidades de drenagem mostraram comportamentos diferentes ao longo do tempo (Figura 14). De maneira geral, o Organossolo de Santa Cruz (SC), mostrou menores variações ao longo do tempo, já o de Magé (MG) mostrou-se mais sensível às diferenças de drenagem.

Taxa de Subsidiência

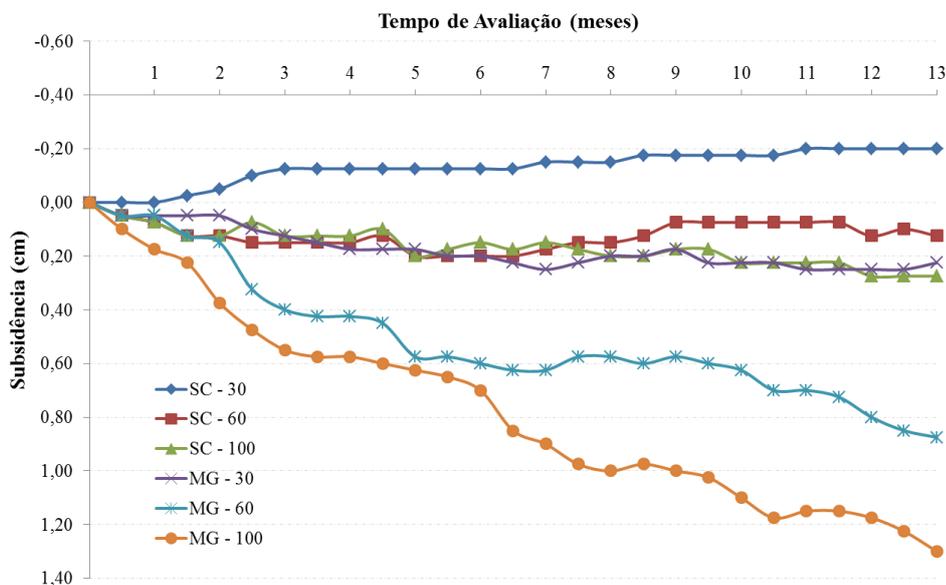


Figura 14. Taxa de subsidiência dos Organossolos de Santa Cruz (SC) e Magé (MG) nas diferentes profundidades de drenagem.

SC - 30: Santa Cruz com drenagem de 30 cm;

MG - 30: Magé com drenagem de 30 cm;

SC - 60: Santa Cruz com drenagem de 60 cm;

MG - 60: Magé com drenagem de 60 cm;

SC - 100: Santa Cruz com drenagem de 100 cm.

MG - 100: Magé com drenagem de 100 cm.

O Organossolo de SC foi submetido à drenagem artificial à aproximadamente 50 anos (década de 1960) e possui longo histórico de cultivo de côco, mandioca, quiabo, e abacaxi. Por isso apresentou baixa sensibilidade às variações de drenagem, sendo de 0,27 cm com drenagem de 100 cm e 0,12 cm com drenagem de 60 cm (Tabela 13). Já para a drenagem de 30 cm, não ocorreu subsidiência, mas o aumento do volume em 0,20 cm, ou seja, subsidiência negativa. Isso ocorreu devido ao longo processo de subsidiência que este solo já passou em condições de campo. Assim, ao ser submetido sob resaturação apresentou aumento de volume, já que em condições de campo, o lençol freático deste perfil se encontrava em 61 cm de profundidade.

Taxa de Subsidiência

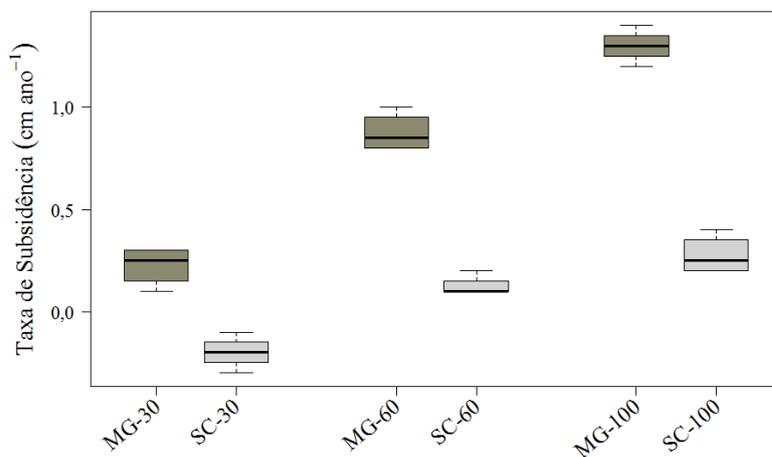


Figura 15. Boxplot da taxa de subsidiência anual observada nas áreas e drenagens avaliadas.

O Organossolo de MG foi bem mais sensível ao processo de drenagem quando comparado com o Organossolo de SC (Figura 14 e Figura 15). Os valores de subsidência foram de 0,22; 0,87; e 1,30 cm para as drenagens de 30, 60, e 100 cm (Tabela 13). O solo desta área também já foi submetido à drenagem, mas não possui impactos diretos de cultivo de culturas agrícolas, pois encontra-se coberto com vegetação nativa. No entanto, foi impactado com a drenagem de áreas vizinhas, que na época da coleta das amostras indeformadas, encontravam-se em cultivo de olerícolas.

Tabela 13. Taxas de subsidência (cm ano^{-1}) para os diferentes níveis de drenagem e perfis de Organossolos avaliados.

Perfil	Drenagem (cm)		
	30	60	100
Santa Cruz	-0,20 Bb	0,12 Ba	0,27 Ba
Magé	0,22 Ac	0,87 Ab	1,30 Aa
CV (%)	19,6		

Letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas iguais na linha não diferem à 5% pelo teste de Tukey. CV: coeficiente de variação.

O Organossolo de SC encontra-se em uma fase tardia de subsidência, na qual os valores tendem a ser decrescentes e pouco sensíveis à variações. Já o Organossolo de MG ainda demonstrou estar melhor preservado, porém, no decorrer de anos tende a convergir para o comportamento do Organossolo de SC. As taxas de subsidência mostram amplas variações em vários locais do mundo, dependendo de fatores como, teores de carbono, densidade, e profundidade de drenagem (Ebeling, 2013).

3.5.2 Densidade do solo (Ds)

A densidade do solo (Ds) apresentou aumento dos valores ao longo do tempo, independente da profundidade de drenagem. No entanto, este aumento está mais evidente para o solo de Santa Cruz (SC) (Figura 16) em relação ao solo de Magé (MG) (Figura 17). Para o solo de SC, também verifica-se uma tendência de aumento da Ds na drenagem de 100 cm, em relação às drenagens de 30 e 60 cm. Já para MG não é possível observar uma tendência de forma mais clara. Assim, o perfil de SC apresentou interação entre os níveis de drenagem e níveis de tempo para as profundidades de 0-10, 10-20, e 20-30 cm (Tabela 16). Já MG, apresentou esta interação somente na profundidade de 30-40 cm (Tabela 19).

Ds - Santa Cruz

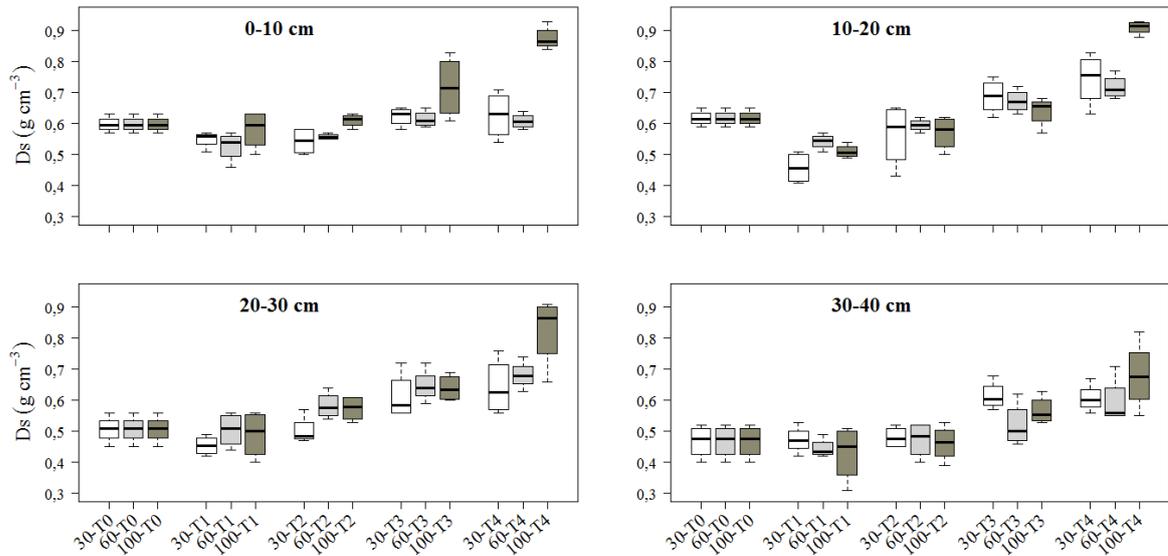


Figura 16. Densidade do solo (Ds) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Analisando a interação para SC (Tabela 16), observa-se que para a camada de 0-10 cm os valores foram maiores para a drenagem de 100 cm e tempo de 270 e 360 dias, com valores de 0,72 e 0,87 g cm⁻³, respectivamente. Para a camada de 10-20 cm, os tempos de 270 e 360 dias também foram maiores. Porém, entre as drenagens, somente o tempo de 360 dias e a drenagem de 100 cm foi maior, com valor de 0,91 g cm⁻³ (Tabela 16). A profundidade de 20-30 cm apresentou comportamento semelhante à profundidade de 10-20 cm, com a drenagem de 100 cm e tempo de 360 dias apresentando a Ds de 0,82 g cm⁻³. Dentre estas três profundidades que apresentaram interação, o efeito da drenagem foi mais pronunciado no tempo de 360 dias, no qual a drenagem de 100 cm apresentou os maiores valores de Ds. Já as drenagens de 30 e 60 cm se mostraram com maiores semelhanças.

A profundidade de 30-40 cm não mostrou interação, assim, analisando seus efeitos separadamente, observa-se que não houve diferenças entre os níveis de drenagem, variando de 0,50 e 0,53 g cm⁻³ (Tabela 14). Já os efeitos de tempo, os valores foram maiores para os tempos de 270 e 360 dias, com 0,57 e 0,63 g cm⁻³, respectivamente (Tabela 15).

Tabela 14. Densidade do solo nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
	----- g cm ⁻³ -----			
0 - 10	0,59 b	0,58 b	0,68 a	13,6
10 - 20	0,61 a	0,63 a	0,65 a	9,0
20 - 30	0,54 a	0,58 a	0,61 a	18,6
30 - 40	0,53 a	0,50 a	0,52 a	17,1

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 15. Densidade do solo nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- g cm ⁻³ -----					
0 - 10	0,60 bc	0,55 c	0,57 c	0,65 ab	0,70 a	12,0
10 - 20	0,61 bc	0,50 d	0,58 c	0,67 b	0,79 a	4,9
20 - 30	0,51 c	0,48 c	0,55 c	0,63 b	0,72 a	12,0
30 - 40	0,47 b	0,45 b	0,47 b	0,57 a	0,63 a	10,3
Média	0,55	0,50	0,54	0,63	0,71	

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 16. Interação entre os diferentes níveis de drenagem e de tempo para densidade do solo (Ds) em Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Drenagem (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- g cm ⁻³ -----					
0-10 cm						
30	0,59 Aab	0,55 Aab	0,54 Bb	0,62 Ba	0,63 Ba	11,7
60	0,59 Aa	0,53 Ab	0,56 ABab	0,62 Ba	0,61 Ba	
100	0,59 Ab	0,58 Ab	0,61 Aab	0,72 Aa	0,87 Aa	
CV (%)	7,9					
10-20 cm						
30	0,62 Abc	0,46 Bd	0,56 Ac	0,69 Aab	0,74 Ba	5,4
60	0,62 Abc	0,54 Ac	0,59 Abc	0,67 Aab	0,72 Ba	
100	0,62 Ab	0,51 ABc	0,57 Abc	0,64 Ab	0,91 Aa	
CV (%)	3,6					
20-30 cm						
30	0,51 Ab	0,46 Ab	0,50 Ab	0,61 Aa	0,64 Ba	15,5
60	0,51 Ab	0,50 Ab	0,58 Aab	0,65 Aa	0,68 Ba	
100	0,51 Ac	0,49 Ac	0,58 Abc	0,64 Ab	0,82 Aa	
CV (%)	8,8					

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (níveis de drenagem) e minúscula na linha (níveis de tempo) não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Ds - Magé

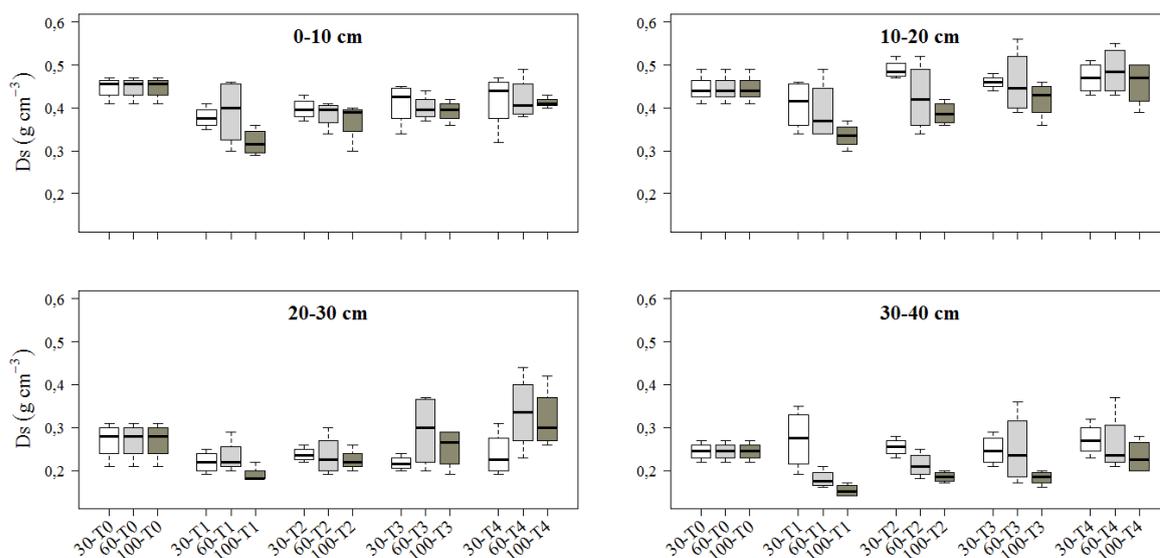


Figura 17. Densidade do solo (Ds) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

A interação dos valores de Ds do solo de MG, que foi somente na profundidade de 30-40 cm, mostrou que não há diferenças entre o tempo de 0 e 360 dias (Tabela 19). Os valores dos tempos de 90, 180, e 270 dias são semelhantes, porém, ao contrário do solo de SC, o solo de MG mostrou densidades maiores para a drenagem de 30 cm nestes três tempos intermediários. Pode-se destacar para o solo de MG, que os valores de Ds do tempo 0 e 360 dias não diferiram, e que os níveis de drenagem não mostraram diferenças.

Analisando os efeitos simples dos níveis de drenagem para as profundidades de 0-10, 10-20, e 20-30 cm, observa-se que os valores de Ds são semelhantes (Tabela 17). E para os diferentes níveis de tempo, o tempo de 0 e 360 dias também são semelhantes (Tabela 18).

Tabela 17. Densidade do solo nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
----- Mg m ⁻³ -----				
0 - 10	0,41 a	0,41 a	0,39 a	13,7
10 - 20	0,45 a	0,44 a	0,41 a	18,7
20 - 30	0,24 a	0,27 a	0,25 a	23,2
30 - 40	0,25 a	0,23 ab	0,20 b	13,3

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 18. Densidade do solo nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- Mg m ⁻³ -----					
0 - 10	0,43 ab	0,36 c	0,38 bc	0,40 bc	0,45 a	8,9
10 - 20	0,42 a	0,38 b	0,43 a	0,45 a	0,47 a	8,3
20 - 30	0,27 ab	0,21 c	0,23 bc	0,25 abc	0,30 a	15,2
30 - 40	0,24 a	0,20 b	0,22 ab	0,23 ab	0,26 a	15,5
Média	0,34	0,29	0,32	0,33	0,37	

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 19. Interação entre os diferentes níveis de drenagem e de tempo para densidade do solo (Ds) em Magé, RJ.

Drenagem (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- Mg m ⁻³ -----					
	30-40 cm					
30	0,24 Aa	0,27 Aa	0,25 Aa	0,25 Aa	0,27 Aa	
60	0,24 Aa	0,18 Bb	0,21 ABab	0,24 ABab	0,26 Aa	13,3
100	0,24 Aa	0,15 Bb	0,18 Bab	0,18 Bab	0,23 Aa	
CV (%)	15,5					

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (níveis de drenagem) e minúscula na linha (níveis de tempo) não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

3.5.3 pH

O pH dos perfis de SC (Figura 18) e MG (Figura 19) apresentaram uma tendência de redução dos valores de T0 (0 dias) para T1 (90 dias), no entanto, a partir deste tempo passou a ocorrer uma leve tendência de aumento dos valores, independente do nível de drenagem. Acredita-se que o processo de remoção das amostras do campo e o seu acondicionamento para o ambiente controlado (casa de vegetação) tenha provocado uma redução mais acentuada dos valores de pH. No entanto, é interessante destacar o efeito diferenciado da drenagem nos dois perfis. No perfil de SC (Figura 18) todas as camadas avaliadas apresentaram uma redução maior do pH para a drenagem de 100 cm na maioria dos tempos avaliados. Já para o perfil de MG (Figura 19) esse comportamento ocorreu somente na camada de 30-40 cm. Para as camadas de 0-10 e 10-20 cm observou-se o contrário, ou seja, a elevação dos valores de pH nas maiores profundidades de drenagem (60 e 100 cm). E a camada de 20-30 cm não apresentou uma tendência clara com relação aos níveis de drenagem, tendo um caráter transicional entre a camada anterior (10-20 cm) e a posterior (30-40 cm).

pH - Santa Cruz

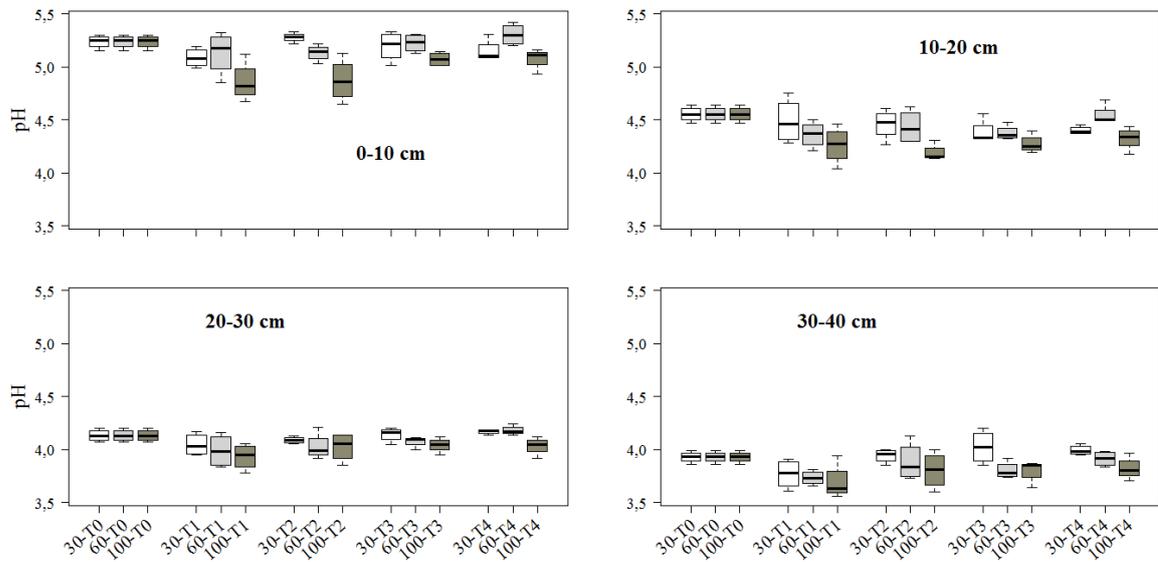


Figura 18. Valores de pH (em água) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Os valores de pH de SC apresentaram interação para a profundidade de 0-10 cm (Tabela 22). Observa-se que o tempo de 0 e 360 dias não diferiram para os três níveis de drenagem. Com relação aos níveis de drenagem, observou-se que o nível de 100 cm mostrou os menores valores de pH para os tempos de 90, 180, e 360 dias.

Analisando os efeitos simples dos níveis de drenagem (Tabela 20), destaca-se que com exceção da profundidade de 20-30 cm, todas mostraram os menores valores de pH para a drenagem de 100 cm, variando de 3,81 (30-40 cm) a 5,02 (0-10 cm). Os efeitos simples dos níveis de tempo (Tabela 21) mostram que entre o tempo de 0 e 360 dias não ocorreram diferenças nos valores de pH. Destaca-se que o tempo de 90 dias mostrou os menores valores para todas as camadas. Como mencionado anteriormente, as mudanças do ambiente natural para o ambiente condicionado pode ter favorecido esta queda mais acentuada dos valores.

Tabela 20. Valores de pH (em água) nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
0 - 10	5,19 a	5,21 a	5,02 b	2,8
10 - 20	4,46 a	4,45 a	4,32 b	3,0
20 - 30	4,12 a	4,08 a	4,03 a	2,9
30 - 40	3,93 a	3,85 ab	3,81 b	3,4

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 21. Valores de pH (em água) nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
0 - 10	5,24 a	5,02 b	5,09 ab	5,16 ab	5,18 ab	3,0
10 - 20	4,55 a	4,37 b	4,36 b	4,34 b	4,42 ab	2,6
20 - 30	4,13 a	3,99 b	4,04 ab	4,08 a	4,12 a	2,0
30 - 40	3,93 a	3,73 b	3,88 a	3,88 a	3,91 a	2,8

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 22. Interação entre os diferentes níveis de drenagem e de tempo para valores de pH do solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Drenagem (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
0-10 cm						
30	5,24 Aa	5,08 Aa	5,27 Aa	5,19 Aa	5,15 ABa	2,7
60	5,24 Aa	5,13 Aa	5,13 Aa	5,22 Aa	5,30 Aa	
100	5,24 Aa	4,85 Bb	4,87 Bb	5,07 Aab	5,07 Bab	
CV (%)	2,2					

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (níveis de drenagem) e minúscula na linha (níveis de tempo) não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

O perfil de MG mostrou interação entre os níveis de drenagem e tempo para a profundidade de 30-40 cm (Tabela 25). Entre o tempo de 0 e 360 dias, não há diferenças, com os valores entre 3,68 (360 dias) e 4,17 (360 dias). E entre os níveis de drenagem, observa-se que a de 60 e 100 cm apresentaram maiores reduções em relação à drenagem de 30 cm.

pH - Magé

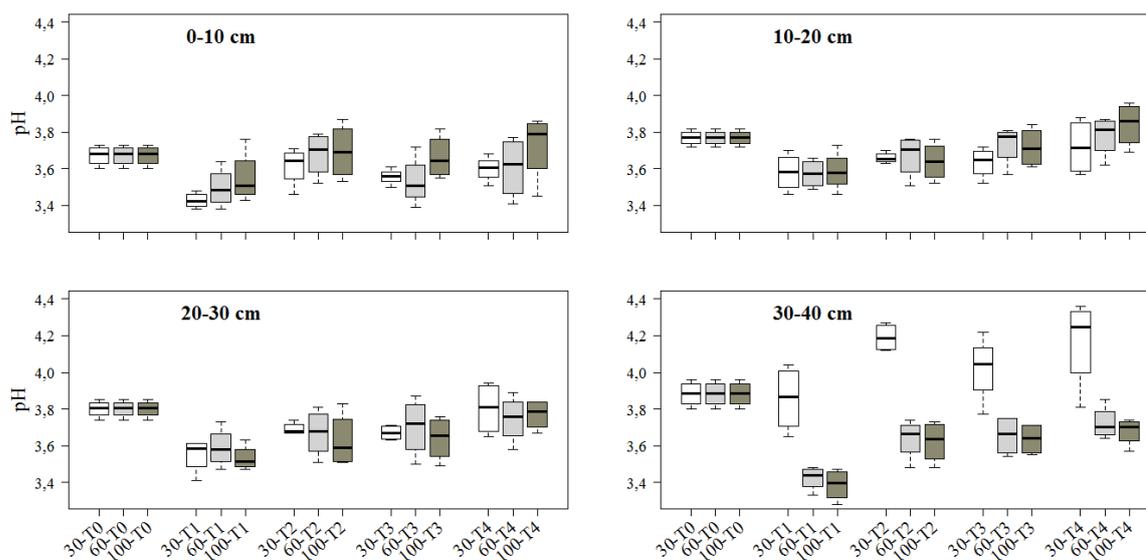


Figura 19. Valores de pH (em água) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Os efeitos isolados sobre os níveis de drenagem mostram que com exceção da camada de 30-40 cm (com interação), todas as demais são semelhantes (Tabela 23), ou seja, a drenagem não afetou os valores de pH no período avaliado. E os efeitos isolados do tempo mostram que o pH é semelhante entre os tempos de 0 e 360 dias (Tabela 24). Porém, no tempo de 90 dias observou-se os menores valores, elevando-se gradativamente ao longo do tempo.

Tabela 23. Valores de pH (em água) nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
0 - 10	3,57 a	3,60 a	3,66 a	4,8
10 - 20	3,67 a	3,71 a	3,71 a	3,5
20 - 30	3,70 a	3,70 a	3,67 a	2,7
30 - 40	4,02 a	3,66 b	3,64 b	3,3

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 24. Valores de pH (em água) nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
0 - 10	3,67 a	3,49 b	3,66 a	3,59 ab	3,64 a	2,7
10 - 20	3,77 a	3,58 c	3,66 bc	3,70 ab	3,78 a	2,4
20 - 30	3,80 a	3,56 c	3,66 bc	3,67 bc	3,77 ab	2,8
30 - 40	3,88 a	3,55 b	3,82 ab	3,77 ab	3,86 a	3,2

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 25. Interação entre os diferentes níveis de drenagem e de tempo para valores de pH do solo de Magé, RJ.

Drenagem (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
30-40 cm						
30	3,88 Aa	3,86 Ab	4,19 Aa	4,02 Aab	4,17 Aa	3,3
60	3,88 Aa	3,42 Bc	3,64 Bbc	3,66 Babc	3,72 Bab	
100	3,88 Aa	3,39 Bc	3,62 Bbc	3,64 Bb	3,68 Bab	
CV (%)	3,2					

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (níveis de drenagem) e minúscula na linha (níveis de tempo) não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

3.5.4 Carbono orgânico total (COT)

Os valores de COT apresentaram uma leve tendência de queda ao longo do tempo, independente do nível de drenagem, tanto para o perfil de SC (Figura 20) como para MG (Figura 21). Para a profundidade de 30-40 cm do perfil de SC, há uma tendência de aumento dos teores de COT da drenagem de 30 cm em relação às drenagens de 60 e 100 cm.

COT - Santa Cruz

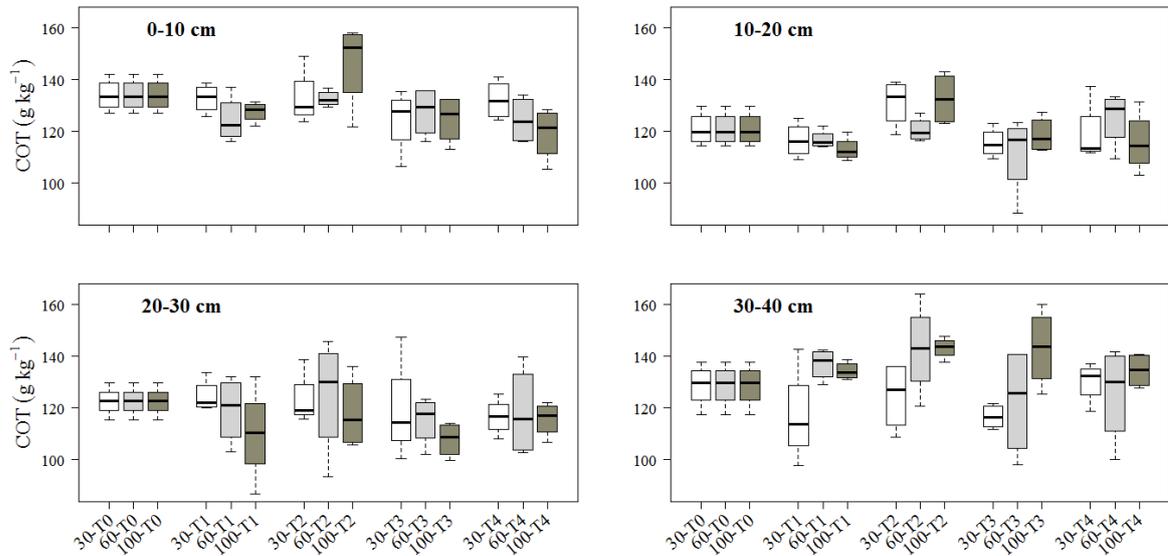


Figura 20. Carbono orgânico total (COT) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Analisando os efeitos da drenagem para o perfil de SC (Tabela 26), observa-se que houve diferenças somente para a camada de 30-40 cm, na qual a drenagem causou a elevação dos teores de COT com o aumento da profundidade de drenagem. Os valores passaram de 123,5 para 136,9 g kg⁻¹ com a drenagem de 30 para 100 cm.

Tabela 26. Carbono orgânico total nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 - 10	131,3 a	128,6 a	130,6 a	8,2
10 - 20	120,6 a	118,9 a	120,3 a	8,7
20 - 30	121,3 a	120,2 a	114,9 a	15,3
30 - 40	123,5 b	131,4 ab	136,9 a	9,3

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

O efeito do tempo para o perfil de SC mostrou que as camadas mais superficiais (0-10 e 10-20 cm) foram mais sensíveis às variações nos teores de COT, já que apresentaram diferenças no decorrer do tempo (Tabela 27). Já as camadas mais subsuperficiais (20-30 e 30-40 cm) não mostraram diferenças ao longo do tempo. As camadas superficiais estão mais expostas à entrada de ar, tendo maior impacto pelas trocas gasosas.

Tabela 27. Carbono orgânico total nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- g kg ⁻¹ -----					
0 - 10	134,1 ab	128,2 ab	137,3 a	125,5 b	125,3 b	6,7
10 - 20	120,9 ab	115,5 b	128,1 a	115,2 b	120,0 ab	7,0
20 - 30	122,7 a	118,0 a	122,1 a	114,2 a	117,0 a	9,2
30 - 40	128,8 a	129,5 a	136,9 a	127,5 a	130,1 a	9,6
Média	126,63	122,80	131,10	120,60	123,10	

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

No perfil de MG (Figura 21) ocorre uma redução dos teores de carbono ao longo do tempo, no entanto, nas profundidades de 20-30 e 30-40 cm esta queda é mais acentuada quando comparada com as camadas mais superficiais. As camadas subsuperficiais possuem maiores teores de COT observando-se valores de 130,9 e 149,9 g kg⁻¹ para as camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente (Tabela 29), e 237,8 e 262,0 g kg⁻¹ para as camadas de 20-30 e 30-40 cm respectivamente para o tempo de 0 dias. Isso mostra que solos com maiores teores de COT estão propensos à ter maiores perdas de carbono quando submetidos à perturbações.

COT - Magé

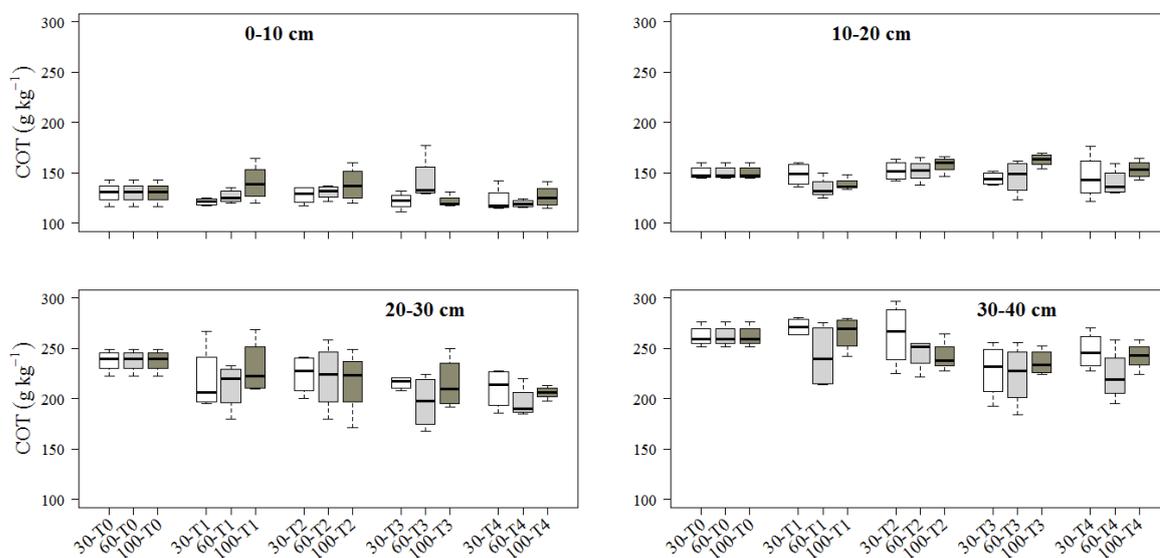


Figura 21. Carbono orgânico total (COT) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

O perfil de MG não mostrou diferenças para os efeitos da drenagem em nenhuma das camadas (Tabela 28). Já os efeitos de tempo (Tabela 29) mostraram diferenças, com as camadas mais subsuperficiais (20-30 e 30-40 cm) sendo mais sensíveis no decorrer do tempo. Considerando o tempo de 0 dias para 360 dias, passou-se de 237,8 para 204,1 g kg⁻¹ na camada de 20-30 cm, e de 262,0 para 237,5 g kg⁻¹ na camada de 30-40 cm. As camadas de 0-10 e 10-20 cm não mostraram diferenças, no entanto mostraram uma tendência de redução dos teores de COT.

Tabela 28. Carbono orgânico total nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 - 10	124,7 a	130,0 a	131,3 a	11,5
10 - 20	148,1 a	144,5 a	152,6 a	6,8
20 - 30	221,4 a	213,0 a	221,3 a	15,6
30 - 40	254,5 a	239,2 a	249,6 a	7,1

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Os efeitos de tempo mostraram comportamentos diferenciados do COT nos dois perfis. Em SC (Tabela 27) a sensibilidade foi maior para as camadas superficiais, enquanto que para o perfil de MG a sensibilidade foi maior para as camadas subsuperficiais. Os maiores teores de COT nestas camadas subsuperficiais de MG favorecem as maiores perdas.

Tabela 29. Carbono orgânico total nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- g kg ⁻¹ -----					
0 - 10	130,4 a	129,3 a	132,2 a	128,7 a	122,9 a	8,5
10 - 20	149,9 a	140,6 a	154,0 a	150,9 a	146,5 a	7,7
20 - 30	237,8 a	220,9 ab	220,9 ab	209,2 b	204,1 b	8,4
30 - 40	262,0 a	259,7 a	250,4 ab	229,3 b	237,5 ab	8,6
Média	195,03	187,63	189,38	179,53	177,75	

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

A média das quatro profundidades de COT de SC do tempo 0 dias foi de 126,63 g kg⁻¹ e do tempo de 360 dias foi de 123,10 g kg⁻¹ (Tabela 27). Essa diferença resulta em 3,53 g kg⁻¹ de solo, que pode ser considerado como as perdas de carbono para o perfil de SC no período avaliado. Para o perfil de MG, a média de COT do tempo de 0 dias foi de 195,03 g kg⁻¹, e para o tempo de 360 dias foi de 177,75 g kg⁻¹ (Tabela 29), resultando na diferença de 17,28 g kg⁻¹ de solo, que são as perdas de COT. Aplicando-se uma análise de regressão com os valores de perda de COT dos dois perfis e das quatro camadas chega-se ao resultado da Figura 22.

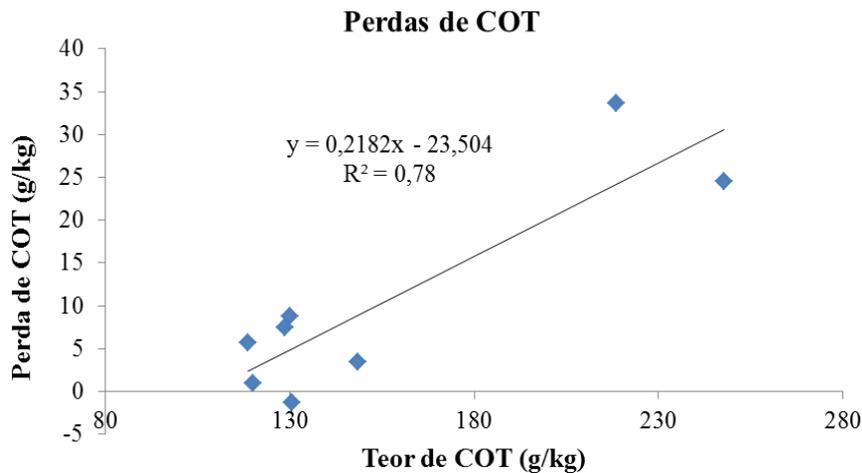


Figura 22. Regressão das perdas de carbono orgânico total (COT) nas diferentes camadas e nos dois perfis avaliados no experimento de subsidência.

As camadas de 20-30 e 30-40 cm do perfil de MG tiveram maiores perdas de COT quando comparados às camadas de 0-10 e 10-20 cm (Tabela 29). Isso mostra que os horizontes com maiores teores de COT são propensos a terem maiores perdas, que é o caso das camadas de 20-30 e 30-40 cm do perfil de MG. As perdas das camadas do perfil de SC foram semelhantes às perdas das camadas de 0-10 e 10-20 cm do perfil de MG, as quais possuem valores mais semelhantes de COT. O perfil de SC teve valores entre 114,2 e 137,3 g kg⁻¹ para as quatro camadas avaliadas (Tabela 27), e o perfil de MG teve valores variando entre 122,9 e 154,0 g kg⁻¹ para as camadas de 0-10 e 10-20 cm (Tabela 29).

3.5.5 Fração ácido fúlvico (FAF)

Os teores de FAF apresentaram um comportamento semelhante nos dois perfis. O perfil de SC (Figura 23) e MG (Figura 24) mostram que nos tempos de 270 e 360 dias ocorreu um aumento considerável no teores de FAF, independente do nível de drenagem.

FAF - Santa Cruz

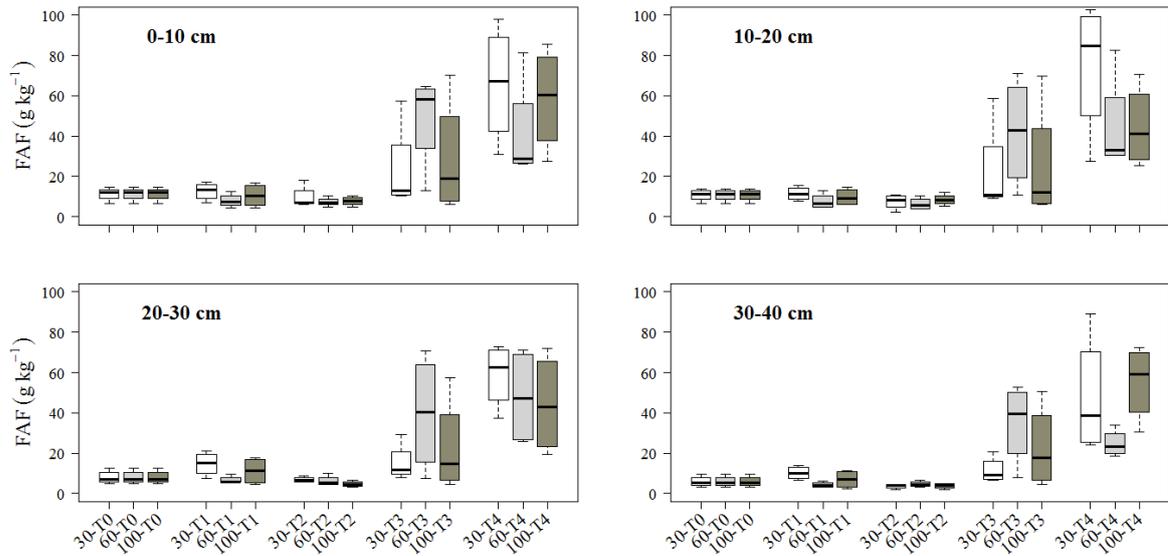


Figura 23. Carbono da fração ácido fúlvico (FAF) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Os níveis de drenagem não afetaram nos teores de FAF para a área de SC (Tabela 30). Pode-se destacar uma leve tendência de redução nos teores de FAF com maior profundidade de drenagem (100 cm), com exceção da camada de 30-40 cm. Com relação aos níveis de tempo para SC (Tabela 31) ocorreu uma pequena redução dos teores de FAF do tempo 0 para o tempo de 180 dias. No entanto, no tempo de 270 dias ocorreu um forte aumento, sendo ainda maiores no tempo de 360 dias.

Tabela 30. Carbono da fração ácido fúlvico nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 - 10	24,5 a	23,3 a	23,3 a	17,9
10 - 20	24,4 a	22,3 a	19,6 a	10,3
20 - 30	20,7 a	21,7 a	18,1 a	11,1
30 - 40	15,7 a	14,8 a	18,9 a	9,3

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 31. Carbono da fração ácido fúlvico nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- g kg ⁻¹ -----					
0 - 10	11,2 bc	10,3 c	8,2 c	33,5 ab	55,2 a	27,8
10 - 20	10,7 bc	9,6 c	7,4 c	29,7 b	54,7 a	15,0
20 - 30	8,0 c	10,8 bc	5,8 c	25,8 b	50,4 a	20,1
30 - 40	5,8 b	7,1 b	3,9 b	22,9 a	42,5 a	17,4

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

FAF - Magé

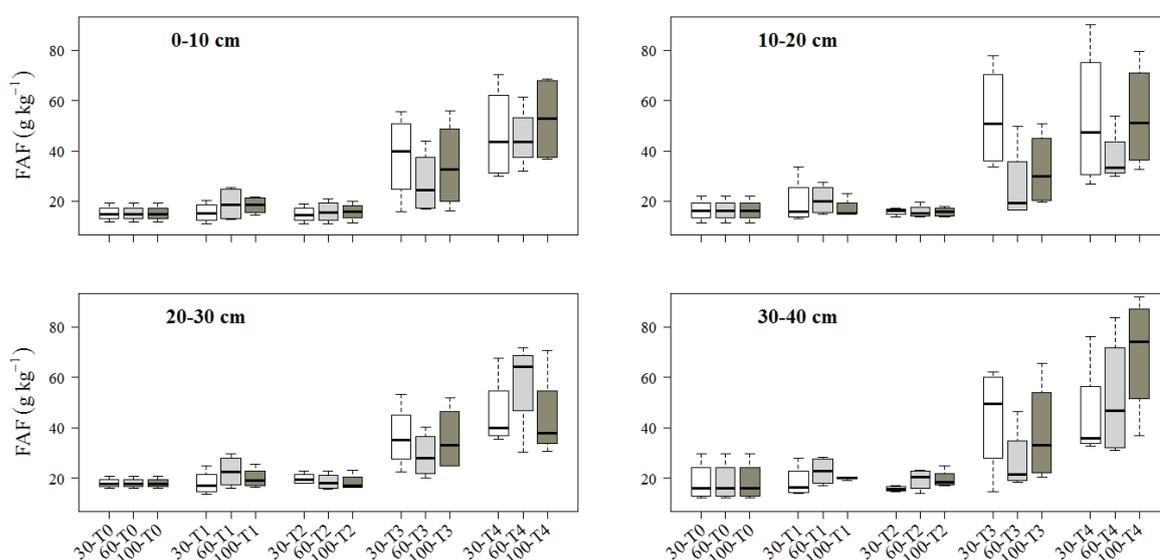


Figura 24. Carbono da fração ácido fúlvico (FAF) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Os níveis de drenagem não tiveram efeito sobre os teores de FAF do perfil de MG (Tabela 32). Todos os valores variaram entre 23,3 e 33,1 g kg⁻¹. Com relação aos níveis de tempo para o perfil de MG (Tabela 33) não observou-se a tendência de redução dos teores do tempo 0 até o tempo de 180 dias, conforme observado para o perfil de SC na Tabela 31. No entanto, a partir do tempo de 180 observou-se um aumento nos teores de FAF, sendo maiores no tempo de 360 dias em todas as camadas.

Tabela 32. Carbono da fração ácido fúlvico nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 - 10	25,9 a	24,5 a	27,3 a	12,6
10 - 20	31,6 a	23,3 a	27,1 a	24,1
20 - 30	27,6 a	29,2 a	27,2 a	25,0
30 - 40	28,3 a	27,9 a	33,1 a	19,7

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 33. Carbono da fração ácido fúlvico nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- g kg ⁻¹ -----					
0 - 10	15,1 b	17,6 b	15,5 b	33,1 a	48,2 a	19,8
10 - 20	16,4 b	19,1 b	15,9 b	37,3 a	48,0 a	25,9
20 - 30	18,0 b	20,2 b	18,9 b	33,7 a	49,1 a	25,0
30 - 40	18,4 c	20,4 bc	18,2 c	36,3 ab	55,4 a	21,3

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

3.5.6 Fração ácido húmico (FAH)

Os valores de FAH dos perfis de SC (Figura 25) e MG (Figura 26) apresentaram uma tendência de redução dos seus teores do tempo 0 até o tempo de 180 dias, estabilizando-se com o tempo de 270 dias. A partir deste tempo há um aumento mais forte para o tempo de 360 dias.

O perfil de SC apresentou interação para o FAH na camada de 0-10 cm (Tabela 36). Entre os níveis de drenagem, houve diferenças somente no tempo de 270 dias, onde as drenagens de 60 e 100 cm tiveram os maiores teores de FAH. Entre os níveis de tempo, observou-se reduções dos teores de FAH do tempo 0 até 270 dias. No entanto, ocorreu um aumento substancial para o tempo de 360 dias.

FAH - Santa Cruz

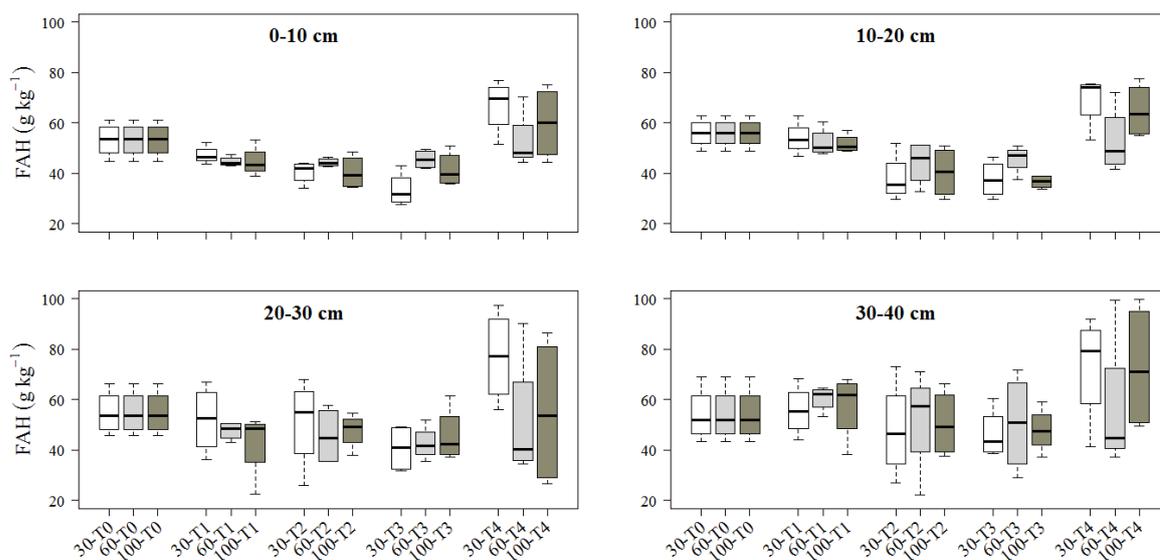


Figura 25. Carbono da fração ácido húmico (FAH) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Os efeitos isolados da drenagem mostram que os teores de FAH de SC não mostraram diferenças entre os níveis de drenagem (Tabela 34). Os valores variaram entre 47,9 e 56,6 g kg⁻¹. Os efeitos isolados de tempo mostram que as camadas de 0-10 e 10-20 cm apresentaram diferenças, com os menores valores para os tempos de 180 e 270 dias (Tabela 35). O tempo de 360 dias mostrou os maiores valores de FAH para estas duas camadas superficiais, porém não difere do tempo de 0 dias. As camadas de 20-30 e 30-40 cm não mostraram diferenças para o perfil de SC (Tabela 35).

Tabela 34. Carbono da fração ácido húmico nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 - 10	48,3 a	48,1 a	47,9 a	4,5
10 - 20	51,0 a	50,1 a	49,9 a	5,9
20 - 30	55,1 a	48,4 a	49,3 a	5,3
30 - 40	55,4 a	54,7 a	56,6 a	2,8

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 35. Carbono da fração ácido húmico nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- g kg ⁻¹ -----					
0 - 10	53,3 ab	45,5 bc	41,7 c	40,1 c	59,8 a	15,7
10 - 20	55,9 a	52,6 a	40,9 b	40,0 b	62,3 a	16,9
20 - 30	54,8 a	47,5 a	48,1 a	43,1 a	61,2 a	20,7
30 - 40	53,9 a	57,9 a	50,2 a	48,3 a	67,4 a	11,8

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 36. Interação entre os diferentes níveis de drenagem e de tempo para a fração ácido húmico do solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Drenagem (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- g kg ⁻¹ -----					
	0-10 cm					
30	53,3 Aab	47,2 Ab	40,4 Abc	33,4 Bc	66,9 Aa	9,6
60	53,3 Aa	44,6 Aa	44,4 Aa	45,4 Aa	52,7 Aa	
100	53,3 Aab	44,7 Aab	40,3 Ab	41,5 ABb	59,8 Aa	
CV (%)	10,4					

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (níveis de drenagem) e minúscula na linha (níveis de tempo) não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

O perfil de MG também não mostrou efeito da drenagem em nenhuma das camadas avaliadas para a FAH (Tabela 37). Para os níveis de tempo, observou-se que as camadas de 0-10 e 10-20 cm foram mais sensíveis às variações, com o tempo de 270 dias mostrando os menores, e o tempo de 360 dias os maiores valores (Tabela 38). Já nas profundidades de 20-30 e 30-40 cm a única diferença observada foi para o tempo de 360 dias, que teve os maiores teores.

FAH - Magé

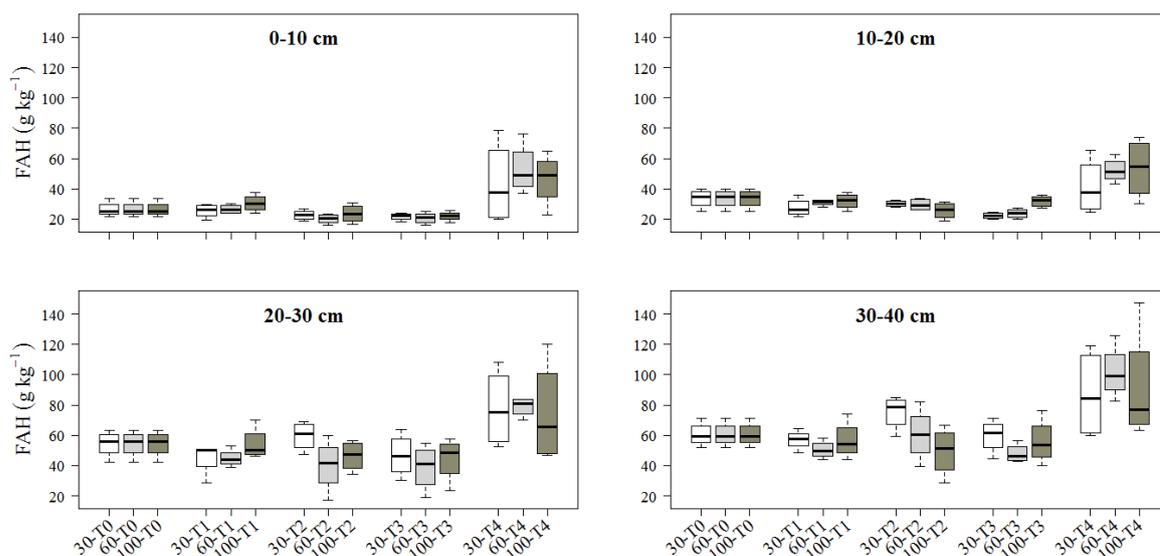


Figura 26. Carbono da fração ácido húmico (FAH) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Tabela 37. Carbono da fração ácido húmico nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 - 10	27,9 a	29,3 a	29,7 a	33,6
10 - 20	30,9 a	34,0 a	35,3 a	11,0
20 - 30	56,6 a	51,4 a	54,8 a	10,7
30 - 40	67,9 a	64,2 a	62,6 a	7,9

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 38. Carbono da fração ácido húmico nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- g kg ⁻¹ -----					
0 - 10	26,4 bc	27,5 b	22,1 c	21,5 c	47,5 a	19,9
10 - 20	33,6 b	30,2 bc	28,4 bc	25,9 c	49,0 a	7,6
20 - 30	54,4 b	48,0 b	48,6 b	42,4 b	77,0 a	8,2
30 - 40	60,5 b	54,7 b	61,6 b	54,4 b	93,3 a	6,6

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

3.5.7 Fração húmica (HUM)

A HUM mostrou decréscimo dos valores ao longo do tempo, tanto no perfil de SC (Figura 27) quanto no de MG (Figura 28). Para o perfil de SC, a drenagem não mostrou

diferenças em seus níveis e os valores variaram de 59,9 a 77,2 g kg⁻¹ (Tabela 39). Já nos níveis de tempo, o perfil de SC mostrou diferenças em quase todas as camadas, com exceção de 30-40 cm (Tabela 40). Essa diferença se deu pelos teores decrescentes de HUM do tempo 0 para o tempo de 360 dias, ou seja, a HUM mostrou redução dos seus valores ao longo do tempo.

HUM - Santa Cruz

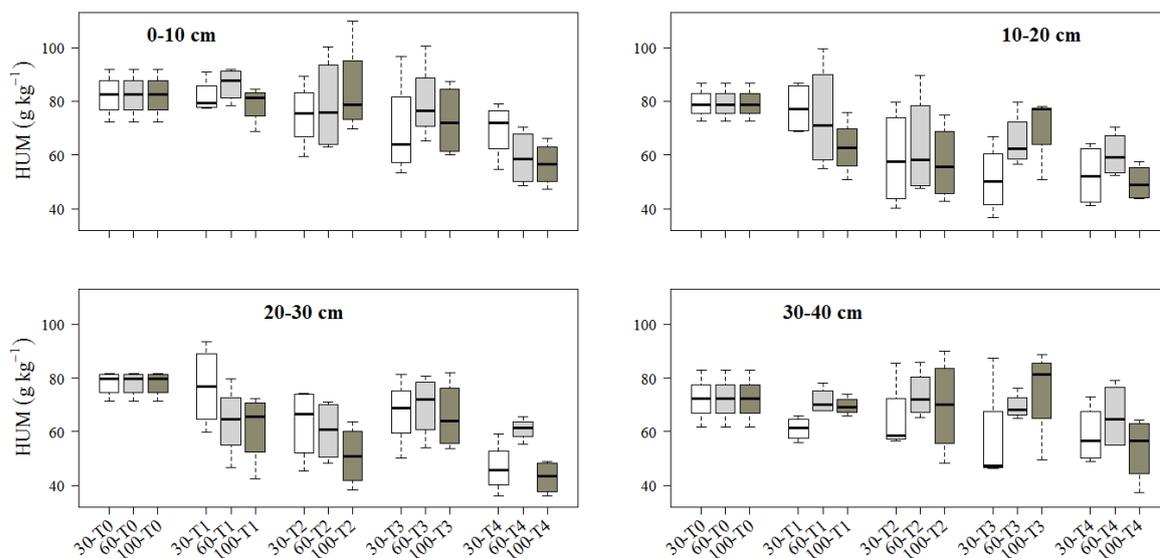


Figura 27. Carbono da fração humina (HUM) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Tabela 39. Carbono da fração humina nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 - 10	75,5 a	77,2 a	75,0 a	15,0
10 - 20	63,7 a	68,5 a	63,9 a	12,6
20 - 30	66,3 a	66,5 a	59,9 a	18,3
30 - 40	62,8 a	70,5 a	68,1 a	20,3

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 40. Carbono da fração humina nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- g kg ⁻¹ -----					
0 - 10	82,2 a	82,3 a	79,2 a	74,0 ab	61,6 b	15,9
10 - 20	79,2 a	71,4 ab	59,8 bc	62,3 bc	54,1 c	18,1
20 - 30	78,1 a	67,4 ab	58,1 bc	67,6 ab	50,2 c	16,2
30 - 40	72,3 a	67,3 a	69,4 a	67,2 a	59,4 a	16,5

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

O perfil de MG também não mostrou diferença nos teores de HUM entre os diferentes níveis de drenagem, com os valores variando entre 95,2 e 195,1 g kg⁻¹ (Tabela 41). Os níveis de tempo para o perfil de MG mostraram comportamento semelhante ao perfil de SC (redução dos teores de HUM no decorrer do tempo), porém, para o perfil de MG, a única camada que não mostrou diferença foi a de 10-20 cm (Tabela 42).

HUM - Magé

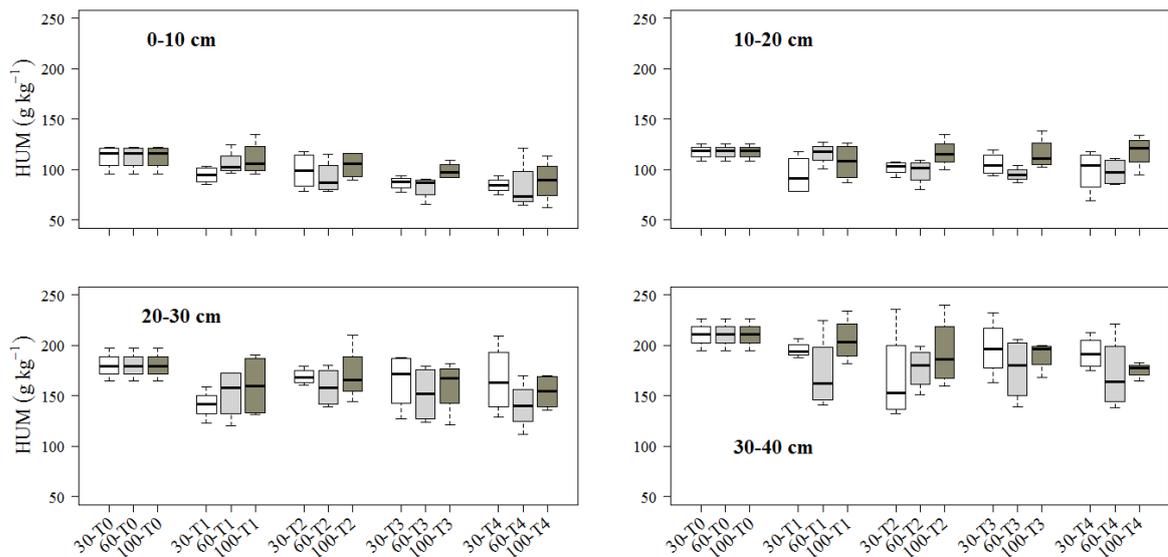


Figura 28. Carbono da fração humina (HUM) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Tabela 41. Carbono da fração humina nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
	----- g kg ⁻¹ -----			
0 - 10	95,4 a	95,2 a	103,0 a	9,7
10 - 20	103,5 a	104,8 a	115,0 a	15,7
20 - 30	164,4 a	156,8 a	165,3 a	17,7
30 - 40	192,9 a	181,8 a	195,1 a	13,7

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Tabela 42. Carbono da fração humina nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- g kg ⁻¹ -----					
0 - 10	112,4 a	103,8 ab	98,4 abc	89,3 bc	85,5 c	15,9
10 - 20	117,5 a	105,8 a	105,4 a	105,3 a	104,7 a	11,7
20 - 30	180,5 a	151,3 b	166,5 ab	158,8 ab	153,6 b	13,2
30 - 40	210,9 a	191,2 ab	179,6 b	188,0 ab	180,0 b	13,6

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Os resultados de HUM e COT mostram um comportamento interessante da dinâmica do carbono, nos dois perfis avaliados. Relativamente, a HUM (Figura 27 e Figura 28) mostrou uma queda mais acentuada dos seus teores ao longo do tempo, quando comparada com as reduções do COT (Figura 20 e Figura 21). Isso significa que parte do carbono que se encontrava na fração HUM passou para as formas de FAF e FAH, já que estas duas últimas mostraram um aumento considerável nos tempos de 270 e 360 dias.

3.5.8 Taxa de recuperação (TR) das substâncias húmicas (SHs)

A TR das SHs mostrou comportamento semelhante para os perfis de SC (Figura 29) e MG (Figura 30). Os valores variaram entre 100 e 120% no tempo de 0 dias, mostrando uma pequena tendência de queda nos tempos de 90 e 180 dias. Já para os tempos de 270 e 360 dias houve o aumento da taxa de recuperação, variando em torno de 140% para o tempo de 360 dias nos dois perfis. Destaca-se que a taxa de recuperação mostrou um comportamento gráfico semelhante com o FAF (Figura 23 e Figura 24) e FAH (Figura 25 e Figura 26) dos seus respectivos perfis. Quando os solos apresentaram maiores teores de FAF e FAH as taxas de recuperação também foram maiores. Esse comportamento pode estar relacionado com a metodologia de análise, que possui maior sensibilidade para detectar a FAF e FAH.

Taxa de Recuperação - Santa Cruz

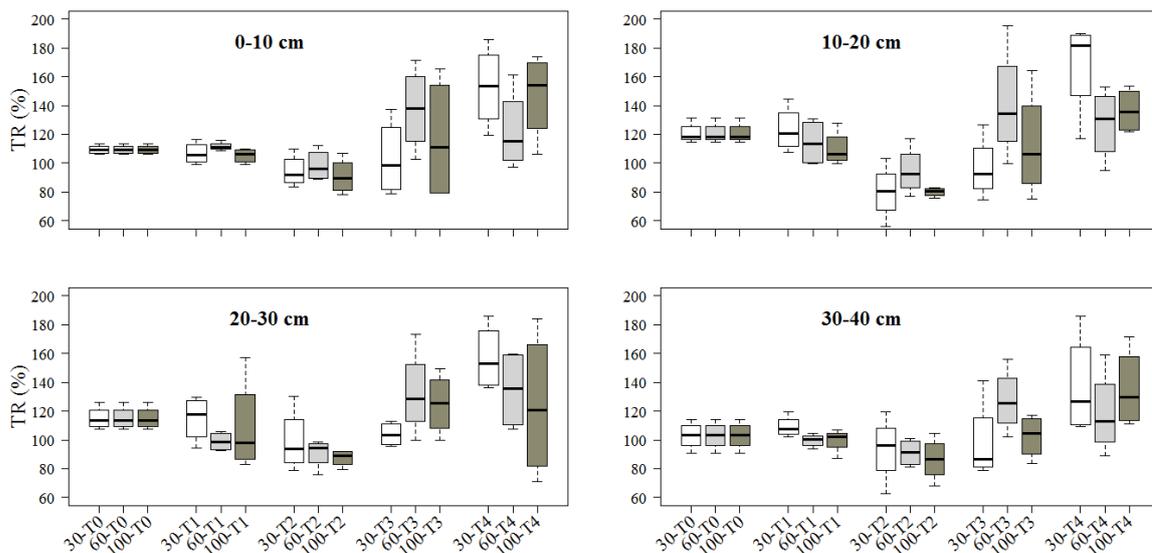


Figura 29. Taxa de recuperação (TR) das substâncias húmicas do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Taxa de Recuperação - Magé

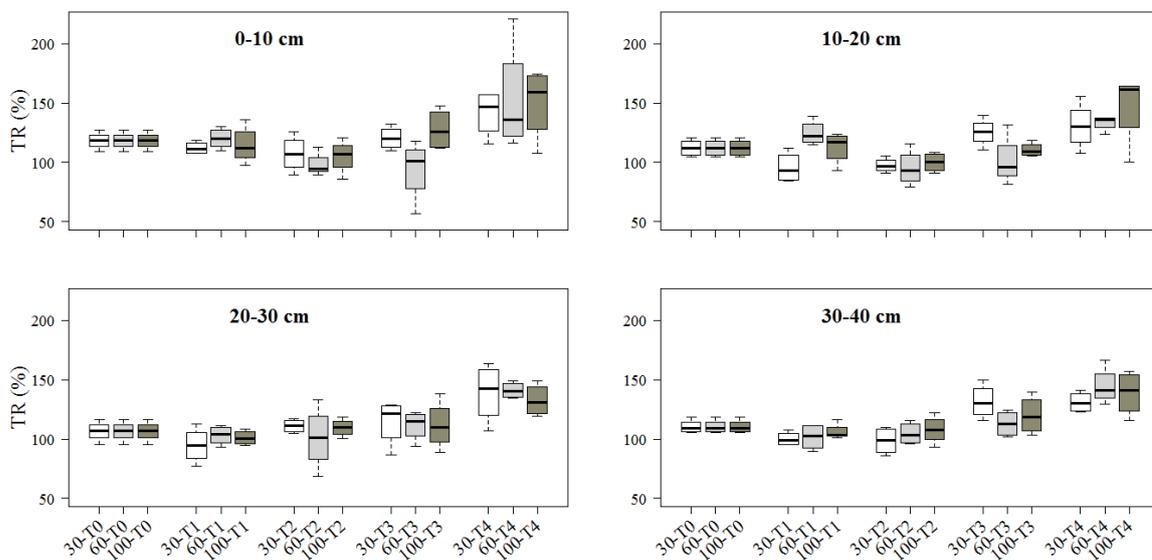


Figura 30. Taxa de recuperação (TR) das substâncias húmicas do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

3.5.9 Relação ácido húmico (FAH) / ácido fúlvico (FAF)

A relação FAH/FAF do perfil de SC mostrou uma queda acentuada nos tempos de 270 e 360 dias (Figura 31). A drenagem não apresentou efeitos sobre as relações FAH/FAF para o perfil de SC, porém parece haver uma leve tendência de aumento dos valores na drenagem de 100 cm (Tabela 43). E os efeitos dos níveis de tempo, mostram que ao final do período avaliado (270 e 360 dias) ocorreu uma queda acentuada da relação FAH/FAF (Tabela 44). No

tempo 0 os valores variam de 5,20 a 11,52; e no tempo de 360 dias os valores ficaram entre 1,28 e 1,93.

FAH/FAF - Santa Cruz

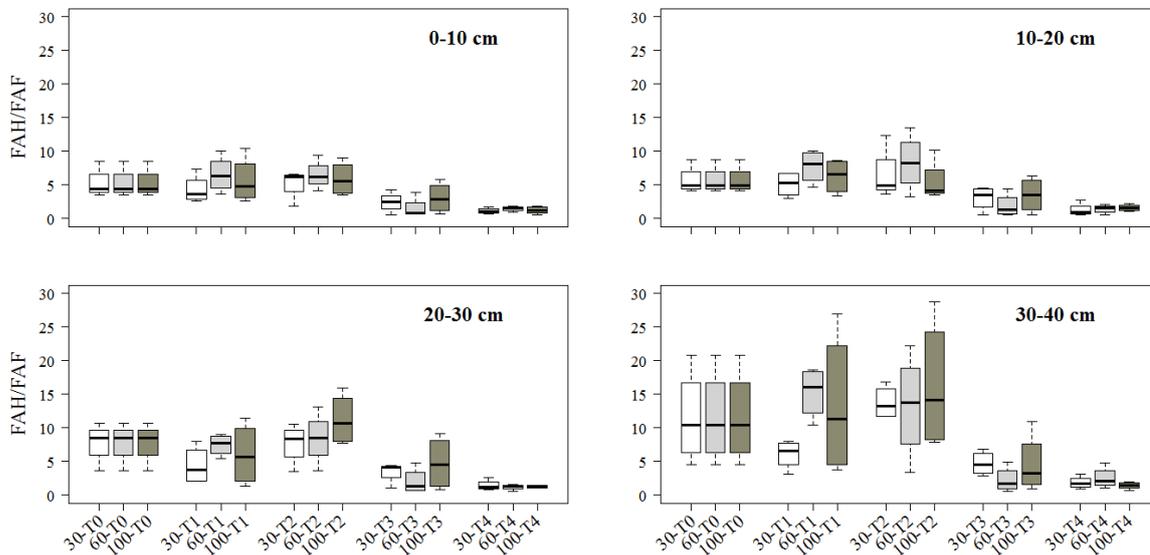


Figura 31. Relação entre os valores de carbono da fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Tabela 43. Relação entre os valores de carbono da fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
	----- adim -----			
0 - 10	3,65 a	4,25 a	4,18 a	14,0
10 - 20	4,29 a	5,00 a	4,49 a	13,5
20 - 30	4,96 a	5,39 a	6,22 a	5,0
30 - 40	7,58 a	8,97 a	9,42 a	6,2

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação; adim: adimensional.

Tabela 44. Relação entre os valores de carbono da fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- adim -----					
0 - 10	5,20 a	5,47 a	5,86 a	2,32 b	1,28 b	19,9
10 - 20	5,65 a	6,35 a	6,74 a	2,79 b	1,42 b	20,6
20 - 30	7,84 a	5,97 ab	9,13 a	3,39 bc	1,30 c	9,9
30 - 40	11,52 a	11,58 a	14,41 a	3,85 b	1,93 b	14,1

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação; adim: adimensional.

O perfil de MG também mostrou uma relação FAH/FAF com queda acentuada nos tempos de 270 e 360 dias (Figura 32), no entanto, foi bem menos acentuada quando comparada com o perfil de SC (Figura 31). A drenagem também não apresentou efeitos sobre as relações FAH/FAF para o perfil de MG (Tabela 45). E os efeitos dos níveis de tempo, mostram que ao final do período avaliado (270 e 360 dias) ocorreu uma queda nos valores da relação FAH/FAF (Tabela 46). Esta queda foi menos acentuada em relação ao perfil de SC. No tempo 0 os valores variam de 1,84 a 3,57; e no tempo de 360 dias os valores ficaram entre 0,90 e 1,91 (Tabela 46).

FAH/FAF - Magé

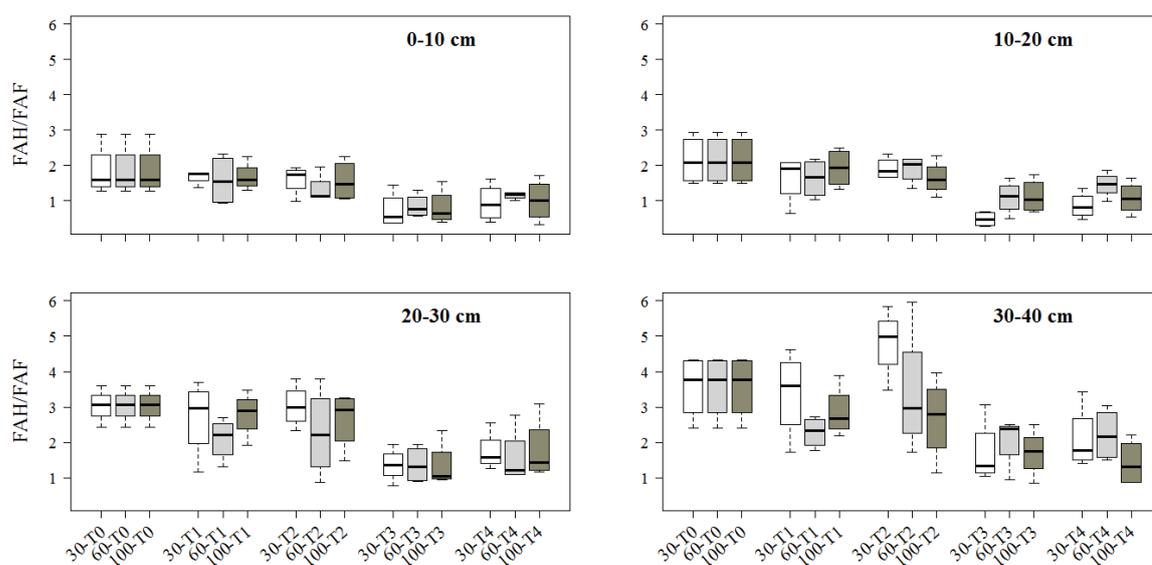


Figura 32. Relação entre os valores de carbono da fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Tabela 45. Relação entre os valores de carbono da fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
	----- adim -----			
0 - 10	1,36 a	1,36 a	1,38 a	21,4
10 - 20	1,41 a	1,65 a	1,59 a	38,1
20 - 30	2,37 a	2,07 a	2,32 a	51,0
30 - 40	3,11 a	2,70 a	2,45 a	38,8

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação; adim: adimensional.

Tabela 46. Relação entre os valores de carbono da fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
	----- adim -----					
0 - 10	1,84 a	1,65 a	1,50 ab	0,80 c	1,04 bc	19,6
10 - 20	2,15 a	1,73 a	1,82 a	1,13 b	0,90 b	32,2
20 - 30	3,04 a	2,53 a	2,64 a	1,36 b	1,70 b	25,7
30 - 40	3,57 a	2,84 ab	3,63 a	1,81 b	1,91 b	34,2

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação; adim: adimensional.

3.5.10 Relação extrato alcalino (EA) / humina (HUM)

A relação EA/HUM do perfil de SC mostrou-se estável entre os tempos de 0 e 180 dias, porém depois passou a aumentar até os 360 dias (Figura 33). A drenagem não teve efeito sobre a relação EA/HUM, com os valores oscilando entre 0,97 e 1,34 (Tabela 47). Já o tempo apresentou efeito sobre a relação EA/HUM, com o tempo de 360 dias mostrando os maiores valores, oscilando entre 1,88 e 2,32 (Tabela 48). Os tempos de 0, 90, e 180 dias não mostraram diferenças entre eles, com os valores oscilando entre 0,65 e 0,97.

EA/HUM - Santa Cruz

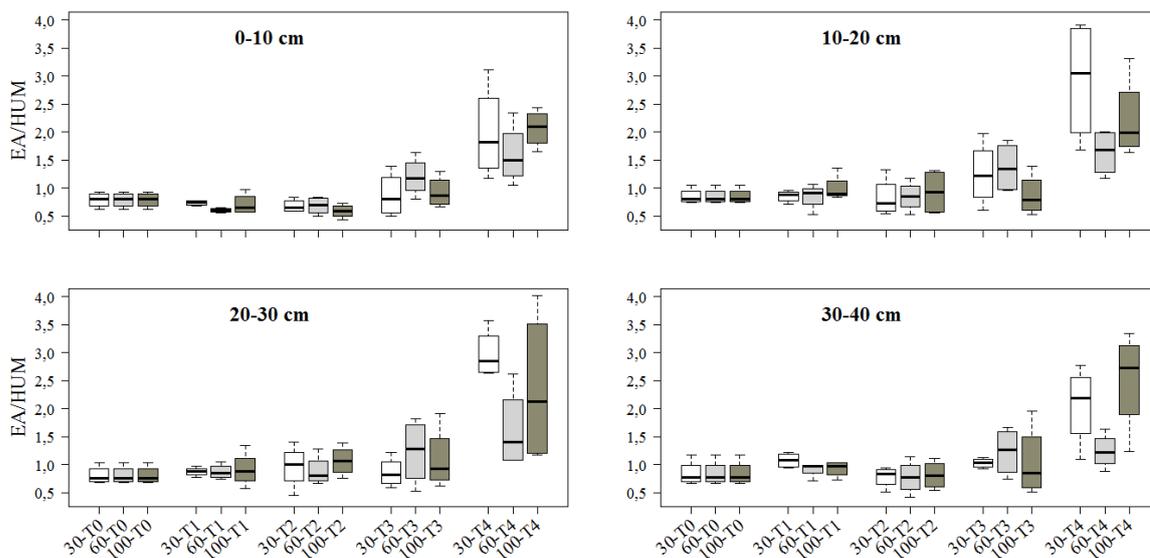


Figura 33. Relação entre os valores de carbono do extrato alcalino (EA) e humina (HUM) do perfil de Organossolo de Santa Cruz (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Tabela 47. Relação entre os valores de carbono do extrato alcalino (EA) e humina (HUM) nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
----- adim -----				
0 - 10	1,01 a	0,97 a	1,01 a	10,2
10 - 20	1,34 a	1,11 a	1,17 a	14,4
20 - 30	1,29 a	1,08 a	1,25 a	22,5
30 - 40	1,16 a	1,00 a	1,22 a	13,1

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação; adim: adimensional.

Tabela 48. Relação entre os valores de carbono do extrato alcalino (EA) e humina (HUM) nos diferentes níveis de tempo para o solo de Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
----- adim -----						
0 - 10	0,79 bc	0,68 c	0,65 c	1,00 b	1,88 a	12,7
10 - 20	0,84 b	0,90 b	0,86 b	1,16 b	2,26 a	16,6
20 - 30	0,81 b	0,88 b	0,97 b	1,06 b	2,32 a	35,9
30 - 40	0,84 b	0,97 b	0,79 b	1,10 b	1,93 a	16,4

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação; adim: adimensional.

O perfil de MG (Figura 34) mostrou comportamento semelhante ao perfil de SC, mostrando um aumento dos valores de EA/HUM no decorrer do tempo. A drenagem também não mostrou efeitos sobre o perfil de MG, com os valores oscilando entre 0,50 e 0,62 (Tabela 49). E para os efeitos de tempo, observou-se comportamento semelhante entre os perfis de MG (Tabela 50) e SC (Tabela 48). O tempo de 360 dias apresentou os maiores valores, sendo entre 0,83 e 1,15; seguido pelo tempo de 270 dias, com 0,48 e 0,61. Os menores valores ficaram nos tempos de 0, 90, e 180 dias, oscilando entre 0,37 e 0,48 (Tabela 50).

EA/HUM - Magé

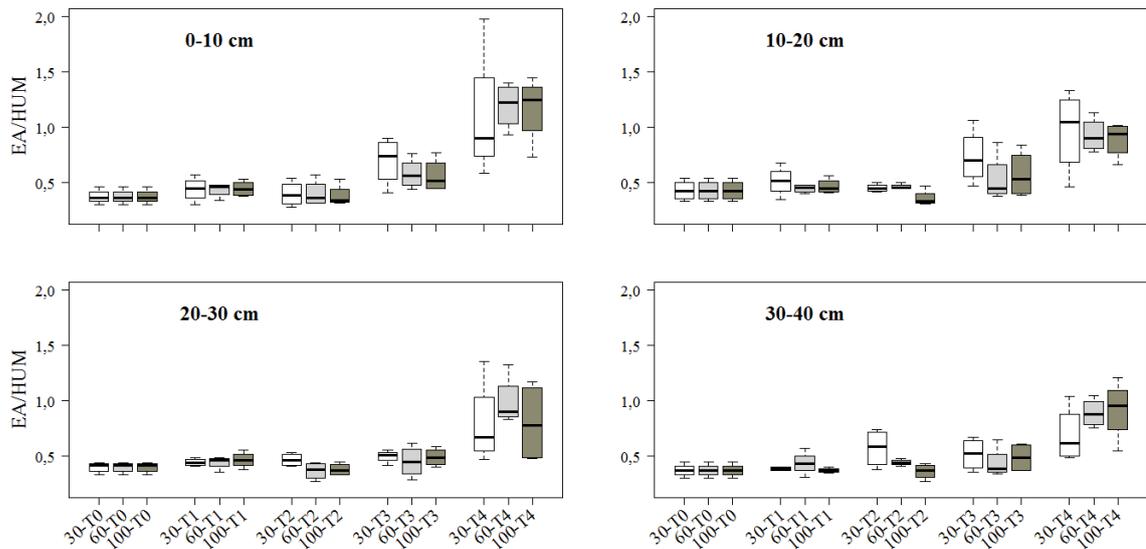


Figura 34. Relação entre os valores de carbono do extrato alcalino (EA) e humina (HUM) do perfil de Organossolo de Magé (RJ). Drenagens de 30, 60, e 100 cm. Tempos de 0 (T0), 90 (T1), 180 (T2), 270 (T3), e 360 (T4) dias. Exemplo: 30-T0 corresponde à drenagem de 30 cm no tempo de 0 dias (T0).

Tabela 49. Relação entre os valores de carbono do extrato alcalino (EA) e humina (HUM) nos diferentes níveis de drenagem para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Drenagem (cm)			CV (%)
	30	60	100	
----- adim -----				
0 - 10	0,60 a	0,60 a	0,59 a	18,0
10 - 20	0,62 a	0,56 a	0,54 a	24,2
20 - 30	0,52 a	0,53 a	0,51 a	7,8
30 - 40	0,51 a	0,52 a	0,50 a	25,4

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação; adim: adimensional.

Tabela 50. Relação entre os valores de carbono do extrato alcalino (EA) e humina (HUM) nos diferentes níveis de tempo para o solo de Magé, RJ.

Prof. (cm)	Tempo (dias)					CV (%)
	0	90	180	270	360	
----- adim -----						
0 - 10	0,37 c	0,44 bc	0,39 c	0,61 b	1,15 a	25,4
10 - 20	0,43 c	0,48 bc	0,43 c	0,61 b	0,93 a	22,8
20 - 30	0,40 b	0,45 b	0,41 b	0,48 b	0,86 a	11,4
30 - 40	0,37 c	0,40 bc	0,46 bc	0,48 b	0,83 a	20,0

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5% de significância. CV: coeficiente de variação; adim: adimensional.

De maneira geral, observa-se que a dinâmica do COT e das substâncias húmicas (SHs) mostrou um comportamento diferenciado nos dois últimos tempos de avaliação (270 e 360 dias). Todas essas alterações possivelmente foram causadas pela elevação da temperatura entre os tempos de 0 e 180 dias, atingindo o maior pico no tempo de 180 dias (Figura 13). A partir deste tempo, as temperaturas decrescem até o final do período de avaliação (360 dias).

3.6 CONCLUSÕES

A taxa de subsidência foi maior para as drenagens mais profundas e para o perfil MG. A drenagem mais profunda aumentou a Ds na camada mais superficial (0-10 cm) do perfil SC, porém reduziu na camada mais profunda (30-40 cm) do perfil MG. A Ds aumentou ao longo do tempo.

O pH apresentou tendências de redução nas maiores profundidades de drenagem, e uma queda acentuada após as coletas no campo, passando a se elevar no decorrer do tempo.

O COT não foi sensível às variações de drenagem, no entanto, mostrou uma leve tendência de queda dos valores ao longo do tempo.

O carbono da FAF, FAH, HUM, e as suas relações FAH/FAF e EA/HUM não foram sensíveis às diferenças de drenagem. No entanto, apresentaram alta sensibilidade ao longo do tempo. A FAF, FAH, e a relação EA/HUM apresentaram aumentos dos valores após as altas temperaturas dos meses de dezembro à fevereiro. E a HUM e a relação FAH/FAF apresentaram reduções dos valores após o período de altas temperaturas.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras. In: Simpósio Sobre o Cerrado, 1971, São Paulo, SP. Anais. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1971, p.1-14.
- AB'SABER, A. N. Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159p.
- AB'SABER, A. N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. - Geomorfologia, São Paulo: USP-IG, 1970.
- AMÉZKETA, E. Soil aggregate stability: A review. *Journal of Sustainable Agriculture*, Binghamton, v.14, p. 83-151, 1999.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. CAB International. 171p. 1989.
- ANDRIESSE, J. Uso de solos orgânicos em condições tropicais e subtropicais aliado às possibilidades brasileiras. Curitiba: MA / Provárzeas Nacional, Embrater, SEAG - Paraná e Acarpa / Emater – Paraná. v.1. 1984. p.11-34
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Org.). Fertilidade do Solo. 1ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, v.1, p.873-928.
- ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ªed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p.65-86.
- BLANCHART, E.; BERNOUX, M.; SARDA, X.; SIQUEIRA NETO, M.; Cerri, C. C.; PICCOLO, M. C.; DOUZET, J.; SCOPEL, E.; FELLER, C. Effect of direct seeding mulch-based systems on soil carbon storage and macrofauna in Central Brazil. *Agriculturae Conspectus Scintificus*, v.72, p.81-87, 2007.
- EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREZ, D. V.; PEREIRA, M. G.; NOVOTNY, E. H. Atributos físicos e matéria orgânica de Organossolos Háplicos em distintos ambientes no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v37, p.763-774, 2013.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Serviço nacional de levantamento e conservação do solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- FAO. World Reference Base for Soil Resources. A framework for international classification correlation and communication. *World Soil Resources Reports*, n.103, 2006.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: Experimental Designs package. R package version 1.1.2. 2013.

GRØNLUND, A.; HAUGE, A.; HOVDE, A.; RASSE, D. P. Carbon loss estimates from cultivated peat soils in Norway: a comparison of three methods. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.81, p.157–167, 2008.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 02 de junho de 2014.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais Climatológicas 1961 – 1990. Brasília: INMET, 1992. 84p.

INUBUSHI, K.; FURUKAWA, Y.; HADI, A.; PURNOMO, E.; TSURUTA, H. Seasonal changes of CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in relation to land-use change in tropical peatlands located in coastal area of south Kalimantan. *Chemosphere*, v.52, p.603-608, 2003.

LEPSCH, I. F.; QUAGGIO, J. A.; SAKAI, E.; CAMARGO, O. A.; VALLADARES, J. M. A. S. Caracterização, classificação e manejo agrícola de solos orgânicos do vale do Rio Ribeira de Iguape, SP. Campinas: Instituto Agrônômico, 1990. 58p. (Boletim Técnico, 131).

PEREIRA, M. G., ANJOS, L. H. C., VALLADARES, G. S. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. *Tópicos Especiais em Ciência do Solo* 4: 233-276, 2005.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013.

SCHNITZER, M.; SKINNER, S. I. M. Alkali versus acid extracted of soil organic matter. *Soil Science*, v.105, p.392-396, 1968.

VALLADARES G. S.; GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G.; BENITES, V. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p. 285-296, 2008.

VALLADARES, G.S. Caracterização de organossolos, auxílio à sua classificação. 2003. 142f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication of Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.

4 CAPÍTULO III:

ESTOQUE E PERDAS DE CARBONO EM ORGANOSSOLOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

4.1 RESUMO

Os Organossolos são uma importante fonte de estoque de carbono nos ambientes terrestres e possuem alta suscetibilidade às perdas de carbono quando perturbados. O objetivo deste capítulo foi estimar o estoque e as potenciais perdas de carbono nos Organossolos do Estado do Rio de Janeiro. Foram usados 43 perfis de Organossolos, sendo que 18 deles não apresentavam os dados de densidade do solo (Ds), os quais foram estimados por meio de funções de pedotransferência. Para estimar o estoque foram usados os dados de carbono orgânico total (COT), Ds, e a espessura dos horizontes. As comparações entre os diferentes grupos de dados foi feita pelo teste de Wilcoxon. A espacialização das variáveis foi realizada através do método de interpolação IDW (do inglês *Inverse Distance Weight* - Inverso do Peso da Distância). Os valores médios de COT foi de 228,0 g kg⁻¹, a Ds foi de 0,48 Mg m⁻³, a espessura dos perfis foi de 86 cm, a profundidade foi de 90 cm, e o estoque médio de COT foi de 73,51 kg m⁻². Os conjuntos de dados aplicados para as estimativas espaciais das variáveis foram semelhantes aos valores obtidos após as interpolações, o que mostra que as espacializações são representativas dos dados de base. A espacialização mostrou diferenças qualitativas para as variáveis nas diferentes regiões. Foi estimado um estoque de COT de 27.178.631,8 Mg para os Organossolos do Estado do RJ. As taxas estimadas de perdas foram de 10,87 kg m⁻² para Organossolos com drenagem mais recente e altos teores de COT; de 7,16 kg m⁻² para Organossolos intermediários; e 1,46 kg m⁻² para Organossolos com menores teores de COT longa data de drenagem. Solos com altos teores de COT estão mais propensos a terem altas perdas de COT quando perturbados.

Palavras-chave: Densidade do solo. Solos orgânicos. Drenagem.

4.2 ABSTRACT

The Histosols are a major source of carbon storage in terrestrial environments and have high susceptibility to carbon losses when disturbed. The aim of this chapter is to estimate the stock and the potential loss of carbon in Histosols the State of Rio de Janeiro. Were used 43 soil profiles, with 18 of them did not have data of the bulk density (Bd), which were estimated by pedotransfer functions. To estimate the stock were used the total organic carbon data (COT), Bd, and the thickness of the horizons. Comparisons between different data groups was performed using the Wilcoxon test. The spatial distribution of the variables was performed using the IDW interpolation method. The average values of TOC was 228.0 g kg^{-1} , Bd was 0.48 Mg m^{-3} , the thickness of the profiles was 86 cm, the depth was 90 cm and the average stock TOC was 73.51 kg m^{-2} . The data sets applied to the spatial estimates of the variables were similar to values obtained after the interpolations, which shows that spatial are representative of the source data. The spatial showed qualitative differences for the variables in the different regions. It was estimated a stock of TOC 27,178,631.8 Mg for the RJ State Histosols. The estimated rates of loss were 10.87 kg m^{-2} for Histosols with latest drainage and high TOC; of 7.16 kg m^{-2} for intermediate Histosols; and 1.46 kg m^{-2} for Organosols with lower TOC and long drain. Soils with high TOC levels are more likely to have high losses TOC when disturbed.

Keywords: Bulk density. Organic soils. Drainage.

4.3 INTRODUÇÃO

O solo é considerado o principal reservatório temporário de carbono nos ecossistemas (Assad et al., 2013; Bruce et al., 1999). Estima-se que nos primeiros 100 cm de profundidade aproximadamente 2200 Pg de carbono (C) estejam armazenados nos solos de todo o mundo, sendo 1500 Pg de carbono orgânico e 700 Pg de carbono inorgânico (Batjes, 1996). Com destaque para os Organossolos que contém elevados teores de C, apresentando valores médios de estoque de C entorno de 77,6 kg C m⁻² (Batjes, 1996) atuando como depósitos naturais de C.

A quantificação do estoque de carbono é de grande importância, pois a partir do conhecimento sobre a magnitude da reserva de carbono pode-se estimar a taxa de emissão de gases e inferir sobre políticas públicas de mitigação (Page et al., 2011) estando relacionado ao equilíbrio do ecossistema e manutenção da qualidade ambiental (Scheer et al., 2011). A perda de carbono possui relação direta com a quantidade e qualidade do material orgânico e com a espessura da camada orgânica, quanto maior for a espessura do material aportado maior serão os riscos a degradação por subsidência (Valladares et al., 2008).

No entanto, os Organossolos são muito vulneráveis ao manejo podendo liberar o conteúdo de C para a atmosfera em função de mudança no regime de drenagem (Weissert & Disney, 2013). Essa intervenção ocasiona desestruturação do solo com colapso dos poros, aumentando a aeração e a taxa de mineralização da matéria orgânica, como consequência, ocorre a liberação do carbono presente passando a ser fonte de emissão de gases de efeito estufa (Soares et al., 2015).

Estudos de quantificação dos valores de estoques de C em solos orgânicos (Yimer et al., 2006) em florestas no sudeste da Etiópia encontraram variações entre 326 a 460 Mg ha⁻¹ na profundidade de um metro. Em florestas na Irlanda em ambiente de várzeas foram encontrados valores de 420 a 705 Mg C ha⁻¹ e de 590 a 775 Mg C ha⁻¹ em ambientes altomontanos, na profundidade de 1m (Wellock et al., 2011). Cipriano-Silva et al. (2014) relataram valores entre 208,45 e 440,18 Mg ha⁻¹ em solos de ambientes de várzeas do nordeste do Brasil (Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba) na profundidade de 50 cm. Scheer et al. (2011) em Organossolos de campos altomontanos e floresta altomontana do Paraná encontraram variação entre 190,1 e 410,6 Mg ha⁻¹ a profundidade média de 54 cm. Soares et al. (2015) avaliando impacto de manejo agrícola em solos de várzea no Estado do Rio de Janeiro observaram valores de 292 e 428,04 Mg ha⁻¹ na profundidade de 40 cm.

Em Organossolos do município do Rio de Janeiro a média estimada dos valores de estoques de carbono variaram na faixa de 200 a 500 Mg ha⁻¹ (referente a um metro de profundidade a partir da superfície), indicando que essa classe de solo possui capacidade diferenciada de armazenar carbono em função da sua gênese, da posição na paisagem, e da fitofisionomia de origem (Mendonça-Santos et al., 2003). São os solos mais importantes quanto ao armazenamento de carbono, porém estão limitados a áreas pequenas, 3% da área total do município.

Em geral, estudos relacionados a Organossolos são escassos, visto a pequena área de extensão e a possível não representação destes em função da escala utilizada. Outra restrição é o número relativamente baixo de perfis descritos que não apresentam informações completas. Sem contar a enorme variação em função dos ambientes de formação e a dificuldade de aplicação de metodologias reconhecidas. Weissert & Disney (2013) esclarecem que a maior incerteza nas estimativas de estoque de C atuais são as informações relacionadas a

profundidade do Organossolo, que em muitas vezes é inexistente ou espacialmente variável podendo limitar a precisão das estimativas de estoque de C.

Neste contexto, o objetivo deste capítulo foi estimar o estoque de carbono orgânico armazenado em Organossolos do Estado do Rio de Janeiro, as suas potenciais perdas, e espacializar esses valores na paisagem.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Banco de dados

Todas as informações sobre os perfis com horizontes orgânicos foram obtidas de perfis já publicados, com exceção dos dois perfis usados no experimento do presente trabalho (Capítulo II). Compreende perfis descritos em diferentes regiões do Estado do Rio de Janeiro (Figura 35). O estudo partiu de um banco de dados de solos orgânicos elaborado por Valladares (2003) e foi complementado com publicações entre os anos de 2003 até 2015. As buscas dos dados foram feitas em dissertações, teses, documentos de pesquisa, instituições de ensino e pesquisa. As etapas com os procedimentos adotados e testes encontram-se na Figura 36.

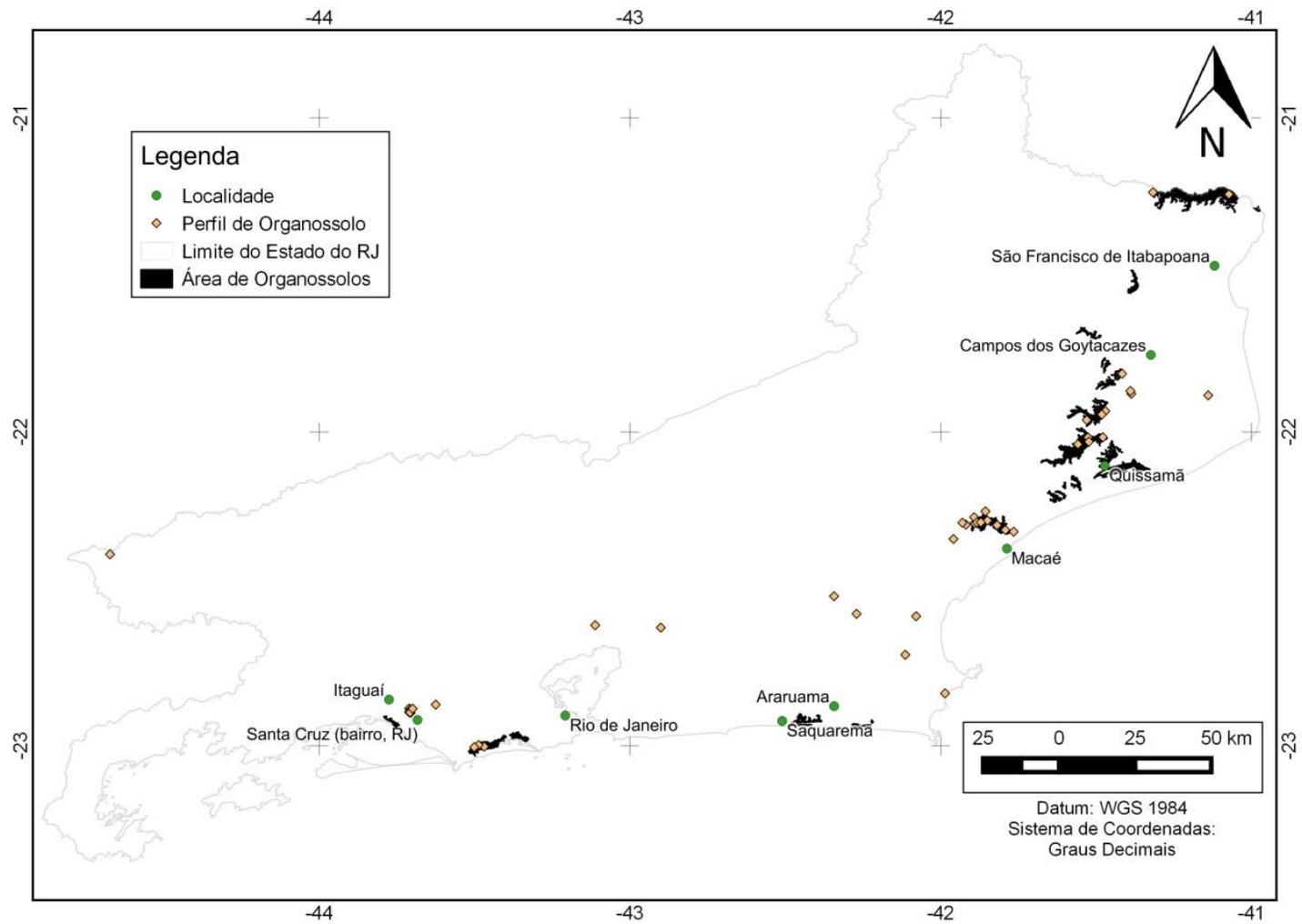


Figura 35. Áreas de Organossolos no Estado do Rio de Janeiro. (Baseado em Carvalho Filho et al., 2003. 1:250.000). Os pontos em marrom mostram os locais com os perfis de Organossolos do banco de dados (43 perfis descritos).

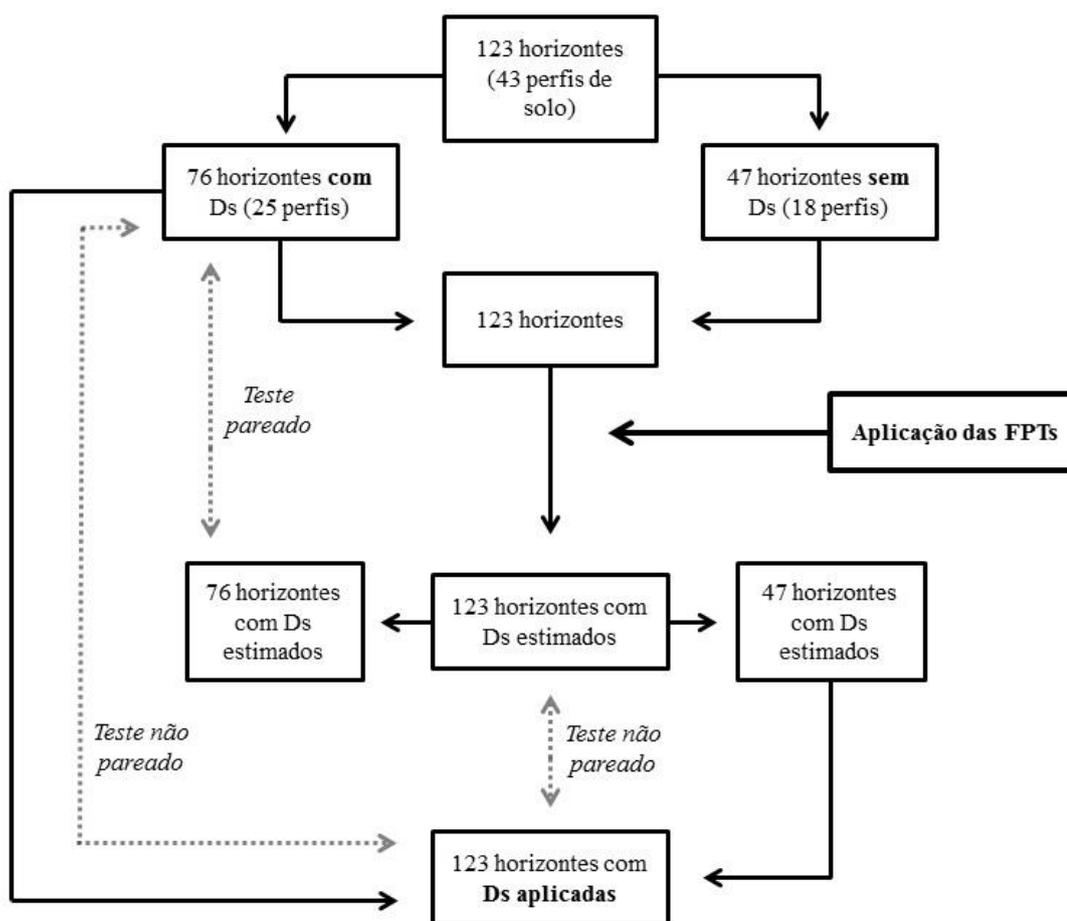


Figura 36. Esquema básico com os procedimentos adotados para execução e testes dos resultados.

Foram encontrados 43 perfis de Organossolos, totalizando 123 horizontes orgânicos (teores de carbono orgânico total iguais ou superiores à 80 g Kg^{-1} de solo), dos quais, 76 horizontes (25 perfis) possuíam dados de Ds medidos no campo. Os demais 47 horizontes (18 perfis) não possuíam dados de Ds.

As informações da estatística descritiva do conjunto de dados são apresentadas na Tabela 51. O conjunto de dados apresenta os teores de carbono orgânico total (COT), densidade do solo (Ds), espessura (E), e a profundidade dos horizontes e/ou camadas. A média da espessura dos horizontes foi de 30 cm e a mediana de 22 cm, mostrando que essa faixa de espessura é bastante comum para Organossolos.

Tabela 51. Estatística descritiva dos horizontes e/ou camadas avaliados (43 perfis).

Estatística	Hor	Argila	COT	Ds
	cm	g kg ⁻¹		Mg m ⁻³
<i>n</i>	123	29	123	76
Mínimo	5	140	80,1	0,09
Máximo	125	780	435,0	1,06
1º quartil	17	360	124,2	0,30
Mediana	22	550	178,2	0,51
3º quartil	35	600	327,5	0,76
Média	30	488	221,2	0,54
DP	22,18	168,17	115,30	0,26
CV (%)	74	34	52	49
Assimetria	2,10	-0,50	0,54	0,06
Curtose	4,90	-0,83	-1,19	-1,15
Teste de normalidade de Shapiro-Wilk				
W	0,77	0,94	0,88	0,96
Valor- <i>p</i>	<0,001	0,09	<0,001	0,03

Hor: horizonte e/ou camada; COT: carbono orgânico total (g kg⁻¹); Ds: densidade do solo (Mg m⁻³); *n*: número de amostras; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); W: valor da estatística de Shapiro-Wilk; Valor-*p*: significância de 0,05.

A média dos dados de argila foi de 488 g kg⁻¹, para COT foi de 221,2 g kg⁻¹ e a Ds dos dados medidos foi de 0,54 Mg m⁻³. Os dados de argila e Ds possuem distribuição normal, já a espessura dos horizontes e o COT não possuem uma boa distribuição de normalidade.

4.4.2 Estimativa da densidade do solo

Os horizontes que não possuíam os valores de Ds medidos foram estimados com uma das seguintes funções de pedotransferência (FPT), dependendo das variáveis preditoras disponíveis:

FPT1:

$$Ds = [1,6179 - 0,0180*(Argila+1)^{0,46} - 0,0398*COT^{0,55}]^{1,33}$$

ou

FPT2:

$$Ds = [4,0899 - 2,3978*COT^{0,06}]^{3,85}$$

onde:

Ds = densidade do solo, em Mg m⁻³;

Argila = teor de argila, em kg Mg⁻¹;

COT = carbono orgânico total, em kg Mg⁻¹;

Estas FPTs foram geradas utilizando-se o banco de dados (BD) do Capítulo I. Para os horizontes e/ou camadas que apresentam os valores de COT e argila, as estimativas da Ds foram feitas com a FPT1. Já os horizontes e/ou camadas que não apresentaram os teores de argila, foram estimados com a FPT2. A referência para a área de Organossolos será o mapa de solos do Estado do Rio de Janeiro na escala de 1:250.000 (Carvalho Filho et al., 2003) (Figura 35).

4.4.3 Cálculo do estoque de COT

A prática internacionalmente recomendada para estimar os estoques de C no solo, é feita determinando-se a massa de C orgânico por unidade de área de terra a uma profundidade de 0,30 m (IPCC, 1997). No presente trabalho, será realizada a estimativa dos estoques de C para todos os horizontes e/ou camadas orgânicas descritas.

Para calcular os estoques de C devem ser considerados os teores de COT, a D_s , e a espessura da camada (E). Os estoques de C para cada perfil representativo foram calculados através da soma dos estoques das camadas do solo, conforme mostrado na equação abaixo (Veldkamp, 1994):

$$Est\ C = \sum_{camada = 1}^{camada = n} COT \times D_s \times E \times 10^4$$

onde:

Est C = estoque de C orgânico total ($Mg\ C\ ha^{-1}$)

COT = teor de C orgânico total do horizonte e/ou camada amostrada ($kg\ C\ Mg^{-1}$)

D_s = densidade do solo do horizonte e/ou camada ($Mg\ m^{-3}$)

E = espessura do horizonte e/ou camada (m)

10^4 = fator de conversão ($m^2\ ha^{-1}$)

4.4.4 Espacialização dos atributos e estoque de COT

Foram gerados mapas de distribuição espacial das variáveis aplicadas para as estimativas do estoque de COT. Para isso, foi usado o software de SIG Quantum Gis (QGIS Development Team, 2015). O método de interpolação adotado foi IDW (*Inverse Distance Weighting*, Inverso do Peso da Distância), que possui como características ser local (baseado em pontos), exato (respeita os dados existentes, nunca sendo maior ou menor que o conjunto de dados), e determinístico (não usa elementos da teoria das probabilidades). Nesse trabalho, foi adotado o peso de 0,5; o qual mostrou através de testes com outros pesos, que forneceu resultados com maior semelhança ao conjunto de dados usado.

Conforme pode-se observar na Figura 35, alguns perfis ficam à uma grande distância das áreas expressivas de Organossolos. Para identificar quais os perfis que tiveram influência sobre o resultado final da interpolação, foi aplicado o diagrama de Voronoi com algoritmo *v.voronoi* do GRASS 6.4.3 (GRASS Development Team, 2015).

4.4.5 Análise estatística

Para comparar a representatividade dos grupos de dados medidos e estimados foi aplicado o teste de Wilcoxon, e nos casos em que os dados possuíam normalidade, também aplicou-se o teste *t*. Nos casos em que foram comparados dados medidos com os estimados, foram aplicados os testes acima de forma pareada. Foi utilizado o software R (R Core Team, 2013).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Estimativa do estoque de COT e de suas variáveis

Os resultados das estimativas de densidade do solo (D_s) estão apresentados na Tabela 52. A densidade do solo medida ($D_{s_{med}}$), estimada ($D_{s_{est}}$) e a aplicada ($D_{s_{aplic}}$) apresentaram médias de 0,54; 0,47; e 0,48 $Mg\ m^{-3}$, respectivamente. A $D_{s_{aplic}}$ é o conjunto de valores usados para as estimativas de estoque de COT, que compreendem todos os valores de $D_{s_{med}}$, e para os horizontes que não apresentaram esses dados, complementados pelos valores de $D_{s_{est}}$.

Tabela 52. Estatística descritiva e testes de médias para a densidade do solo medida ($D_{s_{med}}$), estimada ($D_{s_{est}}$), e aplicada ($D_{s_{aplic}}$), para os horizontes e/ou camadas.

Estatística	$D_{s_{med}}$	$D_{s_{est}}$	$D_{s_{aplic}}$
	----- $Mg\ m^{-3}$ -----		
<i>n</i>	76	123	123
Mínimo	0,09	0,18	0,09
Máximo	1,06	1,00	1,06
1º quartil	0,30	0,25	0,23
Mediana	0,51	0,47	0,44
3º quartil	0,76	0,65	0,70
Média	0,54	0,47	0,48
DP	0,26	0,21	0,26
CV (%)	49	46	55
Assimetria	0,06	0,16	0,41
Curtose	-1,15	-1,23	-1,06
Teste de normalidade de Shapiro-Wilk			
W	0,96	0,93	0,93
Valor- <i>p</i>	0,03	<0,001	<0,001
Teste de médias (<i>p</i> <0,05)			
Wilcoxon pareado	0,68	0,68	
Wilcoxon não-pareado		0,92	0,92
Wilcoxon não-pareado	0,11		0,11

n: número de amostras; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); W: valor da estatística de Shapiro-Wilk; Valor-*p*: significância de 0,05.

Os conjuntos de dados de $D_{s_{est}}$ e $D_{s_{aplic}}$ não apresentaram normalidade (Tabela 52). Analisando-se os valores mínimos, máximos, quartis, mediana, e média, pode-se notar que os três conjuntos de dados de D_s podem ser considerados semelhantes (Tabela 52). O teste de Wilcoxon mostra que estas populações podem ser consideradas idênticas à 5% de significância. O valor-*p* do teste pareado entre a $D_{s_{med}}$ e $D_{s_{est}}$ foi 0,68; o teste não-pareado entre $D_{s_{est}}$ e $D_{s_{aplic}}$ foi 0,92; e o não-pareado entre a $D_{s_{med}}$ e $D_{s_{aplic}}$ foi de 0,11. Esses resultados mostram que os valores de D_s estimados pelas FPTs propostas foram efetivas para serem aplicadas na estimação da D_s nos solos orgânicos.

Os resultados dos estoques de COT dos horizontes de solo são mostrados na Tabela 53. Pode-se observar os estoques de COT medidos ($EstC_{med}$), estimados ($EstC_{est}$), e aplicados ($EstC_{aplic}$). Ao se referir aos estoques de COT medidos, estimados, e aplicados, refere-se a forma como a D_s foi obtida para calcular os respectivos estoques de COT. Os valores mínimos, máximos, quartis, medianas, e médias, apresentaram valores próximos para os três conjuntos (Tabela 53).

Tabela 53. Estatística descritiva e testes de médias para estoque de carbono orgânico total medido ($EstC_{med}$), estimado ($EstC_{est}$), e aplicado ($EstC_{aplic}$), para os horizontes e/ou camadas.

Estatística	$EstC_{med}$	$EstC_{est}$	$EstC_{aplic}$
	----- kg m ⁻² -----		
<i>n</i>	76	76	123
Mínimo	3,49	4,06	3,49
Máximo	107,24	82,83	117,98
1º quartil	9,55	12,86	11,27
Mediana	16,10	15,97	16,91
3º quartil	27,20	23,64	31,04
Média	23,37	21,89	25,20
DP	21,65	16,00	21,87
CV (%)	93	73	87
Assimetria	1,94	2,02	1,95
Curtose	3,40	4,00	3,85
Teste de normalidade de Shapiro-Wilk			
W	0,74	0,75	0,77
Valor- <i>p</i>	<0,001	<0,001	<0,001
Teste de médias (<i>p</i> <0,05)			
Wilcoxon pareado	0,19	0,19	
Wilcoxon não-pareado		0,72	0,72
Wilcoxon não-pareado	0,31		0,31

n: número de amostras; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); W: valor da estatística de Shapiro-Wilk; Valor-*p*: significância de 0,05.

A média dos $EstC_{med}$, $EstC_{est}$, e $EstC_{aplic}$ dos horizontes foram de 23,37; 21,89; e 25,20 kg m⁻², respectivamente (Tabela 53). Esta semelhança na distribuição é confirmada pelo teste de Wilcoxon, que mostrou valor-*p* de 0,19 entre $EstC_{med}$ e $EstC_{est}$; 0,72 entre $EstC_{est}$ e $EstC_{aplic}$; e 0,31 entre o $EstC_{med}$ e $EstC_{aplic}$. Considerando-se a significância de 0,05 conclui-se que os três conjuntos de dados são semelhantes, reforçando os bons resultados obtidos através do uso das FPTs.

O estoque de COT dos perfis pode ser observado na Tabela 54. Estes resultados compreendem a soma do estoque de COT de todos os horizontes orgânicos dos perfis. Os valores mínimos, máximos, quartis, mediana, e médias são semelhantes. O teste de Wilcoxon mostra isso com valor-*p* de 0,42 entre a soma de estoque de COT medido ($\Sigma EstC_{med}$) e estimado ($\Sigma EstC_{est}$); de 0,62 entre $\Sigma EstC_{med}$ e aplicado ($\Sigma EstC_{aplic}$); e 0,71 entre $\Sigma EstC_{med}$ e $\Sigma EstC_{aplic}$ (Tabela 54). Esses resultados mostram que os três conjuntos da soma de estoques apresentados na Tabela 54 são semelhantes à significância de 5% (0,05), indicando que as estimativas são representativas.

Tabela 54. Estatística descritiva e testes de médias para a soma do estoque de carbono orgânico total medido ($\Sigma \text{EstC}_{\text{med}}$), estimado ($\Sigma \text{EstC}_{\text{est}}$), e aplicado ($\Sigma \text{EstC}_{\text{aplic}}$), de cada perfil avaliado.

Estatística	$\Sigma \text{EstC}_{\text{med}}$	$\Sigma \text{EstC}_{\text{est}}$	$\Sigma \text{EstC}_{\text{aplic}}$
	----- kg m ⁻² -----		
<i>n</i>	25	25	43
Mínimo	23,40	21,86	23,40
Máximo	187,79	134,77	187,79
1° quartil	41,79	46,29	51,75
Mediana	57,87	57,80	58,61
3° quartil	87,61	75,25	91,02
Média	71,28	66,78	73,51
DP	40,37	29,24	38,35
CV (%)	57	44	52
Assimetria	1,07	0,75	1,17
Curtose	0,67	-0,49	0,84
Teste de normalidade de Shapiro-Wilk			
W	0,90	0,92	0,88
Valor- <i>p</i>	0,02	0,05	<0,001
Valor- <i>p</i> do teste de médias (<i>p</i> <0,05)			
Wilcox <i>par</i>	0,42	0,42	
Wilcox <i>n-par</i>		0,62	0,62
Wilcox <i>n-par</i>	0,71		0,71

n: número de amostras; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); W: valor da estatística de Shapiro-Wilk; Valor-*p*: significância de 0,05; Wilcox: teste de Wilcoxon; *par*: pareado; *n-par*: não pareado.

Os resultados que são mostrados na Tabela 55, Tabela 56, e Tabela 57 se referem à comparações dos conjuntos de dados aplicados, selecionados pelo interpolador IDW, e ainda os valores dos pixels interpolados para toda a área de Organossolos do Estado do RJ. As médias da soma de estoque de COT aplicado ($\Sigma \text{EstC}_{\text{aplic}}$), soma de estoque de COT selecionados pelo interpolador ($\Sigma \text{EstC}_{\text{selec}}$), e soma do estoque de COT inerpolados no mapa ($\Sigma \text{EstC}_{\text{interp}}$) foram de 73,51; 78,19; e 76,19 kg m⁻², respectivamente (Tabela 55).

Tabela 55. Estatística descritiva e testes de médias para a soma dos estoques de carbono de todos os perfis ($\Sigma \text{EstC}_{\text{med}}$), dos perfis selecionados pelo interpolador ($\Sigma \text{EstC}_{\text{selec}}$), e para os valores interpolados no mapa ($\Sigma \text{EstC}_{\text{interp}}$).

Estatística	$\Sigma \text{EstC}_{\text{aplic}}$	$\Sigma \text{EstC}_{\text{selec}}$	$\Sigma \text{EstC}_{\text{interp}}$
	----- kg m ⁻² -----		
<i>n</i>	43	25	439276
Mínimo	23,40	27,84	47,81
Máximo	187,80	173,20	146,20
1° quartil	51,76	54,32	72,14
Mediana	58,61	72,79	76,62
3° quartil	91,02	96,19	79,75
Média	73,51	78,19	76,19
DP	38,35	38,24	6,84
CV (%)	52	49	8
Assimetria	1,17	0,70	-0,06
Curtose	0,84	-0,32	4,39
IC _(0,95) <i>t</i>	61,70; 85,31	62,41; 93,97	76,17; 76,21
IC _(0,95) Wilcox	57,18; 81,86	59,57; 92,65	76,50; 76,53
Teste de normalidade de Shapiro-Wilk			
W	0,88	0,94	0,85
Valor- <i>p</i>	<0,001	0,12	<0,001
Valor- <i>p</i> do teste de médias (<i>p</i> <0,05)			
Wilcox <i>par</i>	0,56	0,56	
Wilcox <i>n-par</i>	0,07		0,07
Wilcox <i>n-par</i>		0,76	0,76
Teste <i>t</i> <i>n-par</i>	0,63	0,63	
Teste <i>t</i> <i>n-par</i>	0,65		0,65
Teste <i>t</i> <i>n-par</i>		0,80	0,80

n: número de amostras; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); IC: intervalo de confiança; W: valor da estatística de Shapiro-Wilk; Valor-*p*: significância de 0,05; Wilcox: teste de Wilcoxon; *par*: pareado; *n-par*: não pareado.

O teste de Wilcoxon mostra que os três conjuntos de dados da Tabela 55 são semelhantes à significância de 5%, ou seja, todos os valores-*p* foram maiores que 0,05. Os valores interpolados no mapa ($\Sigma \text{EstC}_{\text{interp}}$) são semelhantes aos conjuntos de dados aplicados ($\Sigma \text{EstC}_{\text{aplic}}$) e selecionados ($\Sigma \text{EstC}_{\text{selec}}$). Isso mostra que a espacialização dos estoques de COT é semelhante ao conjunto de dados de perfis. Através de testes realizados, verificou-se que isso somente foi possível com o uso de peso 0,5 no interpolador IDW. Normalmente utiliza-se o peso 2 para interpolar com o método IDW, no entanto, com este peso o mapa não apresentou semelhanças com os conjuntos de dados usados. Possivelmente, a adoção do peso de 0,5 foi mais satisfatória devido à irregularidade na distribuição dos perfis de Organossolos da base de dados (Figura 35). Além da espacialização do estoque de COT (Figura 41), esta justificativa também se aplica nas espacializações da Ds (Figura 37), COT (Figura 38), profundidade (Figura 39), e espessura (Figura 40).

A estatística descritiva dos resultados da espessura e profundidade medidos, selecionados, e interpolados no mapa estão na Tabela 56. A espessura compreende a soma das camadas orgânicas do perfil, subtraindo-se as camadas minerais descritas entre as camadas orgânicas. Já a profundidade compreende a medida absoluta de todas as camadas descritas até a última camada orgânica descrita no perfil. Por este motivo, as médias dos valores de espessura tendem a ser menores em relação à profundidade.

Tabela 56. Estatística descritiva e testes de médias para os valores de espessura e profundidade medidas (Esp_{med} ; $Prof_{med}$), selecionadas pelo interpolador (Esp_{selec} ; $Prof_{selec}$), e interpolados no mapa (Esp_{interp} ; $Prof_{interp}$).

Estatística	Espessura (cm)			Profundidade (cm)		
	Esp_{med}	Esp_{selec}	Esp_{interp}	$Prof_{med}$	$Prof_{selec}$	$Prof_{interp}$
n	43	25	439276	43	25	439276
Mínimo	40	40	59	40	40	60
Máximo	170	170	132	206	206	133
1º quartil	60	70	85	62,5	70	89
Mediana	80	80	87	80	80	90
3º quartil	104	120	88	112,5	120	92
Média	86,33	88,04	86,26	89,95	93,84	89,86
DP	35,28	37,02	4,25	38,43	42,23	4,24
CV (%)	41	42	5	43	45	5
Assimetria	0,87	0,73	-0,96	1,09	0,93	-1,17
Curtose	-0,20	-0,63	5,55	0,56	0,07	5,69
IC _(0,95) t	75,5; 97,2	73,7; 103,3	86,2; 86,3	78,1; 101,8	76,4; 111,3	89,8; 89,9
IC _(0,95) Wcox	70,5; 95,0	70,0; 103,5	86,6; 86,7	73,5; 99,0	72,5; 107,5	90,3; 90,4
Teste de normalidade de Shapiro-Wilk						
W	0,91	0,91	0,86	0,90	0,90	0,85
Valor- p	0,002	0,02	<0,001	<0,001	0,02	<0,001
Valor- p do teste de médias ($p < 0,05$)						
Wilcox $_{par}$	0,88	0,88		0,70	0,70	
Wilcox $_{n-par}$	0,05		0,05	0,06		0,06
Wilcox $_{n-par}$		0,08	0,08		0,23	0,23
Teste t_{n-par}	0,85	0,85		0,70	0,70	
Teste t_{n-par}	0,99		0,99	0,99		0,99
Teste t_{n-par}		0,81	0,81		0,64	0,64

n : número de amostras; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); IC: intervalo de confiança; W: valor da estatística de Shapiro-Wilk; Valor- p : significância de 0,05; Wilcox: teste de Wilcoxon; $_{par}$: pareado; $_{n-par}$: não pareado.

Os conjuntos de dados medidos e selecionados, tanto para espessura quanto para profundidade, foram muito semelhantes. Para espessura, as médias da espessura medida (Esp_{med}) e selecionados (Esp_{selec}) foram 86,3 e 88,0 cm. E para profundidade, as médias medidas ($Prof_{med}$) e selecionados ($Prof_{selec}$) foram 89,9 e 93,8 cm (Tabela 56). Os conjuntos de dados medidos e selecionados são semelhantes pelo teste de Wilcoxon, tanto para espessura como para profundidade.

O valor de espessura interpolado no mapa (Esp_{interp}) apresentou média de 86,2 cm. Este valor pode ser considerado semelhante às médias da espessura medida (86,3 cm) e selecionadas (88,0 cm) à 5% pelo teste de Wilcoxon (Tabela 56). E a profundidade interpolada no mapa ($Prof_{interp}$) apresentou média de 89,9 cm, sendo semelhante às médias da profundidade medida (89,9 cm) e selecionada (93,8 cm) à 5% pelo teste de Wilcoxon (Tabela 56).

Os resultados das médias dos valores de COT e Ds dos horizontes de cada perfil estão apresentados na Tabela 57. As médias de COT medidos (μCOT_{med}) e selecionados (μCOT_{selec}) foram 228,0 e 238,7 Mg m⁻³, respectivamente, sendo consideradas semelhantes à 5% de significância pelo teste de Wilcoxon. Comparando-se os valores interpolados no mapa (μCOT_{interp}) com os medidos e selecionados, pode-se concluir que são semelhantes à 5% de

significância pelo teste de Wilcoxon, com valor-p de 0,05 e 0,14, respectivamente (Tabela 57).

Tabela 57. Estatística descritiva e testes de médias para COT e Ds médios de todos os perfis ($\mu\text{COT}_{\text{med}}$; $\mu\text{Ds}_{\text{med}}$), dos perfis selecionados pelo interpolador ($\mu\text{COT}_{\text{selec}}$; $\mu\text{Ds}_{\text{selec}}$), e dos valores interpolados no mapa ($\mu\text{COT}_{\text{interp}}$; $\mu\text{Ds}_{\text{interp}}$).

Estatística	COT (g kg^{-1})			Ds (Mg m^{-3})		
	$\mu\text{COT}_{\text{med}}$	$\mu\text{COT}_{\text{selec}}$	$\mu\text{COT}_{\text{interp}}$	$\mu\text{Ds}_{\text{med}}$	$\mu\text{Ds}_{\text{selec}}$	$\mu\text{Ds}_{\text{interp}}$
<i>n</i>	43	25	439276	43	25	439276
Mínimo	83,1	83,1	161,3	0,12	0,19	0,30
Máximo	418,7	418,7	333,4	1,04	0,93	0,68
1º quartil	133,4	165,0	219,3	0,27	0,26	0,46
Mediana	197,5	197,5	225,1	0,48	0,48	0,50
3º quartil	323,5	324,5	233,8	0,66	0,67	0,52
Média	228,0	238,7	228,4	0,48	0,47	0,49
DP	107,73	106,56	16,71	0,23	0,22	0,04
CV (%)	47	45	7	48	48	9
Assimetria	0,48	0,41	1,22	0,30	0,33	-0,65
Curtose	-1,26	-1,33	4,41	-0,86	-1,19	3,04
IC _(0,95) <i>t</i>	194,8; 261,1	194,7; 282,7	228,3; 228,5	0,41; 0,55	0,37; 0,56	0,49; 0,49
IC _(0,95) Wcox	180,1; 262,3	180,6; 282,5	225,9; 226,0	0,40; 0,55	0,36; 0,56	0,49; 0,49
Teste de normalidade de Shapiro-Wilk						
W	0,89	0,90	0,79	0,96	0,93	0,78
Valor- <i>p</i>	<0,001	0,02	<0,001	0,11	0,08	<0,001
Valor- <i>p</i> do teste de médias (<i>p</i> <0,05)						
Wilcox <i>par</i>	0,55	0,55		0,91	0,91	
Wilcox <i>n-par</i>	0,05		0,05	0,49		0,49
Wilcox <i>n-par</i>		0,14	0,14		0,34	0,34
Teste <i>t</i> <i>n-par</i>	0,69	0,69		0,81	0,81	
Teste <i>t</i> <i>n-par</i>	0,98		0,98	0,77		0,77
Teste <i>t</i> <i>n-par</i>		0,63	0,63		0,59	0,59

n: número de amostras; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); IC: intervalo de confiança; W: valor da estatística de Shapiro-Wilk; Valor-*p*: significância de 0,05; Wilcox: teste de Wilcoxon; *par*: pareado; *n-par*: não pareado.

As médias da Ds medidas ($\mu\text{Ds}_{\text{med}}$), selecionadas ($\mu\text{Ds}_{\text{selec}}$) e interpoladas no mapa ($\mu\text{Ds}_{\text{interp}}$) foram 0,48; 0,47; e 0,49 respectivamente (Tabela 57). Estes conjuntos de dados são semelhantes à 5% de significância pelo teste de Wilcoxon.

Como mostrado pelos resultados anteriores, verifica-se que a espacialização da Ds, COT, espessura, profundidade, e estoque de COT foi satisfatória. Para todas essas variáveis, os conjuntos de dados usados para interpolação se mostraram semelhantes estatisticamente aos resultados interpolados no mapa. Os mapas apresentados adiante mostram as variações espaciais dos diferentes atributos no Estado do Rio de Janeiro.

4.5.2 Espacialização das variáveis e do estoque de COT

Os resultados da espacialização serão apresentados fazendo-se referências às localidades localizadas nas regiões de ocorrência dos Organossolos, que estão mostradas na Figura 35. A Ds teve os menores valores na região de Macaé (0,38 a 0,42 Mg m^{-3}), e os maiores na região de Quissamã e Campos (0,51 a 0,58 Mg m^{-3}) (Figura 37). Os Organossolos

de Santa Cruz (bairro) e do município do Rio de Janeiro apresentaram valores intermediários (0,47 a 0,50 Mg m⁻³).

O COT mostrou destaque com os maiores valores na região de Macaé, com valores entre 260 e 275 g kg⁻¹; e os menores na região Campos com valores entre 203 e 217 g kg⁻¹ (Figura 38). As regiões dos municípios do Rio de Janeiro e saquarema apresentaram valores entre 217 e 231 g kg⁻¹.

Os mapas de profundidade (Figura 39) e espessura (Figura 40) são altamente correlacionados positivamente. Os Organossolos de Macaé possuem os menores de valores de profundidade (entre 74 e 82 cm), a região de Saquarema valores intermediários (82 a 87 cm), e as demais regiões mostram os maiores valores (87 a 95 cm).

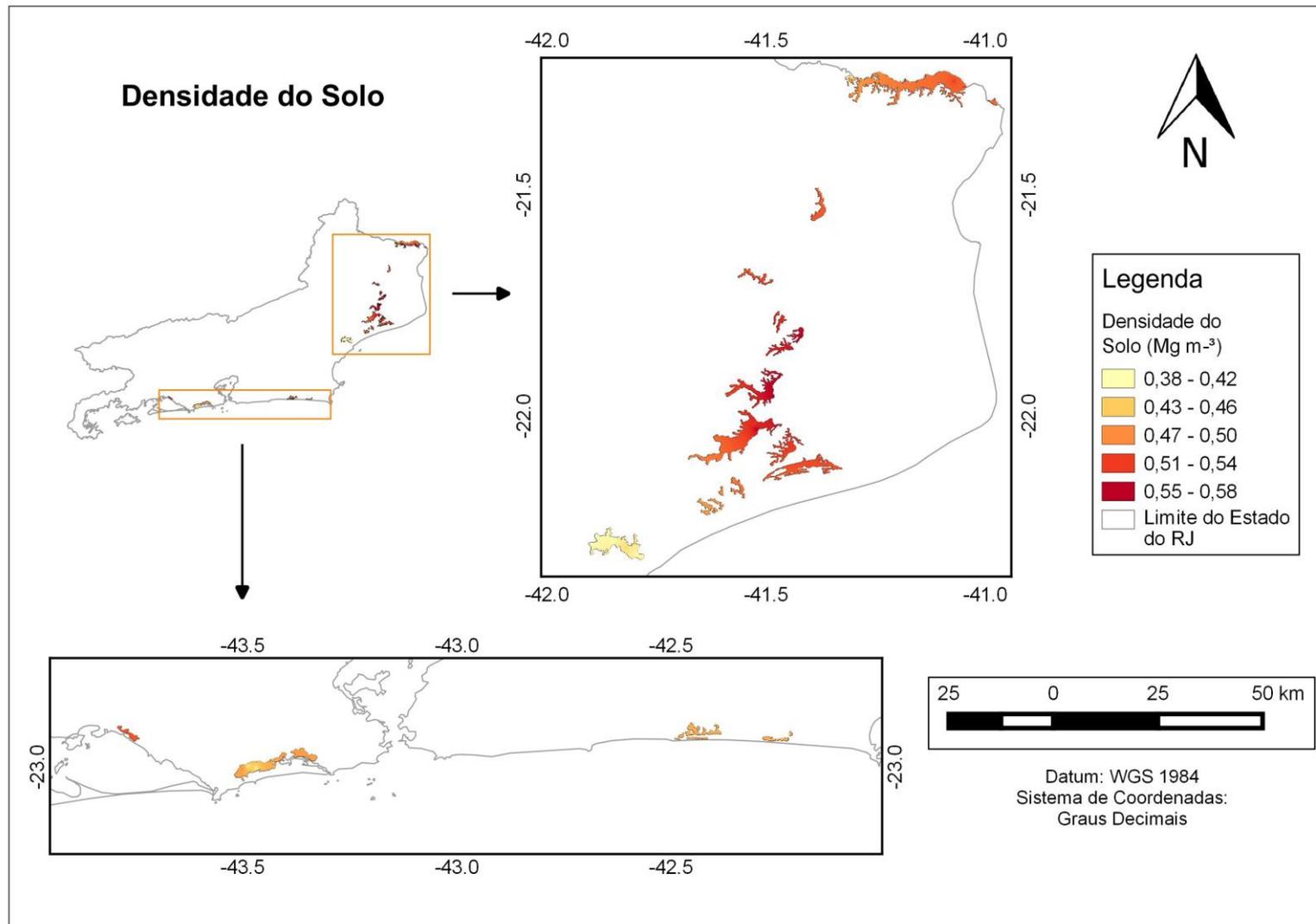


Figura 37. Mapa da densidade do solo dos perfis de Organossolos do Estado do Rio de Janeiro.

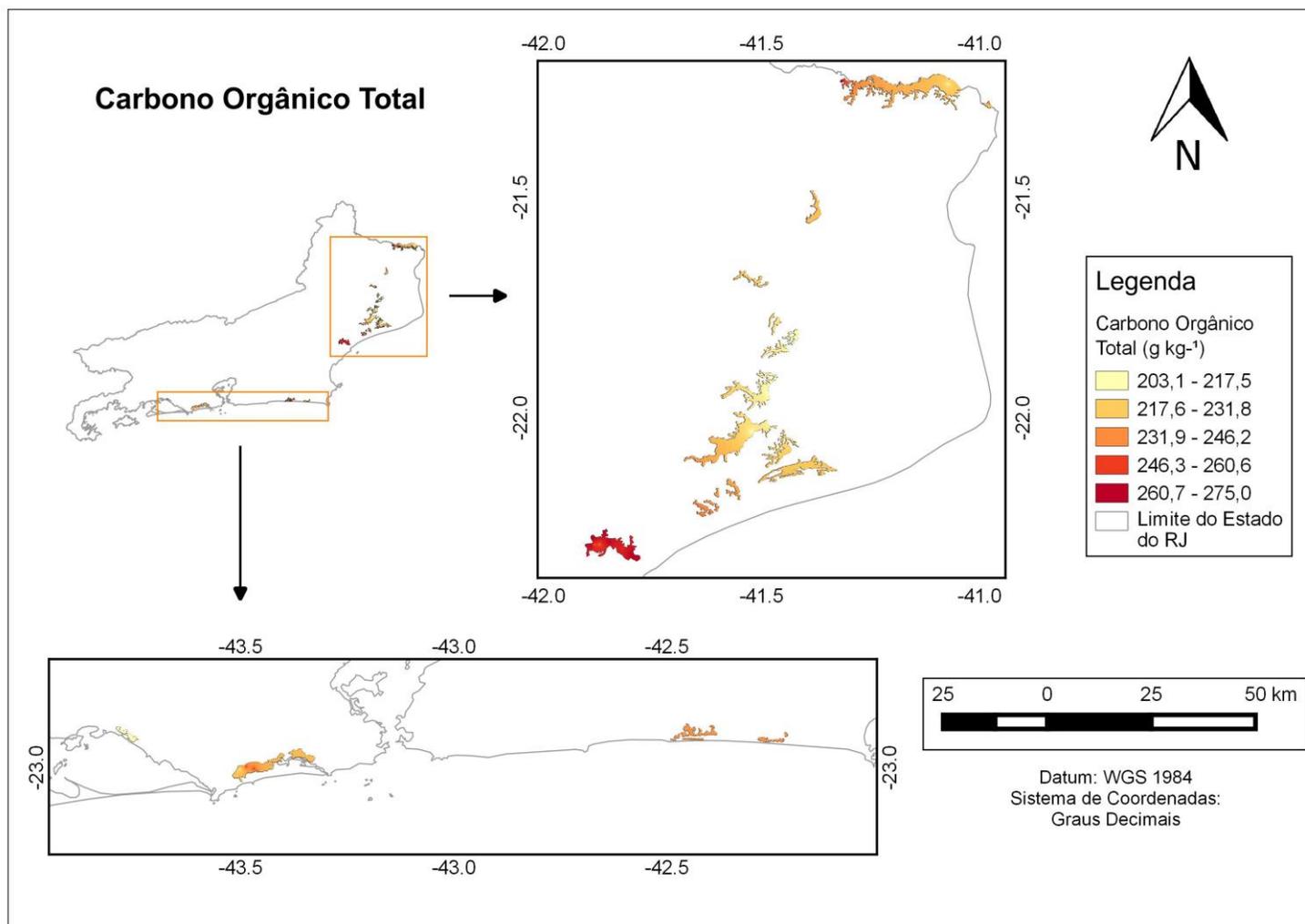


Figura 38. Mapa de carbono orgânico total dos perfis de Organossolos do Estado do Rio de Janeiro.

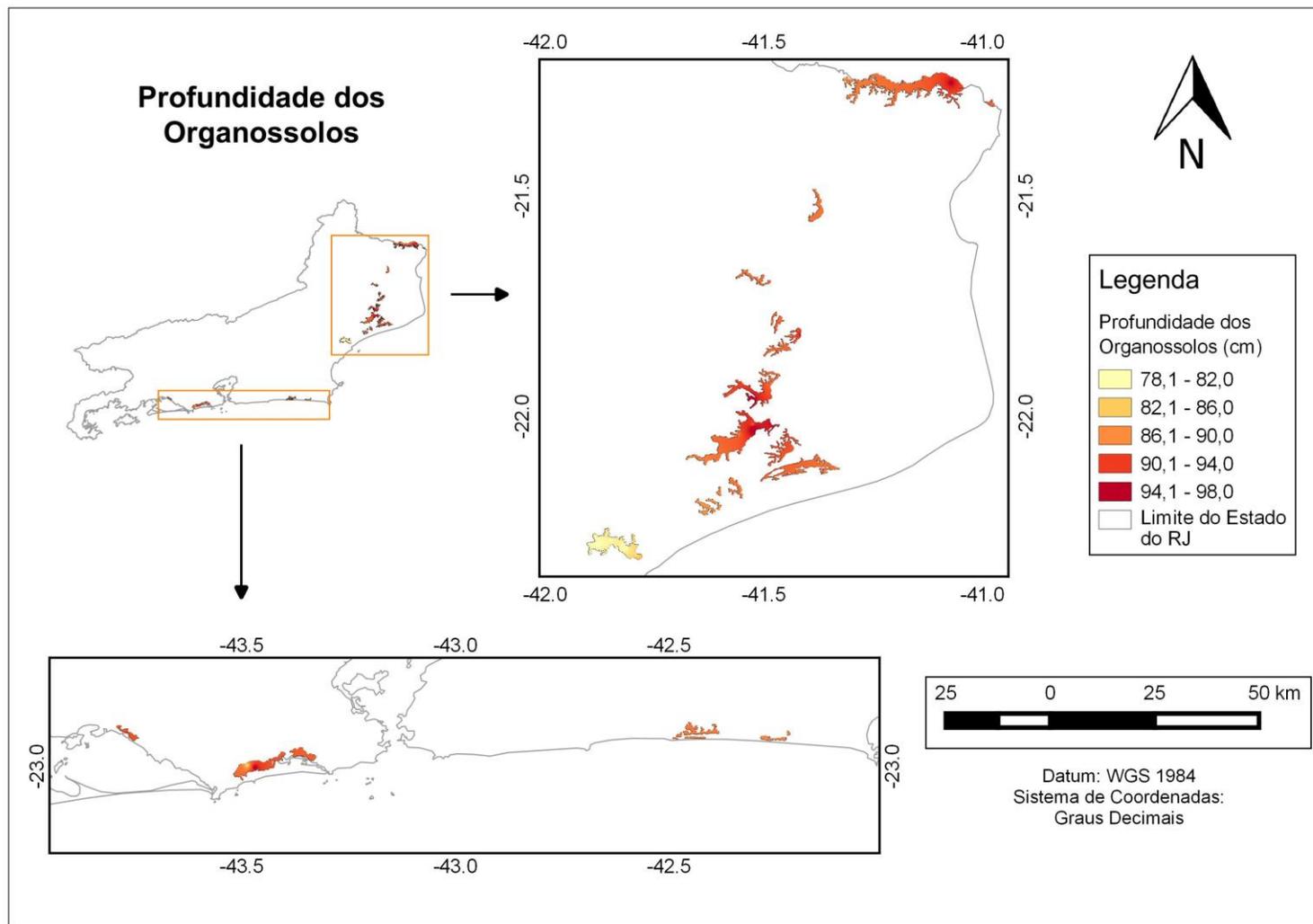


Figura 39. Mapa de profundidade dos perfis de Organossolos do Estado do Rio de Janeiro.

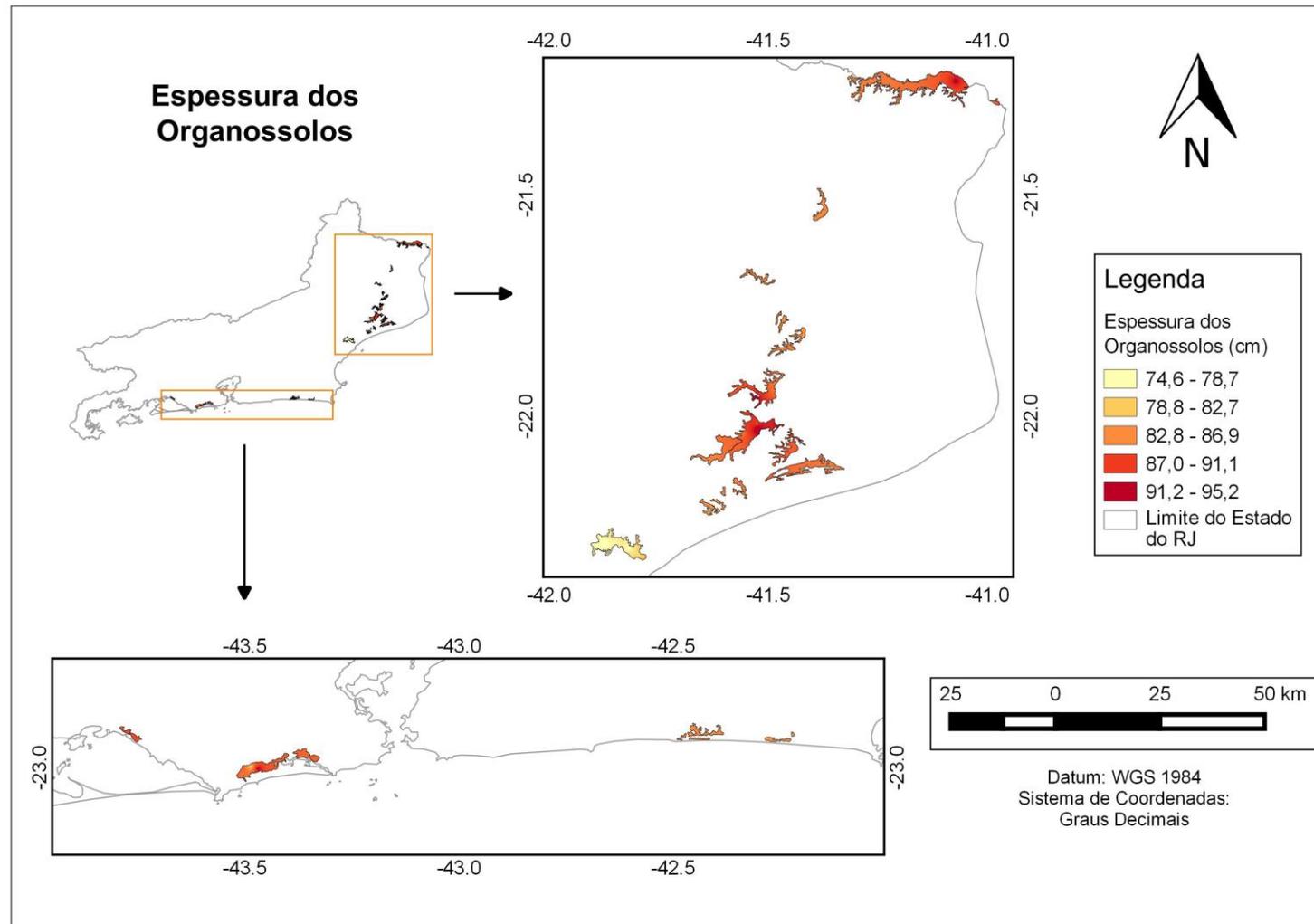


Figura 40. Mapa da espessura dos perfis de Organossolos do Estado do Rio de Janeiro.

É importante destacar que os resultados do estoque de COT nas diferentes regiões, está relacionado com a combinação das diferentes variáveis usadas para as estimativas. A variável profundidade mostra a seção de descrição dos perfis, porém, os perfis podem apresentar maiores profundidades que o descrito. Para deixar mais claro, pode-se mencionar o caso da região de Macaé. Nesta região são observados os menores estoques de COT (Figura 41), porém os maiores teores de COT no solo (Figura 38). No entanto, os valores de Ds (Figura 37) e profundidade (Figura 39) são os menores.

A área do Estado do Rio de Janeiro compreende 43.777,954 km² (IBGE, 2014) e a área de Organossolos é de 369,7 km² (Carvalho Filho et al., 2003), fazendo com que a área de Organossolos seja de aproximadamente 0,84% da área do Estado do RJ.

A média de estoque de COT para as áreas de Organossolos foi de 73,51 kg m⁻² (Tabela 55) para uma espessura média de 86,3 cm de material orgânico (Tabela 56). O COT médio foi de 228,0 g kg⁻¹ (Tabela 52), e a Ds média de 0,48 g cm⁻³ (Tabela 52). Aplicando-se a regressão da Figura 22 (Capítulo II) para estimar a perda de COT, usando-se como variável preditora o próprio teor de COT médio (228,0 g kg⁻¹), obtêm-se uma perda estimada de 26,25 g kg⁻¹ de solo. Para a área de 1 m², profundidade de 86,3 cm, e Ds de 0,48 g cm⁻³, têm-se 414,24 kg de solo/m². Assim, como perde-se 26,25 g kg⁻¹ de solo, resulta numa perda de 10,87 kg m⁻². O perfil SC apresentou perda de 3,53 g kg⁻¹ de solo (Tabela 27). Obtendo-se as estimativas com as perdas do perfil SC, chega-se ao resultado de 1,46 kg m⁻² (414,24 kg de solo/m² x 3,53 g kg⁻¹ de solo). O perfil MG apresentou perdas de 17,28 g kg⁻¹ de solo (Tabela 29). As estimativas resultam em 7,16 kg m⁻² (414,24 kg de solo/m² x 17,28 g kg⁻¹ de solo)

O estoque de COT foi estimado em 735,1 Mg ha para o Estado do Rio de Janeiro. Considerando-se que a área total de Organossolos é de 36.972,75 ha (369,727 km²), estima-se o estoque total aproximado de 27.178.631 Mg de COT para os Organossolos de todo o Estado do RJ (Tabela 58).

Tabela 58. Estoque estimado para a área total de Organossolos do Estado do Rio de Janeiro.

Estoque (kg m ⁻²)	Estoque (Mg ha ⁻¹)	Estoque total (Mg)
73,51	735,1	27.178.631,8

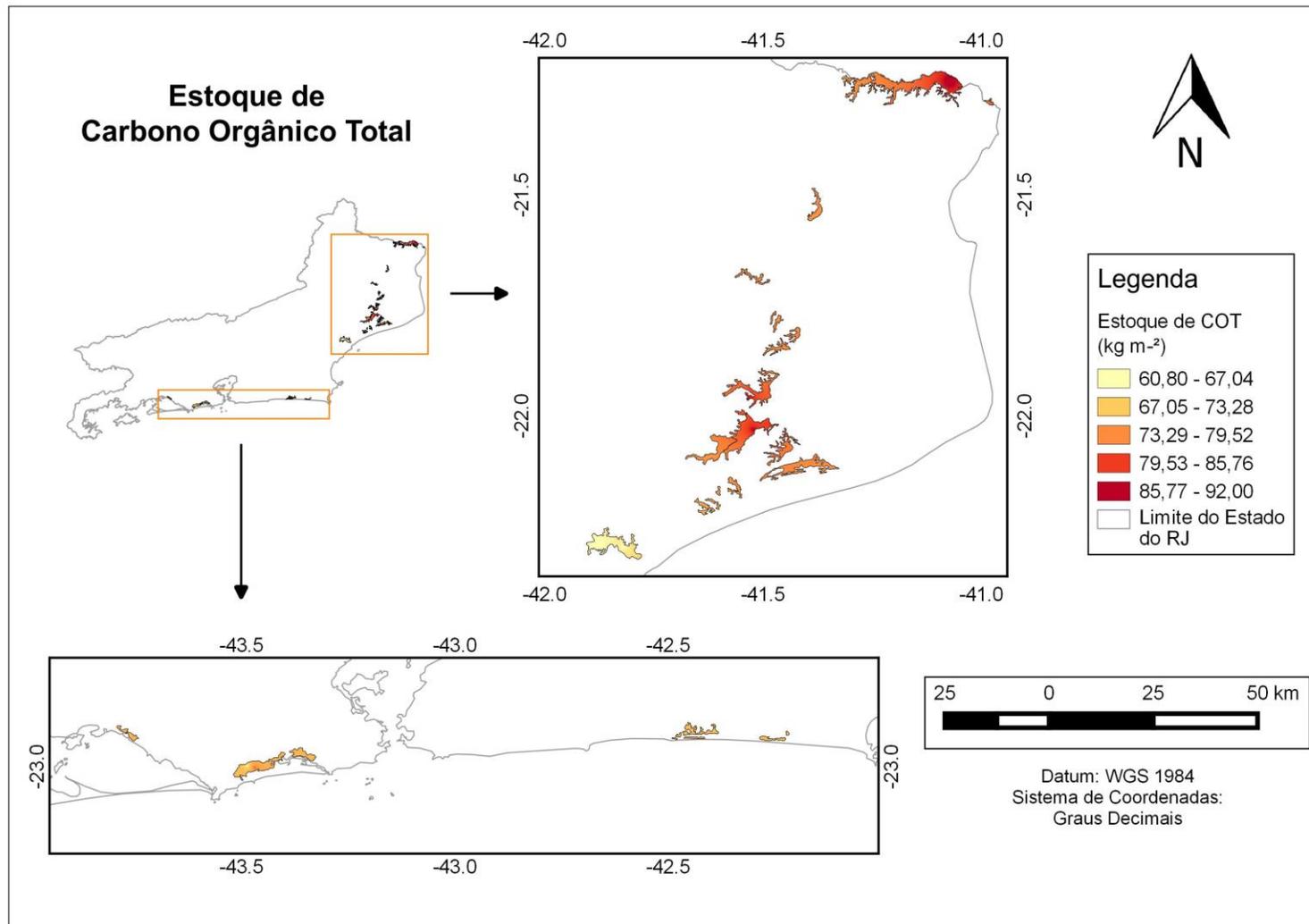


Figura 41. Mapa da distribuição do estoque de carbono orgânico total das áreas de Organossolos do Estado do Rio de Janeiro.

4.5.3 Perdas de COT

Os resultados de perdas de COT provêm do experimento de subsidência, conforme mostrado no capítulo II. Foram aplicadas três formas de estimativa, e os resultados variaram consideravelmente para os dois perfis, e também para a regressão (Tabela 59). O método pela regressão mostrou os maiores resultados de perdas ($10,87 \text{ kg m}^{-2}$), o perfil SC teve a menor perda ($1,46 \text{ kg m}^{-2}$), e o perfil MG com valores intermediários ($7,16 \text{ kg m}^{-2}$). A percentagem de perda/ano (% perda/ano) mostra o quanto do estoque total do Estado do RJ (Tabela 58) estaria sendo perdido pelas diferentes formas de estimativas. Esses valores foram de 14,8; 2,0; e 9,7 % usando-se a regressão, perfil SC, e o perfil MG, respectivamente (Tabela 59).

Tabela 59. Perdas estimadas para o Estado do Rio de Janeiro baseando-se nos resultados da regressão, no perfil SC, e no perfil MG.

	Perda COT (g kg^{-1} de solo)	Perda COT m^{-2} (kg m^{-2})	Perda (Mg ha^{-1})	Perda da área total (Mg)	% perda ano ⁻¹
Regressão	26,25	10,87	108,74	4.020.337	14,8
Perfil SC	3,53	1,46	14,62	540.640	2,0
Perfil MG	17,28	7,16	71,58	2.646.531	9,7

Acredita-se que os valores de perdas obtidas com o uso da regressão são de solos, com drenagem recente. Em seguida, as taxas tendem a se assemelhar com as perdas do perfil MG. E as taxas do perfil de SC, são as mais representativas para sistemas mais estabilizados.

O perfil MG foi coletado em uma área de preservação, assim, ao ser submetido às condições de solo descoberto e temperaturas mais elevadas apresentou elevadas perdas. No entanto, tende a reduzi-las ao longo do tempo. Esse é o caso do perfil SC, que possui um histórico de uso agrícola de algumas décadas, assim, as suas perdas atuais tendem a ser baixas e com pouco decréscimo, ou seja, mais estáveis. Porém, nos primeiros anos de uso, o perfil de SC pode ter mostrado as taxas de perdas do perfil MG.

4.6 CONCLUSÕES

Os perfis de Organossolos do Estado do RJ apresentaram valores médios de COT de 228 g kg^{-1} , Ds de $0,48 \text{ Mg m}^{-3}$, espessura de 86 cm, profundidade de 90 cm, e estoque de COT de $73,51 \text{ kg m}^{-2}$ ($735,1 \text{ Mg ha}^{-1}$).

As avaliações da espacialização (mapas) das variáveis COT, Ds, espessura, profundidade, e estoque de COT, mostram que as interpolações foram representativas para o conjunto de dados.

As estimativas dos Organossolos do Estado do RJ apontam um estoque de COT de aproximadamente de $27.178.631 \text{ Mg}$ (~27,2 milhões de toneladas) para a espessura média de 86 cm.

As perdas de COT com a drenagem e a manutenção do Organossolo descoberto podem levar à perdas potenciais de $108,7$; $71,6$; e $14,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, para solos com altos teores de COT e drenagem recente, solos com teores medianos de COT e drenagem intermediária, e solos com menores teores de COT e drenagem antiga, respectivamente.

4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO P. R.; EVANGELISTA, B.; MARTINELLI, L. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. *Biogeosciences*, v.10, p.6141-6160, 2013.
- BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, v.47, p.151–163, 1996.
- BRUCE, J. P., FROME, M., HAITES, E., JANZEN, H., LAL, R.; PAUSTIAN, K., Carbon sequestration in soils. *Journal Soil Water Conservation*, v.54, p.382–389, 1999.
- CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F.; WITTERN, K. P.; LEMOS, A. L.; SANTOS, R. D.; CALDERANO FILHO, B.; CALDERANO, S. B.; OLIVEIRA, R. P.; AGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S. DE; CHAFFIN, C. E. Mapa de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 1 Mapa, Color. Escala 1:250.000.
- CIPRIANO-SILVA, R., VALLADARES, G. S., PEREIRA, M. G., ANJOS, L. H. C. Caracterização de Organossolos em ambientes de várzea do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p. 26-38, 2014.
- GRASS Development Team. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 6.4.5. Open Source Geospatial Foundation, 2015. <http://grass.osgeo.org>
- IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. HOUGHTON, J.T.; MEIRA FILHO, L.G.; LIM, B.; TRE'ANTON, K.; MAMATY, I.; BONDUKI, Y.; GRIGGS, D. J.; CALLANDER, B. A. (Eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change, Meteorological Office: Bracknell, UK, 1997.
- MENDONÇA SANTOS, M. L.; SILVA, E. F.; LUMBRERAS, J. F.; OLIVEIRA, R. P.. Quantificação e Distribuição Espacial do Carbono Orgânico na Paisagem e em Perfis de Solos do Município do Rio de Janeiro. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Solos (Online)*, v.39, p.1-21, 2003.
- PAGE, S. E.; RIELEY, J. O.; BANKS, C. J. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology*, v.17, p.798–818, 2011.
- QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. 2.8.2 Wien (version). Open Source Geospatial Foundation Project, 2015.
- R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (URL <http://www.R-project.org/>), 2013.
- SCHEER, M. B.; CURCIO, G.R.; RODERJAN, C. V. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1113-1126, 2011.
- SOARES, P. F. C.; ZUCHELLO, F.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA, A. P. P. Soil attributes and C and N variation in histosols under different agricultural usages in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Bioscience Journal (Online)*, v.31, p.1349-1362, 2015.

VALLADARES, G. S.; GOMES E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G.; BENITES, V. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.285-296, 2008.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, p.175-180, 1994.

WEISSERT, L. F.; DISNEY, M. Carbon storage in peatlands: A case study on Isle of Man. *Geoderma*, v.204, p.111-119, 2013.

WELLOCK, M.; REIDY, B.; LAPERLE, C. M.; BOLGER, T.; KIELY, G. Soil organic carbon stocks of afforested peatlands in Ireland. *Forestry*, v.84, p.441-451, 2011.

YIMER, F.; LEDIN, S.; ABDLKADIR, A. Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by topographic aspect and vegetation in the Bale Mountains, Ethiopia. *Geoderma*, v.135, p.335-344, 2006.

5 CONCLUSÕES GERAIS

As comparações das funções de pedotransferência da literatura com as geradas no presente trabalho, mostraram que as geradas são melhor aplicáveis para horizontes e/ou camadas de solo com altos teores de COT do Brasil.

O experimento de subsidência permitiu o estudo do comportamento de alguns atributos do solo em função da drenagem e do tempo de avaliação. Os resultados das substâncias húmicas mostraram a importância deste estudo para avaliar o comportamento das frações do carbono sob diferentes condições ambientais.

A espacialização do estoque de COT dos Organossolos do Estado do RJ e de suas variáveis foi representativa do conjunto de dados. Foi possível realizar a estimativa quantitativa de estoque de COT. Os resultados de perdas de COT do experimento de subsidência forneceram subsídios para realizar as estimativas de potenciais perdas de COT em Organossolos nos ambientes com fortes perturbações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obtenção de dados por meio de funções de pedotransferência possuem algumas limitações, no entanto, são uma ótima opção em muitas situações, principalmente quando há pouca informação disponível. A qualidade dos dados tende a ser melhor quando obtida através de medições diretas. Ao longo dos anos, as bases de dados obtidas pelas medições diretas tende a aumentar, melhorando assim, as bases para obtenção de conclusões. No entanto, na prática sabe-se que isso muitas vezes pode ser difícil, então, creio na idéia de se trabalhar com os dados, técnicas e ferramentas disponíveis no momento. Os custos para a realização de determinados casos de estudos poderiam ser altos, no entanto, desta forma, podem se tornar viáveis.

A menção do parágrafo anterior, é feita devido à este trabalho ter como um dos seus alicerces, algumas dessas técnicas para viabilizar alguns estudos que poderiam ser inviáveis para a fase econômica e social em que se encontramos no nosso país.

A realização do experimento de subsidência forneceu resultados mais diretos quando comparado às estimativas de densidade do solo feitas pelas funções de pedotransferência. Este experimento foi considerado de fundamental importância para os propósitos finais deste trabalho, que foi realizar uma estimativa de estoque e potenciais perdas de COT para o Estado do RJ. Além de contribuir para as estimativas de perdas de COT, este experimento forneceu suporte para a compreensão de alguns aspectos relacionados à dinâmica das frações húmicas. O estudo destas frações contribuem para a compreensão da dinâmica do COT durante o processo de avaliação do experimento, e de como estas perdas estão ocorrendo.

As estimativas de estoque e perdas de COT para o estoque do Estado do RJ compreende o fechamento do trabalho. As funções de pedotransferência para a estimativa de Ds e os resultados de potenciais perdas de COT apresentados pelo experimento de subsidência forneceram o subsídio necessário para a realização da etapa final deste trabalho. Por isso realizou-se a menção em defesa das funções de pedotransferência no início destas considerações, e do uso de ferramentas que auxiliem na ampliação de resultados pontuais para seções (ou áreas) mais amplas, como no caso, para o Estado do RJ.

O conhecimento atual sobre o impacto do uso das áreas de Organossolos mostra que as perdas e danos podem ser consideráveis, no entanto, a quantificação destas perdas é difícil. Este foi o propósito final deste trabalho, e creio que entre outros, esse objetivo foi atingido.

7 ANEXOS

Descrição dos perfis dos Organossolos estudados

PERFIL: SC

DATA: 12/06/2014

CLASSIFICAÇÃO: Organossolo Tiomórfico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Rodovia Rio-Santos, BR 101, entrada próxima ao canal do São Francisco, antiga propriedade do agricultor Shoji Tiba (*in memorian*), no bairro de Santa Cruz, município do Rio de Janeiro, RJ. 7469158 e 632289 UTM, Datum horizontal: WGS 84 Fuso 23K.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Descrito e coletado em trincheira aberta com aproximadamente 1,5 x 1,5 x 1,5m em terreno plano, sob cultivo de côco.

ALTITUDE: 10 m

LITOLOGIA: Sedimentos flúvio-marinheiros

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sedimentos Quaternários

MATERIAL ORIGINÁRIO: depósitos organogênicos sobrepostos

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Plano (entre 0 e 1%)

RELEVO REGIONAL: Plano e suave ondulado

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Muito mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical de várzea e floresta tropical subperenifólia

USO ATUAL: Cultivo de côco (*Cocos nucifera*)

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler, Paula Fernanda Chaves Soares, Elias Mendes Costa, Anderson Ribeiro Diniz, e Gilsonley Lopes dos Santos.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Hp 0 - 24 cm; cinzento muito escuro (N 3/, úmido) e cinzento-escuro (N 4/, seco); turfosa; moderada a forte, pequena e média granular; dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- H1 24 - 42 cm; cinzento muito escuro (N 3/, seco e úmido); turfosa; blocos pequena e muito pequena, moderada; e granular pequena e média, moderada a forte; dura; muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- H2 42 - 59 cm; preto (N 2/, úmido) e cinzento muito escuro (N 3/, seco); turfosa; maciça; dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.
- Hj 59 - 91 cm; preto (10YR 2/1, úmido); turfosa; maciça; dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e abrupta.
- Cg 91 - 115 cm+; cinzento-escuro (N 4/, úmido); mosqueado pouco, pequeno e distinto, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6, úmido); argila; maciça; muito dura, muito firme, muito plástico e pegajoso.

RAÍZES- Comuns finas e médias em Hp e H1, poucas finas e médias em H2 e Hj.

OBSERVAÇÕES- Lençol freático a 61 cm de profundidade. Aproximadamente 50% de fibras (material orgânico em decomposição) em Hj. Cg com aproximadamente 10% de fragmentos orgânicos pequenos ($\pm 0,5$ cm) e finos (± 1 mm).



Figura 42. Perfil SC no bairro Santa Cruz, município de Rio de Janeiro – RJ na imagem acima, e sua área de coleta em um cultivo de côco na imagem abaixo (Fotos: Paula Fernanda Chaves Soares).

Tabela 60. Análises físicas e químicas do perfil SC.

Horizonte		Frações da amostra total (g kg ⁻¹)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg ⁻¹)				AN g kg ⁻¹	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m ⁻³		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
Hp	0-24			100								0,72		
H1	24-42			100								0,51		
H2	42-59			100								0,39		
Hj	59-91			100								0,28		
Cg	91-115+			100								0,44		
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V (sat. por base) %	$\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ m%	P ass mg kg ⁻¹	
	Água	KCL	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	Valor T (soma)				
Hp	5,00	3,93	0,1	3,2	2,80	1,86	8,0	1,03	30,31	38,33	21	3	155	
H1	3,83	3,27	0,1	0,5	0,95	1,32	2,8	10,02	57,10	59,93	5	17	2	
H2	3,41	3,00	0,1	0,3	0,78	1,65	2,9	12,83	70,66	73,52	4	17	1	
Hj	2,48	2,34	0,1	0,7	1,38	3,52	5,7	25,85	82,10	87,80	6	29	5	
Cg	2,67	2,35	0,1	2,9	0,85	7,27	11,1	11,78	34,31	45,43	24	26	9	
Sím	CO g kg ⁻¹	Raio X por Fluorescência										$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (kr)	
		-----%-----												mg kg ⁻¹
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Mn	P ₂ O ₅	Zr			
Hp	113,7													
H1	128,8													
H2	197,7													
Hj	195,4													
Cg	64,1													

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; CO= Carbono orgânico.

PERFIL: MG

DATA: 13/06/2014

CLASSIFICAÇÃO: Organossolo Tiomórfico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Centro de Ensino Integrado Agroecológico Barão de Langsdorff (Colégio Estadual Agrícola de Magé), Estrada da Conceição, 4.601, Fazenda Conceição do Suruí, Distrito Agrícola de Magé, município de Magé, RJ. 7497861 e 694090 UTM, Datum horizontal: WGS 84 Fuso 23K.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Descrito e coletado em trincheira aberta com aproximadamente 1,5 x 1,5 x 1,5m em terreno plano, sob vegetação nativa.

ALTITUDE: 3 m

LITOLOGIA: Sedimentos flúvio-marinhos

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Sedimentos Quaternários

MATERIAL ORIGINÁRIO: depósitos organogênicos sobrepostos

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso

ROCHOSIDADE: Não rochoso

RELEVO LOCAL: Plano (entre 0 e 1%)

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Muito mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical de várzea e floresta tropical subperenifólia

USO ATUAL: Preservação

DESCRITO E COLETADO POR: Sidinei Julio Beutler, Paula Fernanda Chaves Soares, Elias Mendes Costa, Anderson Ribeiro Diniz, e Gilsonley Lopes dos Santos.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- H1 0 - 15 cm; cinzento-escuro (10YR 4/1, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); turfosa; moderada a forte, pequena e média, granular; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- H2 15 - 27 cm; cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido) e cinzento-escuro (10YR 4/1, seco); turfosa; moderada e forte, média e pequena, granular; dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- H3 27 - 41 cm; preto (10YR 2/1) e cinzento-escuro (10YR 4/1, seco); turfosa; maciça; dura, firme, ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
- H4 41 - 65 cm; preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento muito escuro (10YR 3/1, seco); turfosa; maciça; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
- H5 65 - 115 cm+; preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento-escuro (10YR 4/1, seco); turfosa; maciça; muito dura, firme, plástica e pegajosa.

RAÍZES- Comuns finas e médias, e poucas grossas em H1 e H2; comuns finas e médias em H3; raras finas em H4 e H5.

OBSERVAÇÕES- Presença de minhocas em H1, H2, e H3. Lençol freático a 45 cm de profundidade. H2 com canais (1 a 2 mm de diâmetro) de raízes decompostas, observando-se a presença de oxidação. H3 com aproximadamente 20% de fragmentos de madeira pré-decompostos de tamanho até 4 cm. H4 com aproximadamente 10% de fragmentos de madeira pré-decompostos de tamanho até 6 cm. H3 com aproximadamente 20% de fragmentos de madeira pré-decompostos de tamanho até 10 cm.



Figura 43. Perfil MG em Magé – RJ na imagem acima, e sua área de coleta sob vegetação nativa na imagem abaixo (Fotos: Paula Fernanda Chaves Soares).

Tabela 61. Análises físicas e químicas do perfil MG.

Horizonte		Frações da amostra total (g kg ⁻¹)			Granulometria da terra fina - dispersão com NaOH (g kg ⁻¹)				AN g kg ⁻¹	GF %	Silte/Argila	Densidade Mg m ⁻³		VTP %
Sím	Prof	Cal	Cas	TF	AG	AF	Silte	Argila				Ds	Dp	
H1	0-15			100								0,54		
H2	15-27			100								0,35		
H3	27-41			100								0,24		
H4	41-65			100								0,17		
H5	65-115			100								0,15		
Sím	pH (1:2,5)		Complexo sortivo cmol _c kg ⁻¹								Valor V (sat. por base) %	$\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$ m%	P Ass mg kg ⁻¹	
	Água	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	Valor T (soma)				
H1	3,79	3,63	0,1	0,0	1,16	1,32	2,6	4,09	28,53	31,15	8	13	4	
H2	3,89	3,75	0,1	0,0	0,92	1,15	2,2	6,00	42,33	44,49	5	13	2	
H3	3,87	3,57	0,1	0,1	1,21	1,99	3,5	6,43	51,17	54,62	6	12	4	
H4	3,95	3,44	0,1	0,4	0,63	0,75	1,9	5,52	40,63	42,53	4	13	19	
H5	3,10	3,08	0,1	1,3	0,92	2,19	4,5	8,19	42,18	46,66	10	18	3	
Sím	CO g kg ⁻¹	Raio X por Fluorescência										$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (kr)	
		-----%-----												mg kg ⁻¹
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Mn	P ₂ O ₅	Zr			
H1	125,4													
H2	227,4													
H3	262,0													
H4	228,0													
H5	231,2													

Sím= símbolo dos horizontes; Prof= profundidade; Frações granulométricas: Cal=Calhau (> 20mm), Cas= Cascalho (20-2 mm), TF= Terra Fina (< 2mm), AG= Areia grossa (2-0,20 mm), AF =Areia fina (0,20-0,05 mm), Silte= 0,05-0,002 mm, Argila= < 2 µm; AN= Argila naturalmente dispersa em água; GF= Grau de Floculação; Ds= Densidade do Solo; Dp= Densidade da Partícula, VTP= Porosidade Total; SB= soma de bases trocáveis; T = CTC; V= índice por saturação de bases; m= índice de saturação por alumínio; VH=valor H; P.Ass= Fósforo Assimilável; CO= Carbono orgânico.