

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**REVISÃO DAS ESTIMATIVAS DE ESTOQUES DE CARBONO DO SOLO
EM REGIÕES DO RIO GRANDE DO SUL**

**Giovanny Alexander Jurado Dávila
(Dissertação)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**REVISÃO DAS ESTIMATIVAS DE ESTOQUES DE CARBONO DO SOLO
EM REGIÕES DO RIO GRANDE DO SUL**

GIOVANNY ALEXANDER JURADO DÁVILA
Engenheiro Agroflorestal (Universidade de Nariño-Colômbia)

Dissertação apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Mestre em Ciência do
Solo

Porto Alegre (RS)
Setembro de 2016

CIP - Catalogação na Publicação

Giovanny Dávila, Giovanny Alexander Jurado
Revisão das Estimativas de Estoques de Carbono do
Solo em Regiões do Rio Grande do Sul / Giovanny
Alexander Jurado Giovanny Dávila. -- 2016.
91 f.

Orientador: Carlos Gustavo Tornquist.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa
de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-
RS, 2016.

1. ciência do solo. 2. dinâmica da matéria org
do solo. 3. uso do solo. 4. Campos de Cima da Serra.
5. estoques de carbono . I. Tornquist, Carl
Gustavo, orient. II. Título.

GIOVANNY ALEXANDER JURADO DÁVILA
Engenheiro Agroflorestal (Universidade de Nariño-Colombia)

TESE

Submetida como parte dos requisitos

para a obtenção do Grau de

MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

Faculdade de Agronomia Universidade

Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre

(RS), Brasil

Aprovada em: 06.09.2016
Pela Banca Examinadora

Homologado em:
Por:

CARLOS GUSTAVO TORNQUIST
Professor Orientador
PPG-Ciência do Solo

FLÁVIO ANASTÁCIO CAMARGO
Coordenador do Programa de
Pós Graduação em Ciência do Solo

ALBERTO VASCONCELLOS INDA
JUNIOR
PPG-Ciência do Solo

PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade de Agronomia

BEM-HUR COSTA CAMPOS
Instituto Federal do Rio Grande do
Sul

PAULO CÉSAR DO NASCIMENTO
PPG-Ciência do Solo

Dedico esta tese a minha
família, pelo apoio, motivação e
companhia no processo de
formação e aprendizagem, além da
paciência e fortaleza na distância.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Carlos Gustavo Tornquist, orientador, companheiro e amigo por todo seu apoio, paciência e dedicação durante este período de minha formação, sem dúvida sua contribuição e experiência foram parte de minha formação e além do conhecimento compartilhado sinto muito respeito e admiração como profissional e como persona.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado em Ciência do Solo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de estudos de Mestrado.

A Dra. Julia-Maria Hermann (Lehrstuhl für Renaturierungsökologie - Technische Universität München) e Prof. Gerhard Overbeck (Dep. Botanica - UFRGS) pelo compartilhamento de dados de campo e pontos amostrais nos Campos de Cima da Serra, no âmbito do projeto conjunto apoiado pela DFG-Alemanha).

Aos professores do Departamento de Solos, por todo o conhecimento e experiência transmitidos tanto em sala de aula como nos demais momentos de orientação.

Aos laboratoristas Luís Antônio e Adão Luís, pela ajuda nas determinações analíticas, além de sua contribuição no aperfeiçoamento do conhecimento.

Ao secretário do PPGCS Jader, pela presteza e excelente trabalho além da motivação e disposição.

Aos bolsistas de iniciação científica, Júlio Schneider, Tomas Vecchi e Camilo Grala por a dedicação no trabalho de campo e análises laboratoriais além da parceria e dos momentos compartilhados.

A todos os colegas do PPGCS, pelos bons momentos de estudo, discussões científicas, descontração e amizade. Em especial, agradeço aos Colegas e amigos Agi Cassimo, Claudia Wolf, Israel Rosa Machado, Fernanda Canez, Janderson Costa, Alcinei Ribeiro, Elisângela Benedet e aos colegas da turma com quem compartilamos disciplinas e conhecimento.

REVISÃO DAS ESTIMATIVAS DE ESTOQUES DE CARBONO DO SOLO EM REGIÕES DO RIO GRANDE DO SUL

Autor: Eng^o Agroflorestal Giovanny Alexander Jurado Dávila
Orientador: Prof. Dr. Carlos Gustavo Tornquist

RESUMO

Os estoques de carbono orgânico do solo (ECOS) nos ecossistemas naturais normalmente podem se manter em equilíbrio por longos períodos, porém as atividades antrópicas, especialmente a expansão da agricultura, usualmente provoca diminuição nos ECOS, com implicações nas funções ecossistêmicas e produtivas dos solos. Assim, a estimativa dos ECOS nos solos sob condições naturais e em agroecossistemas e a distribuição desses estoques na paisagem são questões científicas atuais. Este trabalho teve como objetivo amostrar solos para estimar os ECOS, compilar estudos sobre ECOS já publicados e avaliar comparativamente ECOS nas regiões dos Campos de Cima de Serra e na parte central do Planalto do Rio Grande do Sul. Para estabelecer os ECOS nestas áreas foram utilizados dados primários (coleta de amostras a campo e análises laboratoriais) e dados secundários (levantamentos, estudos e projetos de pesquisa já realizados), prioritariamente em camadas superficiais (0-30cm). A consolidação de dos resultados obtidos do campo e de estudos possibilitaram comparar os estudos existentes de forma tabular e visualizar em mapas considerando classes de solos e usos das terras. Considerando a camada mais superficial de 0-30 cm, os estoques médios (média geral dos valores medidos) na região dos Campos de Cima da Serra (173,5 Mg C ha⁻¹) foram três vezes maiores que na região central do Planalto do Rio Grande do Sul (59,5 Mg C ha⁻¹). De maneira similar, os ECOS nas camadas mais superficiais (0-10 e 0-20cm) também consideradas neste estudo também foram pelo menos duas vezes maiores nos Campos de Cima da Serra. Os mapas produzidos permitem visualizar a distribuição espacial destes estoques nas regiões. Estas informações podem ser usadas para definir políticas públicas no âmbito de agricultura conservacionista e auxiliar na atualização dos inventários nacionais de gases de efeito estufa.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Agosto, 2016. Trabalho realizado com apoio financeiro da CAPES.

REVIEW OF SOIL CARBON STOCKS ESTIMATES IN REGIONS OF RIO GRANDE DO SUL

Author: Eng^o Agroflorestal Giovanni Alexander Jurado Dávila
Adviser: Prof. Dr. Carlos Gustavo Tornquist

ABSTRACT

Organic carbon stocks in soils under natural conditions are usually in equilibrium, but human intervention specially with the expansion of agriculture and silviculture leads to SOC (soil organic C) stocks losses. Thus, SOC stocks estimation and their distribution in the landscape is a crucial scientific topic. This study aimed to measure and benchmark current SOC stocks in fields from the Campos de Cima da Serra and the central part of the Planalto do Rio Grande do Sul. To update the SOC stocks in the study areas, primary data were assessed derived from field sampling and laboratory analysis) and secondary data (obtained from published surveys and research projects). Data from 0-30cm soil layer were primarily considered in this study. The consolidation of results from field and studies allowed to compare SOC stocks in tabular form and view maps considering soil types and land of uses. Considering the upper soil layer (0-30 cm), the average SOC stock ($173.5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ - overall means of the measured values) in the region of Campos de Cima da Serra was three times higher than in the central section of the Planalto of Rio Grande do Sul ($59.5 \text{ Mg C ha}^{-1}$). Similarly, SOC stocks in the shallower layers (0-10 and 0-20 cm) were at least twice as high in the Campos de Cima da Serra. The maps produced display the spatial distribution of measured or calculated SOC stocks. This information can be used to guide public policy for conservation agriculture programs and assist in conducting national greenhouse gas inventories.

¹M.Sc. Dissertation in Soil Science – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. July, 2016. Research supported by CAPES.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	1
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1.A matéria orgânica do solo	3
2.2.Os estoques de COS	4
2.3. Estudos e levantamentos de ECOS..	6
2.3.1. Escala global	7
2.3.2. Escala nacional	8
2.3.3. Escala estadual (Rio Grande do Sul).....	12
2.3.4. Estudo mais detalhados	16
2.4. Justificativa do Estudo	16
3.OBJETIVOS	22
4.MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1.Aspectos biogeofísicos das regiões de estudo.....	23
4.1.1. Campos de Cima da Serra	22
4.1.1. Região Central do Planalto do RS	23
4.2.Abordagem metodológica	25
4.2.1. Dados primários: amostragem de Solos	25
4.2.2. Dados secundários: uso de bases de dados	27
4.2.3. Uso das terras	31
4.3. Análise estatística	37
5.RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1.ECOS obtidos de estudos anteriores	38
5.1.1. Campos de Cima da Serra	38

5.1.2. Planalto do Rio Grande do Sul	41
5.2. ECOS observados na região dos Campos de Cima da Serra	44
5.2.1. Mapa de ECOS nos Campos de Cima da Serra	48
5.3. ECOS no Planalto do RS	57
5.3.1. Mapa de ECOS na região Central do Planalto	58
5.4. Comparação entre as regiões estudadas	67
6. CONCLUSÕES	68
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
8. REFERÊNCIAS	70
9. APÊNDICES	80

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Síntese de estudos com objetivo específico de estimar ECOS no RS e que incluíram mapeamento e/ou extrapolação geoespacial	17
Tabela 2. Síntese de estudos de ECOS na região dos Campos de Cima da Serra	18
Tabela 3. Síntese de estudos de ECOS na região central do Planalto do RS.....	21
Tabela 4. Síntese dos estoques médios de ECOS reportados ou calculados na região de Campos de Cima da	39
Tabela 5. Síntese dos ECOS médios reportados ou calculados na região central do Planalto do RS.....	42
Tabela 6. Síntese dos resultados das análises da amostragem para ECOS por classe de solo e uso das terras.....	45
Tabela 7. Compilação dos ECOS reportados em estudos identificados na região dos Campos de Cima da Serra.....	49
Tabela 8. Análise comparativa dos resultados obtidos para ECOS (0-30cm) de estudos nos Campos de Cima da Serra generalizados para o 1º nível categórico da classificação de solos.....	54
Tabela 9. Compilação dos ECOS de estudos identificados na região central do Planalto do RS.....	59
Tabela 10. Análise comparativa de ECOS médios (0-30cm) das principais classes de solo na região central do Planalto do RS.....	64

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de carbono orgânico do solo global conforme Scharlemann et al. (2014)	7
Figura 2. Mapas de ECOS em escala nacional obtidos dos originais conforme publicados: a) Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa/Projeto GEFSOC (Bernoux et al., (2002); b) por UM do mapa de solos 1:5.000.000 (Fidalgo et al. 2007)	10
Figura 3. ECOS em escala nacional para o Brasil. a) mapa por bioma, a partir do mapa de solos 1:5.000.000 (Fidalgo et al., 2007); b) mapa das concentrações de COS (EMBRAPA, 2014).....	11
Figura 4. ECOS do RS na camada 0-30cm obtido pelo recorte do mapa de Bernoux et al. (2002)	13
Figura 5. ECOS na camada 0-30cm de Tornquist et al., (2004) baseado no Levantamento de Reconhecimento de Solos do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1973).....	14
Figura 6. ECOS na camada 0-30cm de Tornquist et al. (2009) baseado no Levantamento Exploratório de Solos do Rio Grande do Sul (IBGE, 1986)	15
Figura 7. Localização das áreas de estudos no estado do Rio Grande do Sul....	24
Figura 8. Detalhes da condução da amostragem de solo para Ds e COS em Cambará do Sul, RS, conduzida em 2015.....	26
Figura 9. Mapa de ECOS com a localização dos perfis do Levantamento Exploratório de Solos (Projeto RADAMBRASIL) usados por Tornquist et al (2009)	29
Figura 11. Mapa de solos com a localização de perfis utilizados neste estudo na região central do Planalto do RS.....	31
Figura 12. Mapa de uso das terras da região dos Campos de Cima da Serra adaptado de IBGE (2016c)	33
Figura 13. Exemplos de uso das terras dos Campos de Cima da Serra: a) área em pousio pós-agricultura; b) área de campos sobressemeados; c) área de campos naturais com queima; d) área de sucessão pós-silvicultura com Pinus .	34
Figura 15. Exemplos de uso das terras no Planalto do RS :a) Área de lavoura, médio do RS; b) Fragmento de Mata Atlântica	35
Figura 16. Boxplots de ECOS por classe solo e de uso das terras em três camadas a) 0-10 cm b) 0-20 cm c) 0-30 cm;.....	44

Figura 17. Mapa revisado de ECOS (0-30 cm) para a região dos Campos de cima da Serra.....	52
Figura 18. Distribuição regional de ECOS (0-30cm) nos Campos de Cima da Serra no RS: a) valores padrão (IPCC, 2001); b) recorte do mapa de ECOS do Brasil (Bernoux et al., 2002)	55
Figura 19. Distribuição regional de ECOS (0-30cm) nos Campos de Cima da Serra no RS: a) recorte do mapa de ECOS do RS (Tornquist et al, 2009); b) mapa obtido neste estudo	56
Figura 20. Mapa de ECOS (0-30 cm) na região central do Planalto do RS.....	63
Figura 23. Distribuição regional de ECOS (0-30cm) na região central do Planalto do RS conforme: a) valores padrão (IPCC, 2001); b) recorte do mapa de ECOS do Brasil (Bernoux et al., 2002)	65
Figura 22. Distribuição regional de ECOS (0-30cm) na região central do Planalto do RS conforme: a) recorte do mapa de ECOS do RS (Tornquist et al, 2009); b) mapa obtido neste estudo	66

RELAÇÃO DE APÊNDICES

Apêndice 1. ECOS calculados para pontos de Jungblut & Spinelli (1997)...	80
Apêndice 2. ECOS calculados nos pontos de Düming et al.(2008).....	81
Apêndice 3. ECOS calculados nos pontos coletados por Inda e Bissani (DSOLOS/UFRGS, 2003).....	82
Apêndice 4. Recorte do mapa do Levantamento Exploratório (Projeto RADAMBRASIL) atualizado na Região dos Campos de Cima da Serra (IBGE 2016b)	83
Apêndice 5. ECOS calculados em pontos de Santos et al (1970)	84
Apêndice 6. ECOS calculados com pontos amostrados por Coelho (1999) na região central do Planalto do RS.....	85
Apêndice 7. ECOS nos pontos amostrados por Broetto (2012).....	87
Apêndice 8. ECOS calculados nos pontos amostrados por Tornquist (2007).	89
Apêndice 9. Recorte do mapa de solo para a região central do Planalto do RS, conforme mapa revisado do Projeto RadamBRASIL (IBGE, 2016b)	91

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade existem amplas evidências que permitem entender e reconhecer a importância do solo como parte fundamental dos ecossistemas terrestres, com papel relevante na garantia da segurança alimentar e mitigação de impactos ambientais. De fato, o solo é o maior repositório de C da superfície terrestre, com até três vezes maior quantidade de carbono acumulada do que a biomassa vegetal. Em condições naturais os estoques de C orgânico do solo (ECOS) estão em equilíbrio, com flutuações mínimas. Entretanto, a intervenção antrópica, especialmente pela expansão da agricultura sobre áreas de vegetação natural, de maneira geral vem provocando perdas nos ECOS. Por outro lado, sistemas de manejo conservacionistas podem manter os estoques e mesmo recuperá-los em áreas degradadas. O carbono é o principal componente da matéria orgânica do solo (MOS) e está diretamente relacionado com o potencial produtivo das terras. Além disso, a MOS tem sido apontada como potencial mitigadora de parte do incremento de CO₂ na atmosfera, o que é chamado de “sequestro de carbono” pelo incremento dos ECOS.

Pelo exposto, fica evidente a crescente demanda por informações relevantes e atualizadas em relação à MOS e sua dinâmica. Na atualidade, estudos e levantamentos em diferentes regiões e em diversas escalas têm sido conduzidos, mas o resgate e a compilação de dados históricos (os chamados *dados legados*), mesmo com incertezas, podem contribuir no avanço científico sobre este tema.

Com esta visão, estudos combinando dados primários (obtidos de levantamentos) e secundários (dados legados de estudos já realizados)

possibilitam atualizar estimativas de ECOS e elaborar mapas com sua distribuição regional. Tantos dados tabulados de ECOS médios como o mapeamento desses podem ser utilizados para proposição ou monitoramento de políticas públicas voltadas para o fomento da agricultura conservacionista. De outra parte, essas informações são fundamentais para apoiar a preparação dos inventários nacionais de gases de efeito estufa, requeridos pela Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática, da qual o Brasil é signatário e participante ativo.

2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A matéria orgânica do solo

O solo é um sistema aberto que troca energia e matéria com o ambiente. A adição contínua de resíduos orgânicos favorece a ordenação do sistema solo, eventualmente atingindo uma estabilidade – o estado de equilíbrio dinâmico (Vezzani & Mielniczuk, 2009). A variação na quantidade de MOS é dependente das plantas e de seus resíduos acumulados na superfície, além de fatores como a profundidade do solo, clima, práticas silviculturas, textura e mineralogia do solo (Zinn et al., 2011).

A MOS afeta os aspectos químicos, físicos e biológicos da qualidade do solo, com reflexos no potencial produtivo do solo. Em solos tropicais é a principal fonte de cargas elétricas negativas, sendo responsável por cerca de 70% da CTC desses solos de carga variável, portanto determinando a capacidade do solo em reter e disponibilizar nutrientes para as plantas (Silva et al., 2007). Assim também é responsável pela retenção de nutrientes e água, pela agregação do solo, e de servir de substrato contribuindo para a manutenção da diversidade biológica do solo. Portanto, a MOS é um indicador da qualidade do solo e desempenha papel fundamental na manutenção do potencial produtivo da agropecuários e silvicultura.

Dentre os compostos que compõe a MOS, o C é o elemento predominante, correspondendo a 58% em base de massa. A MOS é composta de frações desde as mais lábeis até aquelas de maior recalcitrância à decomposição, sendo que estas últimas contribuem mais para incrementar os

ECOS. A estabilidade da MOS é definida pela sua constituição química, grau de interação e inacessibilidade conferida pela matriz mineral do solo. (Jastrow & Miller, 1997).

O acúmulo de MOS no solo é determinado principalmente pela adição de resíduos superficiais e subsuperficiais, cuja decomposição é influenciada principalmente por fatores climáticos, de vegetação e de solo (Silva et al., 2007). Em relação ao fator climático a decomposição dos resíduos orgânicos é determinada principalmente pela precipitação e temperatura (Dalmolin et al., 2006). Em geral, climas frios e úmidos favorece o acúmulo de MOS e climas quentes estimulam a atividade microbiana e promovem a rápida degradação dos resíduos orgânicos (Silva. et al., 2007). A temperatura afeta diretamente a taxa de decomposição dos resíduos (e da MOS). Usualmente se considera que a velocidade das reações químicas duplica a cada 10° C de aumento na temperatura, porém nos processos biológicos como a decomposição a MOS essa relação pode não ser válida. Incrementos na temperatura aumentam a taxa dos processos biológicos até 30° C, a partir do que estes decrescem rapidamente – o crescimento de fungos e bactérias praticamente é paralisado a partir de 45° C e 50° C, respectivamente (Bárbacenas-Moreno et al., 2009).

Outro fator determinante da MOS é o uso das terras e o manejo do solo. No caso de uso agrícola e preparos intensivos e repetidos do solo, é estimulada a mineralização da MOS, enquanto terras sob vegetação natural, pastagens perenes ou silvicultura normalmente apresentam MOS está estável, com mínimas variações ao longo do tempo. Quando estes sistemas são convertidos para agricultura, adotando o preparo intensivo do solo, é rompido o equilíbrio e observa-se inicialmente taxas de decomposição da MOS elevadas, eventualmente atingindo-se um novo equilíbrio (Bayer et al., 2011).

2.2. Os estoques de COS

Lal (2004) estimou que 5% do C total na Terra esteja no solo (2.500 Pg C). Este estoque de COS total nos solos é cerca de duas vezes maior ao existente na atmosfera e cerca de três vezes maior do que aquele contido em

toda a biomassa vegetal do planeta (IPCC, 2001). Assim, o solo é reconhecido como o maior reservatório terrestre de COS. Post et al. (1982) estimaram que 40% do COS total está em solos tropicais. Outros estudos mais recentes como Batjes et al. (2009) e Schlanderemann et al. (2014) estimaram o total de COS em 1462-1548 Pg C.

O estoque de COS em solos sob vegetação natural é determinado, principalmente pelas condições climáticas como temperatura e ocorrência de chuvas, e pelo tipo de solo, devido a influências destes fatores nas taxas de adição e de perda (Bayer & Mierniczuk, 1997; Salton et al., 2005).

O aporte de carbono nos solos agrícolas é determinado pelo acúmulo de restos vegetais sobre o solo após a colheita das culturas, pelas raízes das plantas, seus exsudatos e micorrizas, os quais vão se decompor e passar pelo processo de humificação. Os processos envolvidos são bastante dependentes das condições ambientais (especialmente umidade e temperatura) além do potencial produtivo das plantas e do sistema de manejo. (Salton et al., 2005).

Vários trabalhos apontam o aumento nos ECOS em áreas agrícolas pela utilização do Sistema Plantio Direto (SPD) em comparação aos sistemas intensivos (convencionais) de preparo do solo (Salton et al., 2005). Sisti et al. (2004) encontraram aumento de até 9,4 Mg C ha⁻¹ sob SPD em Latossolos.

A metanálise sobre ECOS e mudanças de uso da terra conduzido por Guo & Gifford (2002) indicou que a mudança de lavoura para pastagens aumenta em média os ECOS de 19%, enquanto a mudança de florestas para pastagens eleva esse estoque em 8%. Na região dos Cerrados do Brasil Central, a conversão de solos sob vegetação nativa em pastagens pode resultar em aumentos ou reduções de COS. Também análise de dados sobre a substituição de florestas nativas por pastagem cultivada apresentou resultados contraditórios em relação ao acúmulo de COS. Alguns autores apontam manutenção de estoques ou até incremento sob pastagem (Maquere et al., 2008; Pimentel, 2012), enquanto outros observam perdas em relação à vegetação natural (Cardoso et al., 2010).

O aporte da quantidade de resíduos necessária para manter estáveis ou aumentar os ECOS demanda que se adote sistemas de cultivos que produzam grande quantidade de biomassa, para compensar as perdas de C pela

decomposição, pela erosão e mesmo pela lixiviação. Nesse aspecto as pastagens podem propiciar maior acúmulo do que cultivos anuais. Ao converter áreas agrícolas em pastagens, inclusive poderá ocorrer incremento de ECOS. Com o advento do SPD, solos já degradados têm retornado a valores próximos ou até maiores aos originais, sendo uma das principais estratégias de manejo conservacionista.

2.3. Estudos e levantamentos de ECOS.

No Brasil, a execução e atualização de levantamentos e mapeamento de solos em todo o território nacional seria uma demanda permanente das instituições de pesquisa e órgãos de planejamento pela sua utilidade como ferramentas para a gestão e monitoramento do uso das terras. Porém não tem havido esforço e priorização do poder público para a expansão das bases de dados pedológicas e disponibilização de mapas, especialmente pelo custo elevado dos levantamentos (Mendonça e Santos, 2003). Assim, informações críticas para a análise e o monitoramento da MOS não estão disponíveis de forma abrangente para o território nacional, a exceção de estudos localizados ou com dados secundários.

De uma forma simplista, a realização de estudo sobre os ECOS que tenham como objetivo a estimativa de valores médios e sua distribuição regional (mapeamento) implicariam em tempo prolongado de execução e custos para as atividades de campo e análises laboratoriais. Existem alternativas para facilitar a execução destes estudos, como a utilização de dados secundários, já publicados como resultados de estudos anteriores. Nestes casos, deve-se ter em conta que é usual encontrar bases de dados incompletas, com cobertura parcial do território, e com escassa densidade de amostragem, portanto sem abranger toda a variabilidade de ECOS na paisagem. Normalmente os pesquisadores suprem essas carências com inferências e estimativas derivadas de pesquisas localizadas. Como exemplos desta abordagem temos a estimativa dos ECOS globais (Post et al, 1982) para o Brasil (Bernoux et al., 2002) e para o RS (Tornquist et al., 2009).

Uma alternativa mais robusta seria combinar estudos com dados secundários com campanhas de amostragem específicas para completar as

limitações encontradas nas bases de dados, ou seja, buscando dados primários complementares. Este tipo de abordagem normalmente utiliza ferramentas como o geoprocessamento, sensoriamento remoto e geoestatística para localizar e/ou especializar os dados secundários e apoiar a execução de campanhas de amostragem, buscando complementar a base de dados de MOS da região de interesse.

2.3.1. Escala global

Um dos estudos mais completos em nível mundial realizado por Hiederer e Köchy (2011) produziu um mapa mundial da distribuição do COS utilizando dados secundários a partir da HWSD (Harmonized World Soil Database). A HWSD é um banco de dados geoespacial com cerca de 16.000 perfis catalogados, que integra dados de outras bases regionais e nacionais arquivadas na Fundação ISRIC (World Soil Information), na Holanda. Este estudo, que inclui dados de solos com influência antrópica, agregou dados de COS compatíveis com o Mapa de Solos do Mundo (FAO/UNESCO) na escala de 1: 5.000.000 (Figura 1). Mais recentemente, Scharlemann et al. (2014) fizeram uma análise crítica do estudo e do mapa de Hiederer e Köchy (2011), considerando que o COS total estimado por esses autores (1417 Pg C) certamente subestimaria os estoques globais porque a maior parte dos perfis descritos com dados armazenados na base de dados não se estendia abaixo de 1m de profundidade.

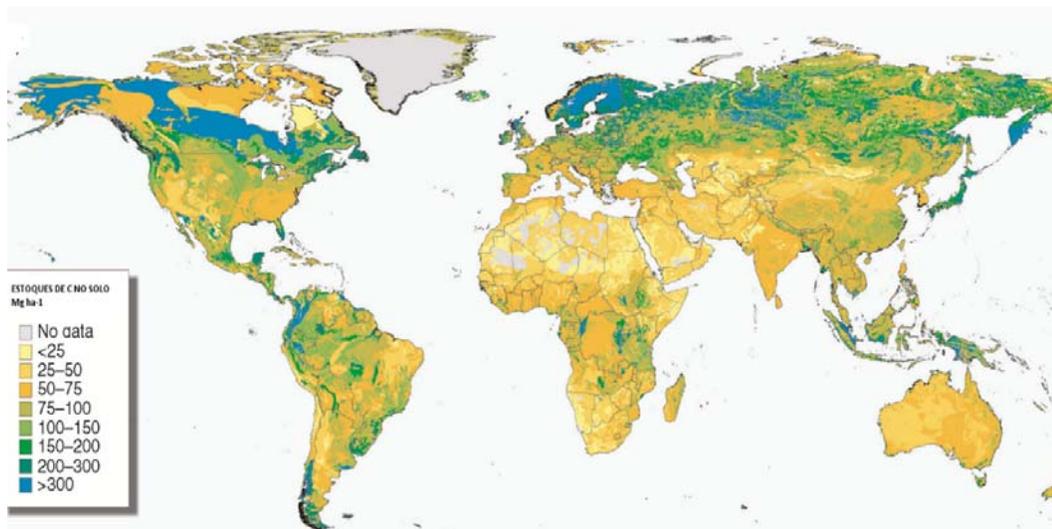


Figura 1. Mapa de carbono orgânico do solo global conforme (Scharlemann et al., 2014).

2.3.2. Escala nacional

O trabalho mais antigo identificado buscando fontes brasileiras para estimar ECOS, abrangendo todo o território nacional, de acordo com os biomas foi publicado por Schroeder e Windjum (1995). A abordagem utilizada não permitiu a produção de um mapa de COS para o Brasil, apenas valores tabulares para ECOS e biomassa por bioma. Em sequência a este estudo, (Batjes et al., 2005) obtiveram um mapa de distribuição de estoques de COS (1:5.000.000) atribuindo às unidades de mapeamento de solos valores obtidos usando com dados da base SOTER (*World Soils and Terrain Database*) mantida pelo ISRIC (FAO, 1998).

Mais recentemente, foram produzidos mapas de COS com escala mais detalhada, já que o Brasil possui a totalidade de seu território coberto por mapas de solos na escala 1:1.000.000 que são oriundos de levantamentos e/ou compilação de dados analíticos de estudos realizados pelo projeto RADAMBRASIL (em 1986) ou em levantamentos regionais pela EMBRAPA Solos (antigo Serviço Nacional de Levantamentos e Classificação de Solos):

O mapa de (Bernoux et al., 2002), na escala na escala 1: 5.000.000 foi construído pelo cruzamento dos mapas vetoriais de solo e vegetação, obtendo-

se associações (classes) de solo-vegetação, sendo para cada uma dessas classes atribuídos valores de estoques COS para a camada 0-30cm calculados com dados dos perfis descritos e registrados na base de dados pedológicas brasileiras (RADAMBRASIL/IBGE e EMBRAPA Solos). Nestas bases são normalmente inexistentes os dados de densidade do solo (Ds), necessários para o cálculo dos ECOS. Os autores estimaram a Ds por função de pedotransferência desenvolvida para a Amazônia em trabalho anterior (Bernoux et al., 1998). É importante esclarecer que este mapa (Figura 2a) representa os ECOS “potenciais”, pois os perfis utilizados foram apenas aqueles obtidos sob vegetação natural, com mínimo impacto antrópico.

Outro estudo usou técnicas de mapeamento digital de solos (Fidalgo *et al.*, 2007). Foram utilizados dados de perfis descritos cadastrados na base de dados SIGSOLOS da EMBRAPA Solos – atualmente chamado de *Sistema de Informação de Solos Brasileiros* (EMBRAPA, 2016). Neste caso, foram selecionados 363 perfis que incluíam dados de Ds e outros 2.257 tiveram a densidade do solo estimada pela função de pedotransferência proposta por Benites et al. (2007). Foram obtidos 2 mapas na escala 1:5.000.000: a) mapa de ECOS por UM do mapa de solo (Figura 2b); b) mapa de ECOS por associação solo×bioma (Figura.3a).

Mais recentemente, um outro estudo (EMBRAPA, 2014) produziu mapas nacionais de COS, mas sem calcular estoques, apenas reportando concentrações de C, em $g\ kg^{-1}$. Neste trabalho foram usadas técnicas de mapeamento digital de solos (Figura 3b). O estudo utilizou regressão linear múltipla com covariáveis ambientais relacionadas ao COS: dados climáticos (precipitação e temperatura), biomas, dados de sensoriamento remoto como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) obtida de imagens de satélite (MODIS) e modelo digital de elevação SRTM. A variável dependente foi o COS de cerca 9000 perfis de solos disponíveis em bases de dados da EMBRAPA e DSOLOS-ESALQ. Os autores ressaltaram ser este um trabalho preliminar, que necessita refinamentos e revisões.

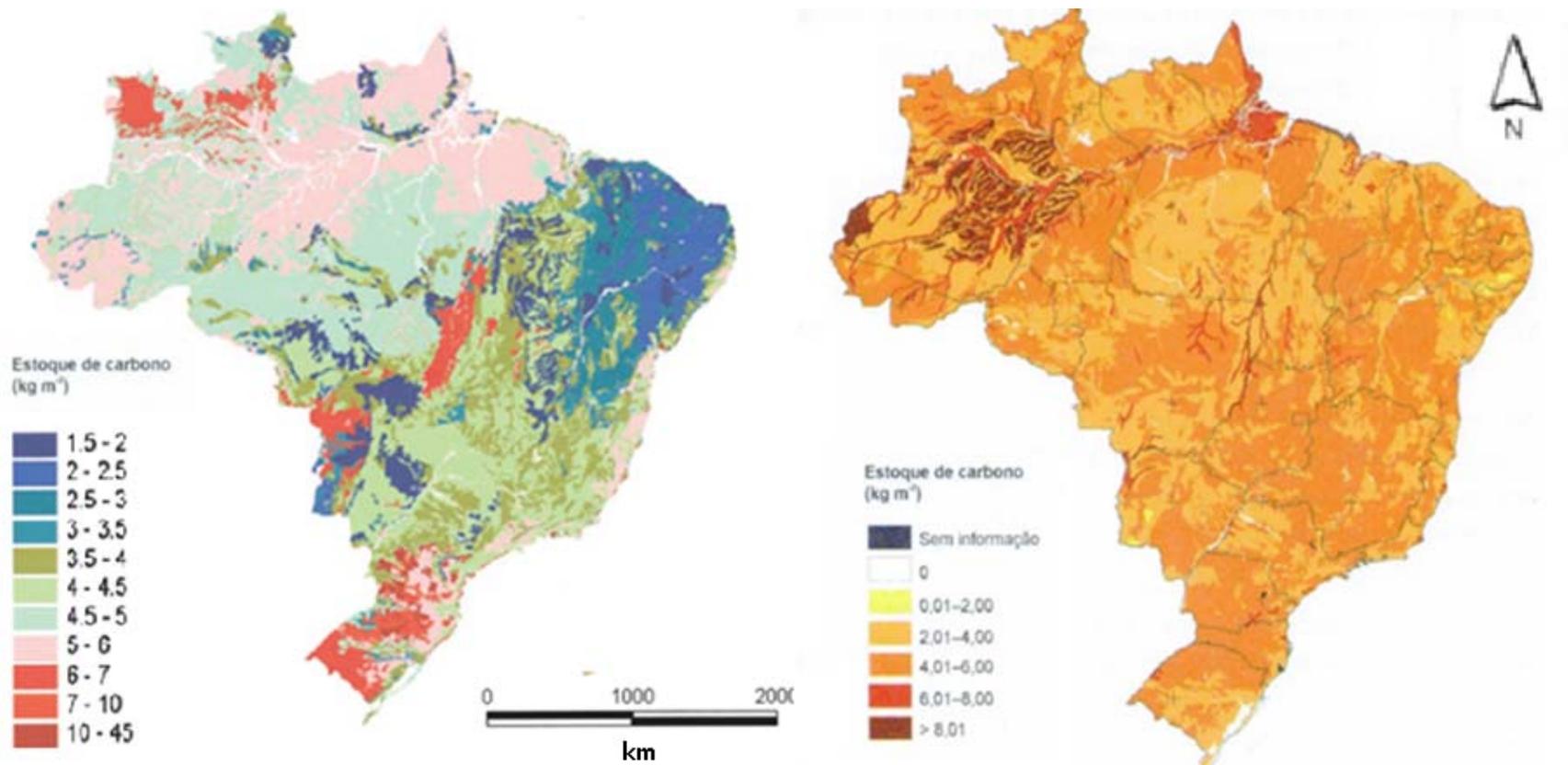


Figura 2. Mapas de ECOS em escala nacional obtidos dos originais conforme publicados: a) Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa/Projeto GEFSOC (Bernoux et al., (2002); b) por UM do mapa de solos 1:5.000.000 (Fidalgo et al., 2007).

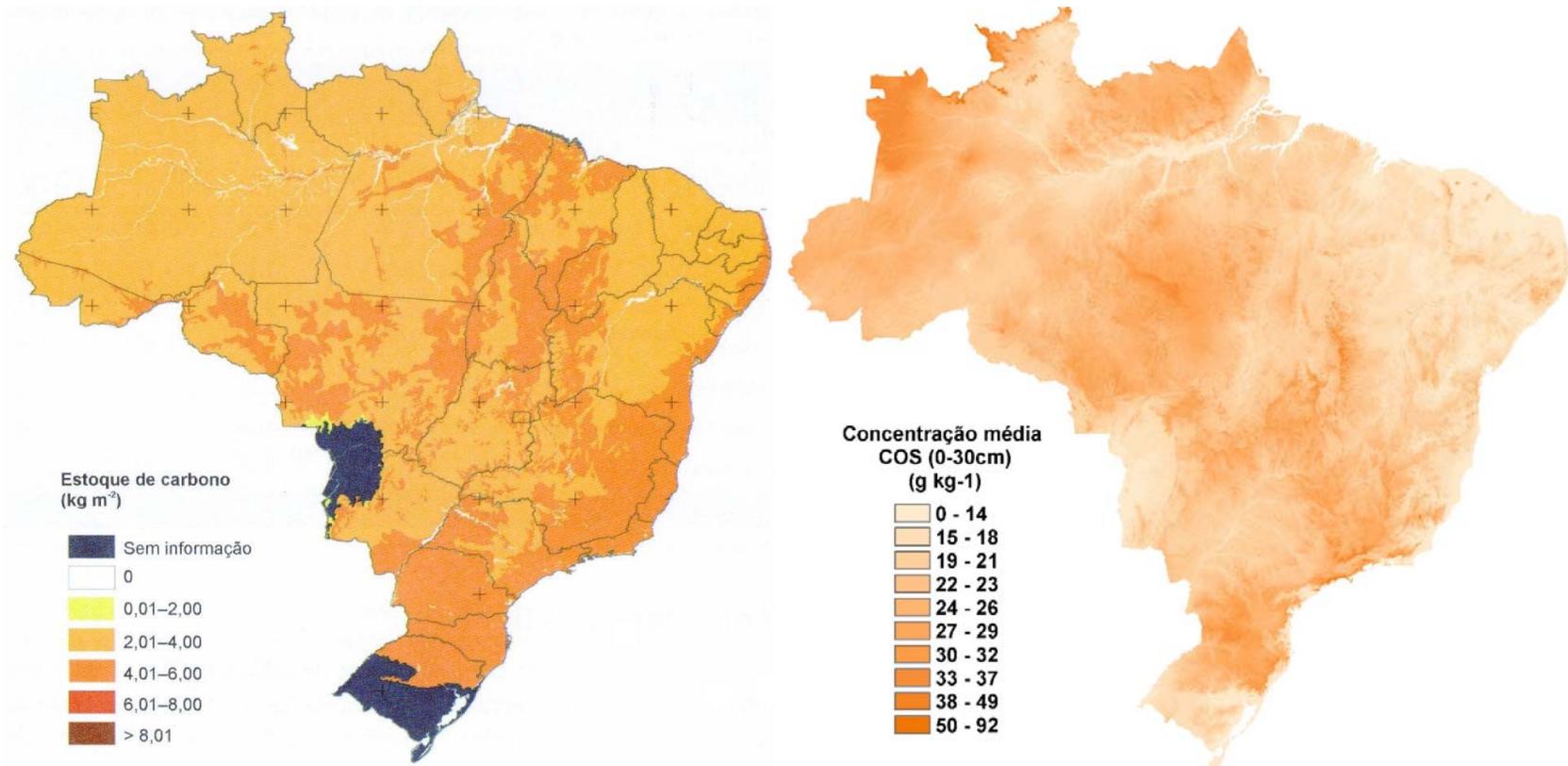


Figura 3. ECOS em escala nacional para o Brasil. a) mapa por bioma, a partir do mapa de solos 1:5.000.000 (Fidalgo et al., 2007). b) mapa das concentrações de C (EMBRAPA, 2014).

2.3.3. Escala estadual (Rio Grande do Sul)

Existem dois mapas de solos disponíveis, inclusive em meio digital (compatíveis com SIG) para o estado do Rio Grande do Sul: o Levantamento de Reconhecimento de Solos, publicado na escala 1:750.000 (BRASIL, 1973) e o Mapa Exploratório de Solos, publicado na escala 1:1.000.000 (IBGE,1986). Ambos foram digitalizados e disponibilizados em formato vetorial no início dos anos 2000. O Mapa de Reconhecimento foi digitalizado no fim dos anos 1990 pelo Setor de Geoprocessamento da EMATER-RS e posteriormente publicado como anexo ao livro “Solos do Rio Grande do Sul” (Streck et al.,2008). O Mapa Exploratório é resultado da digitalização e ajuste dos mapas originais do projeto RADAMBRASIL arquivados no IBGE (1986), contratada pela Secretaria da Agricultura do RS em 2002, tendo sido recentemente revisados pelo IBGE. O produto desta atualização está atualmente disponível em formato PDF e vetorial no servidor de mapas do IBGE (IBGE, 2016b). Apesar dos relatórios destes levantamentos apresentam dados analíticos dos perfis de solos, na época de ambos os estudos não havia interesse em determinar os ECOS. Assim, há carência de dados essenciais como a Ds, além do que os métodos analíticos para obtenção do C orgânico não apresentam a acurácia das técnicas mais atuais—como a combustão seca (Skjemstad et al., 2000).

A partir do mapa nacional do estudo de Bernoux et al. (2003) foi obtida uma primeira aproximação para os ECOS no RS, recortando do mapa original a área correspondente ao RS (Figura 4). Um estudo em escala menor conduzido (Tornquist *et al.*, 2004) utilizou o mapa do levantamento de reconhecimento (BRASIL, 1973) para atribuir ECOS conforme as classes de solo e dados analíticos disponíveis no relatório do levantamento (BRASIL, 1973) na profundidade 0-20cm (Figura 5). Em sequência, um mapa de COS revisado com estoques até uma profundidade de 30 cm (Tornquist *et al.*, 2009) foi produzido com o mapa de solos (Figura 6) do Levantamento Exploratório e dados publicados no relatório do Projeto RADAMBRASIL (1986).

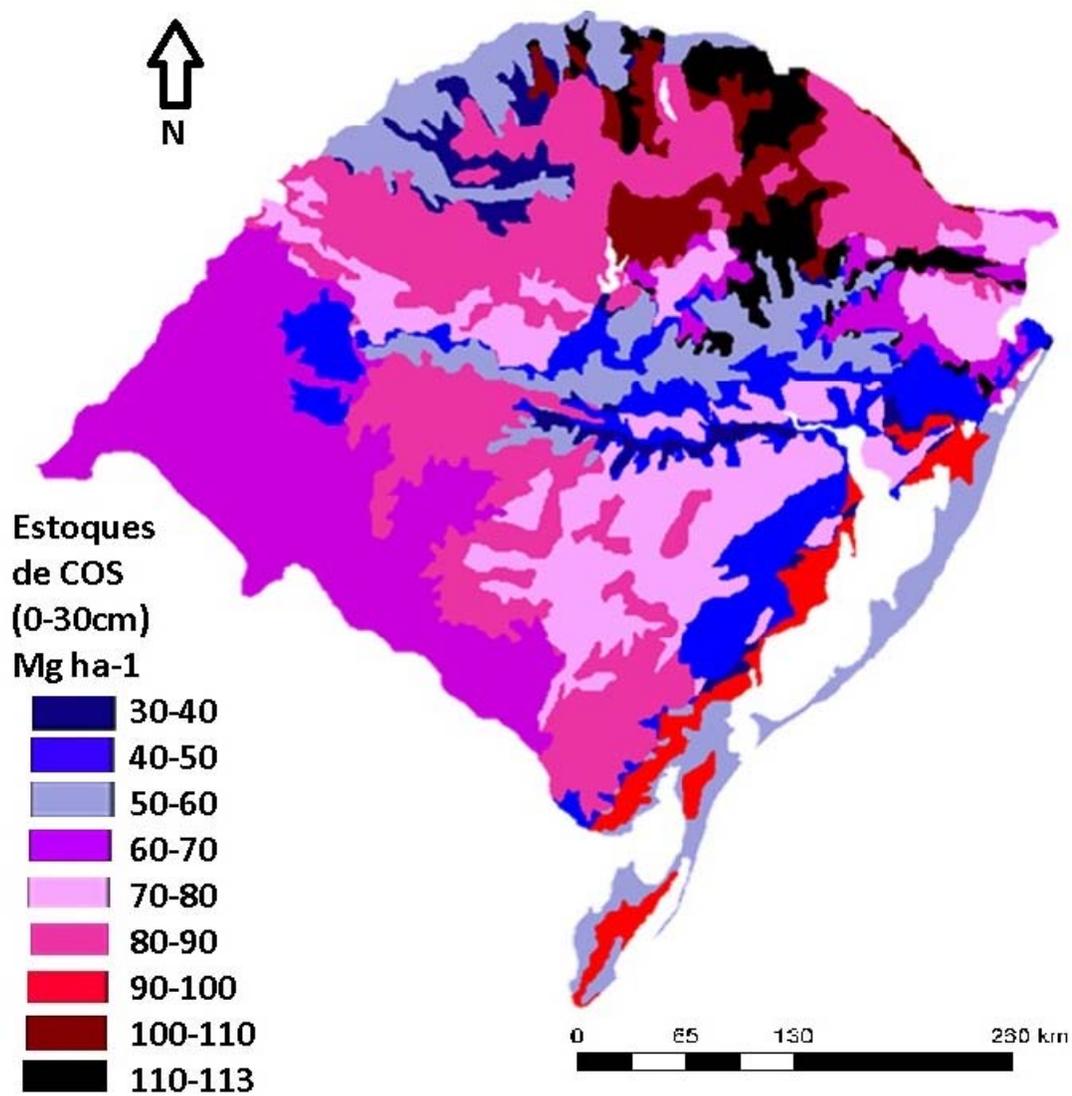


Figura 4. ECOS do RS na camada 0-30cm obtido pelo recorte do mapa de Bernoux et al. (2002).

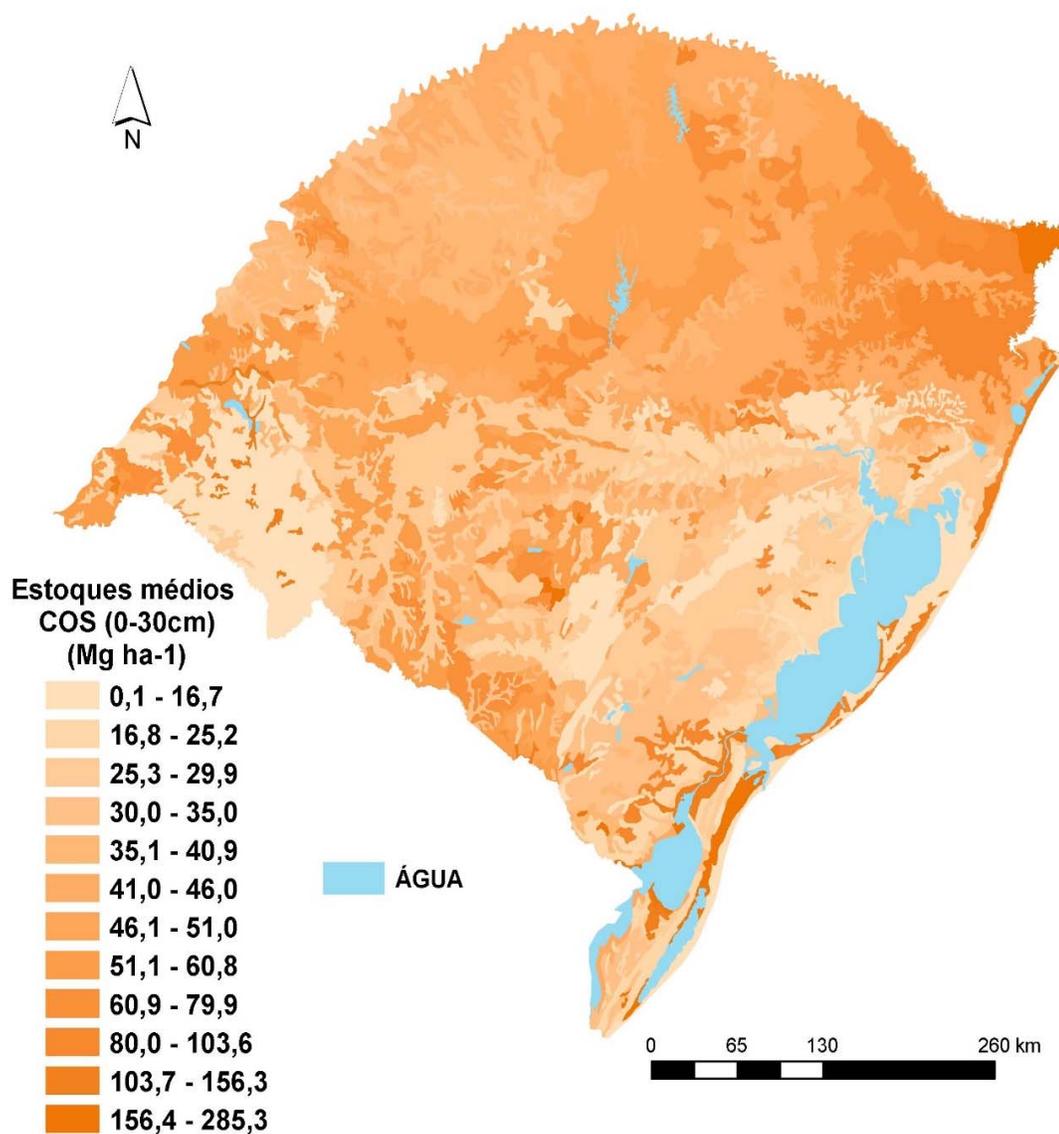


Figura 5. ECOS na camada 0-30cm de Tornquist et al. (2004) baseado no Levantamento de Reconhecimento de Solos do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1973).

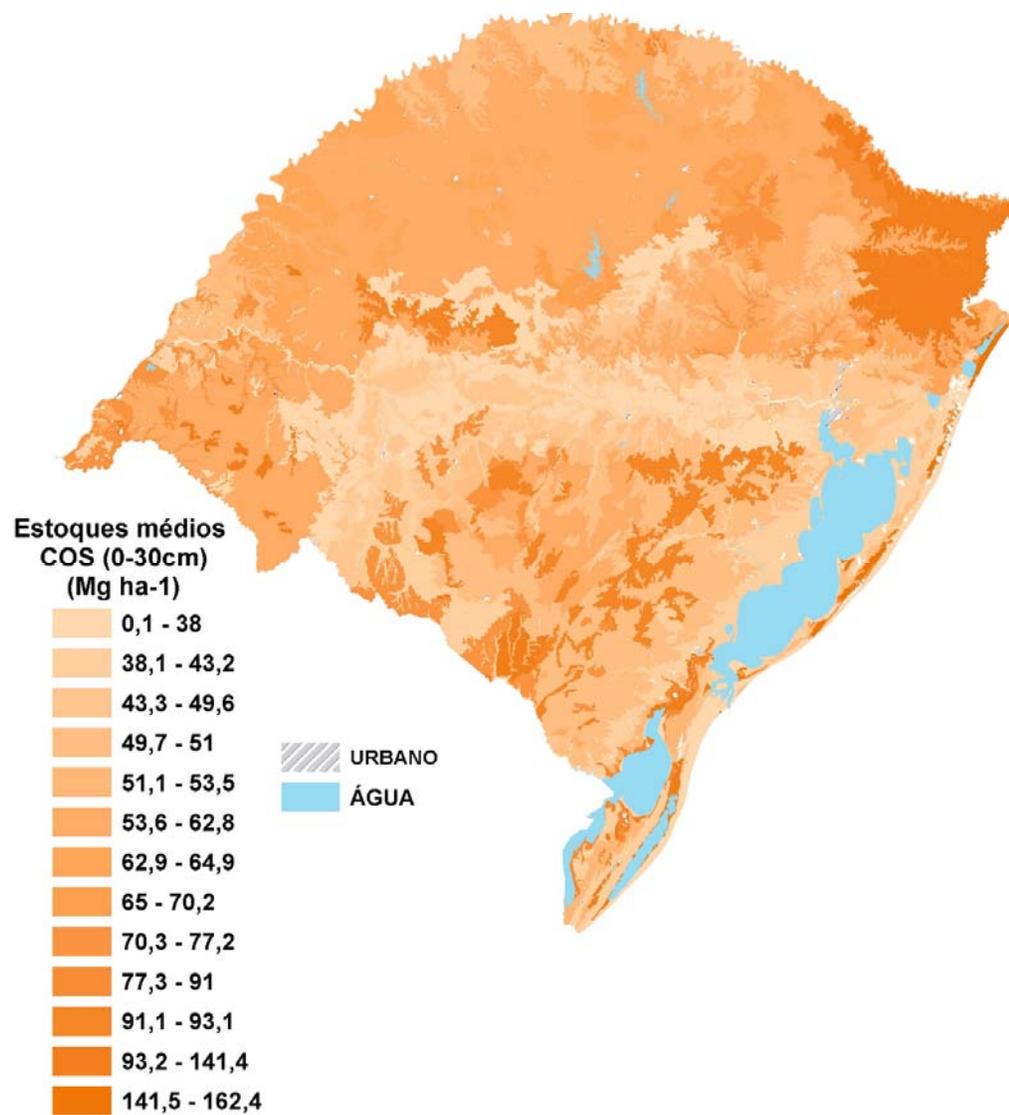


Figura 6. ECOS na camada 0-30cm de Tornquist et al. (2009) baseado no Levantamento Exploratório de Solos do Rio Grande do Sul (IBGE, 1986).

2.3.4. Estudos mais detalhados

Nos últimos anos têm crescido o número de trabalhos de avaliação de ECOS, inclusive um número expressivo de estudos regionais conduzidos para estimar ECOS no RS (Tabela 1). Uma parte desses estudos foi realizada para obter dados básicos (de calibração) para modelagem de cenários alternativos ou futuros de uso e manejo de solos.

Adicionalmente outros estudos, sem objetivo de mapeamento, mas que calcularam ECOS nas respectivas regiões de interesse, a partir de campanhas de coleta em locais/pontos com localização/coordenadas conhecida ou facilmente estabelecida sobre a cartografia disponível.

2.4. Justificativa do estudo

A premissa deste estudo é que podemos melhorar as estimativas de ECOS existentes em nível regional, calculando estoques para as principais classes de solos, produzindo mapas com mais detalhe em relação aos mapeamentos nacionais e estaduais existentes no Brasil, a partir da combinação de dados primários, obtidos em levantamentos *in situ*, e dados secundários, de estudos pretéritos (dados legados) e atuais, com outros objetivos de pesquisa, mas que possibilita atualizar estimativas de estoques de C. Os resultados obtidos são de grande interesse no âmbito de políticas públicas para o monitoramento de sistemas de produção, da adoção de práticas de agricultura conservacionista como o Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono) que está sendo implementado pelo MAPA-Min. Agricultura, Pecuária e Abastecimento, e principalmente apoiar na preparação dos inventários nacionais de gases de efeito estufa previsto na Política Nacional sobre Mudança de Clima (Lei 12.187/2009).

Tabela 1. Síntese de estudos com objetivo específico de estimar ECOS no RS e que incluíram mapeamento e/ou extrapolação geoespacial

Estudo	Região	Solo	Uso das Terras	Estoque COS 0-30cm Mg ha ⁻¹	
Tornquist (2007)	Ibirubá	Latossolo Vermelho	Lavoura	69,3	
			Mata	59,9	
		Neossolo Flúvico	Lavoura	84,2	
			Mata	96,2	
		Neossolo Regolítico	Lavoura	76,8	
			Mata	105,0	
Bortolon (2008)	Ijuí	Latossolo Vermelho	Lavoura	68,0	
			Lavoura	69,1	
		Neossolo Regolítico	Lavoura	76,3	
			Lavoura	70,1	
Lopes (2009)	Vacaria	Latossolo Bruno	Campo	99,9	
			Lavoura	98,5	
Santos (2011)	Bagé	Argissolo Amarelo	Campo	77,5	
			Campo	72,8	
		Neossolo Regolítico	Campo	72,8	
			Campo	92,5	
		Gleissolo Melânico	Campo	25,1	
			Chernossolo Ebânico	Campo	96,2
				Campo	85,5
Neossolo Litólico	Campo	73,4			
	Vertissolo Ebânico	Campo	13,8		

Tabela 2. Síntese de estudos de ECOS na região dos Campo de Cima da Serra.

Estudo	Solos	Uso da Terra	Inclui mapa? Área (ha)	Inclui dados de Ds?
Jungblut & Spinelli (1997)	Nitossolo Vermelho Alumínico	mata	SIM, 4.500	NÃO
	Cambissolo Hístico Alumínico	mata		
	Neossolo Litólico Distroúmblico	mata		
	Organossolo Háplico	mata		
Silva et al. (2008)	Cambissolo Hístico Alumínico	campo	-	NÃO
	Neossolo Litólico Distroúmblico	campo		
	Organossolo Háplico	campo		
	Neossolo Litólico Distroúmblico	campo		
Duming et al. (2008)	Neossolo Litólico Distroúmblico	campo	-	SIM
	Neossolo Litólico Distroúmblico	mata		
	Cambissolo Hístico Alumínico	campo		
	Cambissolo Hístico Alumínico	mata		
	Organossolo Háplico	campo		
	Nitossolo Vermelho Alumínico	campo		
Potes et al. (2012)	Neossolo Litólico Distroúmblico	campo	-	SIM
	Neossolo Litólico Distroúmblico	campo		
	Neossolo Litólico Distroúmblico	mata		
	Neossolo Litólico Distroúmblico	mata		
Tornquist et al - recorte (2009)*	Cambissolo Hístico Alumínico	campo	SIM, 83.520	NÃO
	Neossolo Litólico Distroúmblico	campo		
	Nitossolo Vermelho Alumínico	campo		
	Organossolo Háplico	campo		

*incluído para fins de comparação pois informa a área total do estudo e e inclui perfis do Projeto RADAMBRASIL(1986).

Tabela 3. Síntese de estudos de ECOS na região central do Planalto do RS.

Estudo	Solos	Uso das Terras	Inclui mapa? área (ha)	Inclui dados de Ds?
Santos (1970)	Chernossolo-Neossolo	lavoura	SIM 83.500	NÃO
	Latossolo Vermelho Distrófico	campo		
	Latossolo Vermelho Distroférrico	campo		
	Latossolo Vermelho Distroférrico	pastagem		
	Neossolo - Gleissolo	lavoura		
Pötter e Hochmüller (1980)	Latossolo Vermelho Nitossolo Vermelho	lavoura	SIM 177	NÃO
	Argissolo Vermelho Amarelo	lavoura		
	Neossolo Flúvico	mata		
	Neossolo Litólico	lavoura		
	Latossolo Vermelho Distroférrico	lavoura		
Coelho (1999)	Latossolo Vermelho Distroférrico	mata	-	SIM
	Latossolo Vermelho Distroférrico	campo		
	Latossolo Vermelho Distrófico	lavoura		
Tornquist. (2007)	Latossolo Vermelho Distrófico	mata	83.544	SIM
	Neossolo Flúvico	mata		
	Neossolo Flúvico	lavoura		
	Latossolo Vermelho distroférrico	lavoura		
	Latossolo Vermelho distroférrico	mata		
	Neossolo Regolítico	mata		
Broetto (2012)	Latossolo Vermelho distroférrico	lavoura	-	SIM
	Latossolo Vermelho distroférrico	mata		
	Latossolo Vermelho Distrófico	lavoura		
	Latossolo Vermelho Distrófico	mata		

Tabela 3. (continuação)

Ferreira (2014)	Latossolo Vermelho distroférico	lavoura campo	NÃO	SIM
Tornquist <i>et al.</i> - recorte (2009)*	Latossolo Vermelho distroféricos Neossolo Litólico chernossólico	vários	SIM 145.680	NÃO

*incluído para fins de comparação pois informa a área total do estudo e inclui perfis do Projeto RADAMBRASIL(1986)

3. OBJETIVOS

O estudo abrangeu três objetivos que foram executados em duas regiões do Rio Grande do Sul, a parte central do Planalto e nos Campos de Cima da Serra:

- Compilação de dados já existentes que possibilitem a estimativa de estoques de carbono para as principais classes de solo e uso das terras, utilizando levantamento de dados e técnicas de geoprocessamento;
- Estimativas de estoques atuais de carbono obtidos a partir de levantamentos *in situ* com protocolos de amostragem reconhecidos, nas regiões do Planalto Riograndense e dos Campos de Cima da Serra;
- Produção de mapas-síntese com a distribuição dos estoques de carbono atualizados nestas regiões, utilizando ferramentas de geoprocessamento.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Aspectos biogeofísicos das regiões de estudo

A área de estudo abrangeu partes dos Campos de Cima da Serra e Planalto do Rio Grande do Sul delimitadas conforme a Figura 7.

4.1.1. Campos de Cima da Serra

A região é caracterizada por precipitações anuais >2000 mm e temperaturas amenas (clima temperado). Nesta região foram incluídos os municípios de São Francisco de Paula, Bom Jesus, São Jose dos Ausentes, Jaquirana e Cambará do Sul. Ali predominam Cambissolos Húmicos e Hísticos, e mais a Oeste, Latossolos Brunos, sendo também encontrados Neossolos e Nitossolos. Em geral, esses solos nas condições dos Campos de Cima da Serra são bastante ácidos, com elevados teores de MOS (Silva, et. al., 2007). A vegetação natural da região dos Campos de Cima da Serra é constituída por matas de Araucária (Floresta Ombrófila Mista) intercaladas com campos similares àqueles que ocorrem no Bioma Pampa (IBGE, 1986). Segundo Hermann et al. (2016) as florestas ocupam 38,8% e os campos 36,7%, sendo 23,5% com intervenção antrópica, especialmente agricultura e silvicultura. A silvicultura teve expressiva expansão nos anos 2000, 55.518 ha para 107.819 ha, ou seja, crescimento de 94%, sendo essa expansão principalmente sobre os campos. Os campos são usualmente manejados com uso do fogo, pelo menos a cada dois anos, com finalidade de antecipar o rebrote primaveril e aumentar a qualidade do pasto (Jacques, 2003; Rheinheimer et al., 2003; Potes et al., 2009). Estas áreas submetidas a queimadas frequentes estão sob risco de degradação de propriedades químicas (Dick et al., 2008; Potes et al., 2009). Por outro lado,

quanto à MOS nos campos, não há resultados conclusivos sobre efeito das queimadas. Fatores como temperatura do fogo, umidade do ar, disponibilidade de material inflamável, entre outros, tornam a avaliação isolada dos impactos do fogo complexa e de difícil execução (Knicker, 2007; Potes et al., 2009).

4.1.2. Região Central do Planalto do RS

A região de Ibirubá está localizada na parte central do Planalto, e é caracterizada por precipitações abundantes (média de 1700 mm ano⁻¹) e temperaturas amenas no inverno e elevadas no verão (clima subtropical). Para fins deste estudo, foram selecionados os municípios de Ibirubá, Quinze de Novembro e parte de Fortaleza dos Valos. Esta área abrange uma grande parte da bacia do Rio Jacuí-Mirim e parte da bacia do Rio Jacuí, incluindo o reservatório da Represa do Passo Real. A região está localizada em uma zona de transição entre matas de Araucária (Floresta Ombrófila Mista) os quais se encontram em sua maior área no Nordeste do RS e os campos do bioma Pampa (IBGE, 1986; Tornquist et al., 2009). Na atualidade, menos do 10% das florestas naturais e 4% das pastagens permanecem nesta região, tendo a maior parte da região sido convertida em sistemas de agricultura intensiva, especialmente para produção de grãos (Tornquist et al., 2009). O relevo é ondulado a suave ondulado, predominam Latossolos Vermelhos ocupando cerca de 85% área, foram mapeados e descritos também os Nitossolos, Neossolos e Chernossolos (Tornquist et al., 2009).

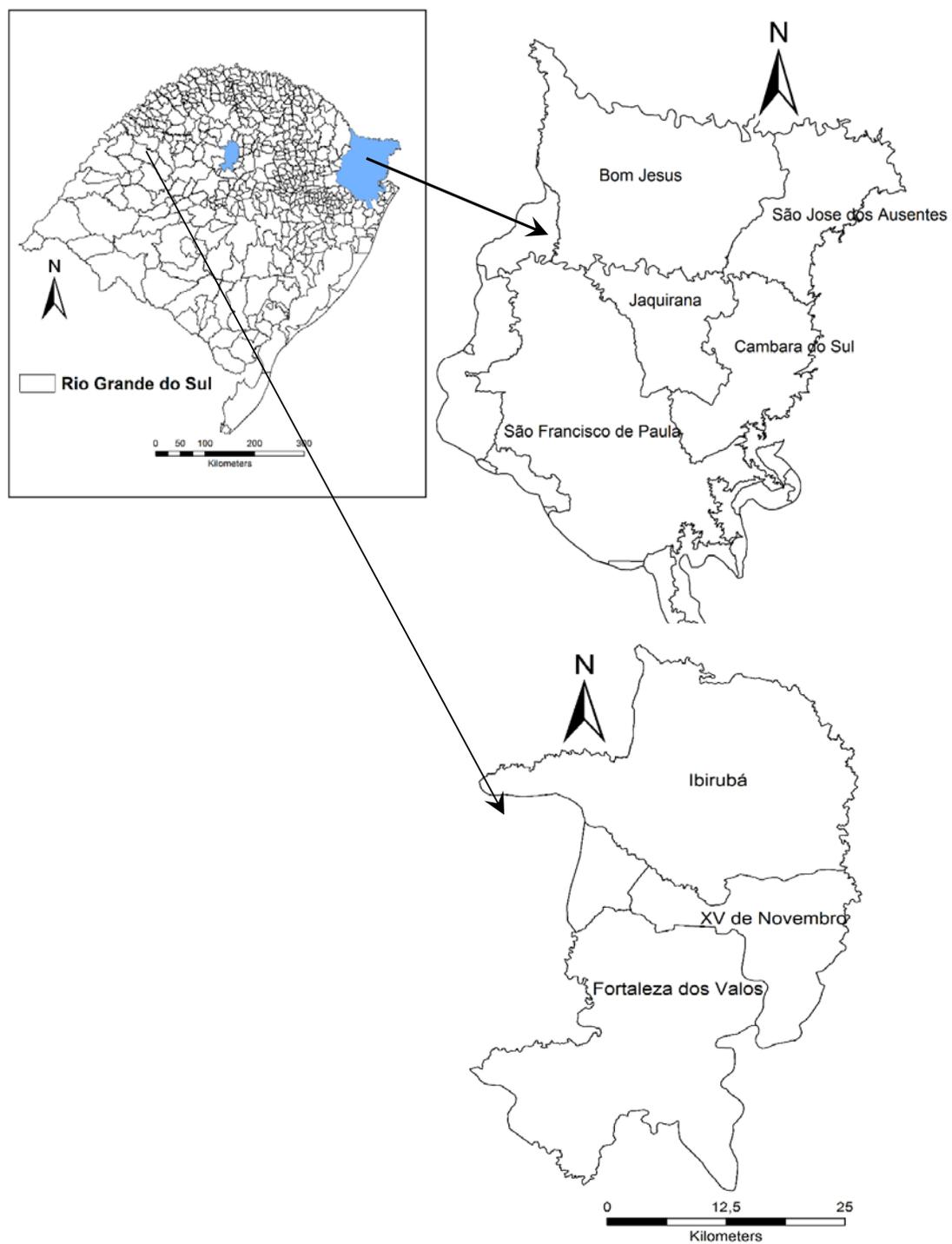


Figura 7. Localização das áreas de estudos no estado do Rio Grande do Sul.

4.2. Abordagem Metodológica

Na região dos Campos de Cima da Serra (83.520 ha) foram identificados 4 estudos (Tabela 2) e na região central do Planalto Riograndense 5 estudos (Tabela 3) avaliando ECOS. Para atingir os objetivos de atualização dos ECOS e mapeamento, foram utilizados:

- a) Dados primários: obtidos em campanhas de coleta de amostras a campo, seguidas de análises laboratoriais;
- b) Dados secundários: compilação de levantamentos, estudos e projetos de pesquisa já realizados, publicados ou em processamento por grupos de pesquisa;

4.2.1. Dados primários: amostragem de solos

Os pontos de amostragem foram aqueles já utilizados em estudos anteriores:

- na região central do Planalto - Projeto Modelagem da Dinâmica do COS (Tornquist, 2007);
- nos Campos de Cima da Serra - Projeto “Avaliação do Impacto de Mudanças no Uso de Terras nos Campos - Possibilidade de Restauração”, realizado no âmbito convênio UFRGS/TUM (Technische Universität München, Alemanha).

Os pontos de amostragem foram localizados conforme coordenadas fornecidas pelos projetos acima mencionados, sendo o protocolo seguido adaptado das recomendações de Izauralde e Rice (2006), EMBRAPA (2008) e Oliveira et al. (2014). As amostras de solo foram obtidas com escavação de minitrincheiras (30 cm de largura x 30 cm de comprimento x 40 cm profundidade). Foram coletadas amostras de solo com anéis volumétricos ($\varnothing=8$ cm, 5 cm altura), coletadas no centro das camadas de 0-10 e 10-20 e 20-30 cm para determinação da D_s e da concentração de COS (Figura 8).



Figura 8. Detalhes da condução da amostragem de solo para Ds e COS em Cambará do Sul, RS, conduzida em 2015.

Uma minitrincheira inicial foi escavada nas coordenadas indicadas nos estudos acima citados e duas minitrincheiras adicionais, distantes 30m, alinhadas conforme a declividade do terreno, para estabelecer ECOS médios por local e caracterizar ainda que minimamente a variabilidade (desvios padrão). Adicionalmente, para estabelecer a profundidade, observar transição de horizontes e classificar de forma expedita esses solos, foram feitas tradagens com trado holandês até atingir horizonte C, R, ou a profundidade máxima de 1 m, desde a base da minitrincheira.

As amostras de solo foram secas em estufa a 50°C por cinco dias, sendo então o solo triturado, homogeneizado e peneirado (malha 2 mm). O COS foi analisado em equipamento analisador elementar C/N (Thermo Flash) a partir de alíquotas de 1g, moídas finamente em gral de ágata até passar na peneira 0,25 mm. Posteriormente, foi determinada a umidade residual das amostras secas a 50°C para fazer a correção de Ds e COS em base seca.

Usualmente os protocolos para estudos de ECOS têm indicado a coleta de amostras em separado para Ds e COS (por exemplo, Oliveira et al., 2014) em cada ponto (unidade amostral). Por outro lado, a utilização de uma mesma amostra de solo para obtenção da Ds e COS tem sido adotada em estudos regionais, nos quais um grande número de amostras é coletado e transportado, para diminuir o volume de solo e facilitar o processamento, como

exemplificado por Garten e Hanson (2006), Pachompon et al. (2010) e Schöning et al. (2013).

O cálculo dos ECOS pela equação (Ellert e Bettany, 1995):

$$\text{estoque} = C \times \text{prof} \times \rho \times 10$$

onde

estoque = estoque de COS (Mg C ha⁻¹)

C = concentração de COS (kg Mg⁻¹)

prof = espessura da camada (m)

ρ = densidade do solo (Mg m⁻³)

equação 1

Para o cálculo dos ECOS foi usado o método de camada equivalente (Embrapa, 2008), portanto este estudo não adotou a correção por massa equivalente proposta por Ellert e Bettany (1995) porque não seria possível estabelecer de forma conclusiva e inequívoca mudanças da densidade do solo atribuídas exclusivamente aos sistemas de uso e manejo de solos. Por exemplo, não teria sido possível avaliar a eventual ocorrência de erosão ou movimentação de solo por preparos continuados (*tillage erosion*). Além disso, a abordagem da camada equivalente adotada é consistente com outros estudos regionais de avaliação de ECOS como Bernoux et al. (2002), Pachompon et al. (2010), Schöning et al. (2013).

4.2.2. Dados secundários: uso de bases de dados

O mapa de Tornquist *et al.* (2009) foi usado como mapa-base neste estudo de revisão e detalhamento de ECOS em regiões do RS (Figura 9). Dados de levantamentos e estudos que incluíram COS e Ds, com localização dos pontos amostrados, foram utilizados:

- Campos de Cima da Serra (Figura 10): Jungblut & Spinelli (1997); Düming et al. (2008); Potes et al. (2009), além de dados não publicados de Silva et al. (2008)

- Região central do Planalto (Figura 11): Santos et al. (1970); Pötter et al. (1980); Coelho, 1996; Tornquist, 2007; Broetto et al. (2012), Ferreira (2014).

Nos estudos que apenas reportaram teores de COS, mas que não amostraram solos para determinação da Ds, foi utilizada a função de pedotransferência desenvolvida para solos brasileiros por Benites et al. (2007), como recomendado por Oliveira (2014), para estimar Ds na camada superficial de 0-30 cm:

$$DS = 1.568 - 0.0005 \times ARG - 0.009 \times C$$

$$(r^2 = 0.63)$$

onde

DS = densidade do solo (g cm^{-3})

ARG = teor de argila (g kg^{-1})

C = concentração de C orgânico (g kg^{-1})

equação 2

Mesmo não tendo realizado explicitamente uma avaliação do desempenho (validação) desta função nas condições locais, as estimativas de Ds calculadas variaram entre 0,7-1,5 g cm^{-3} , portanto incluídas na amplitude de Ds comumente observada no RS e consistente com Ds obtidas na etapa de campo neste estudo.

Uma limitação adicional dos dados históricos disponíveis utilizados neste estudo se deve ao uso do método da combustão úmida (Walkley-Black) para determinar o COS. As diferentes versões deste método usam fatores de correção para compensar a recuperação incompleta do COS neste método devida a compostos orgânicos mais resistentes à degradação. Avaliações destes fatores de correção sugerem que estes podem ser inadequados em algumas situações, e levar à subestimação de COS, e, portanto, ECOS (Skjemstad et al., 2000; Pereira et al., 2006; Dieckow et al., 2007, Oliveira et al, 2014). Esta limitação não se aplica às análises conduzidas com o método da combustão seca, considerado método de referência (Oliveira et al, 2014).

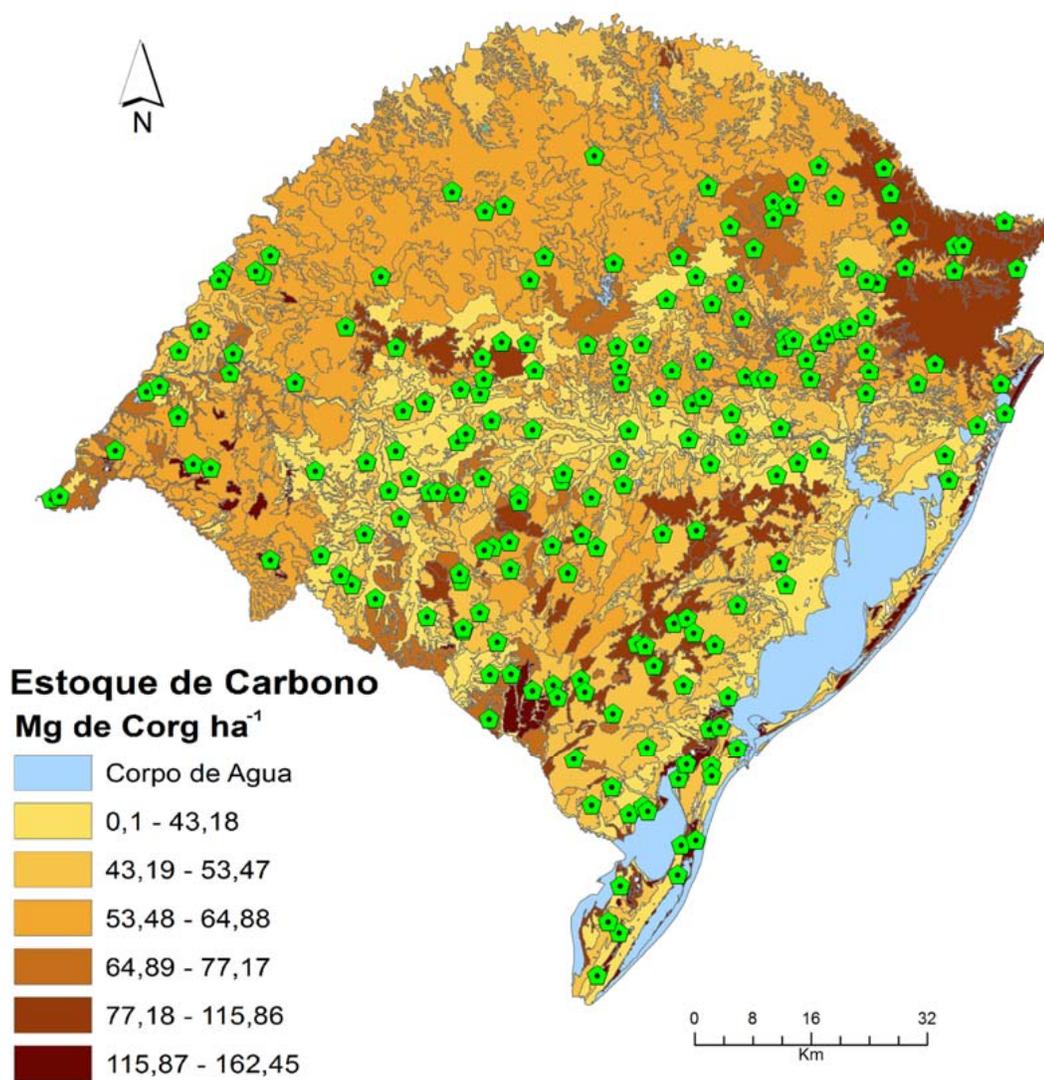


Figura 9. Mapa de estoques de COS com a localização dos perfis do Levantamento Exploratório de Solos (Projeto RADAMBRASIL) usados por Tornquist (2009).

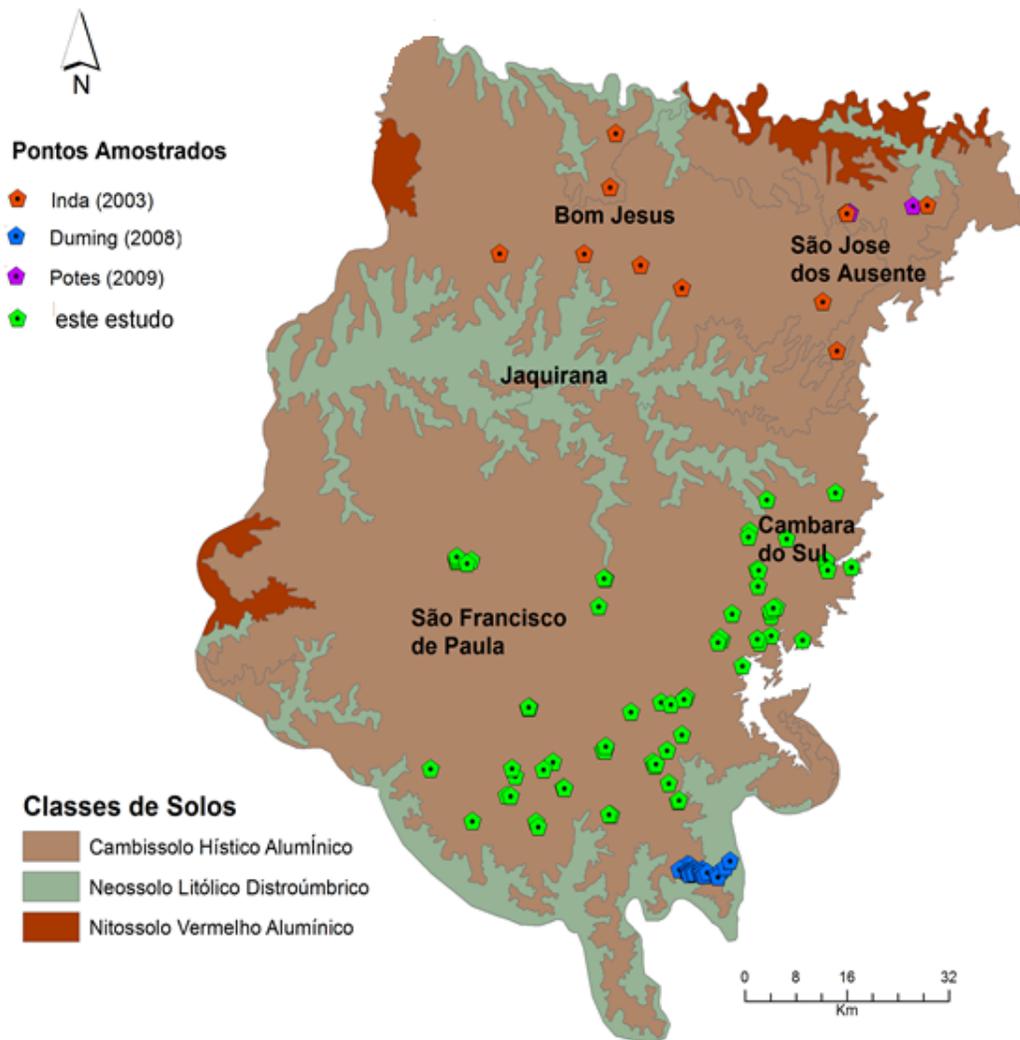


Figura 10. Solos da Região dos Campos de Cima da Serra (conforme Levantamento Exploratório/Projeto RADAMBRASIL), com a localização dos perfis utilizados neste estudo.

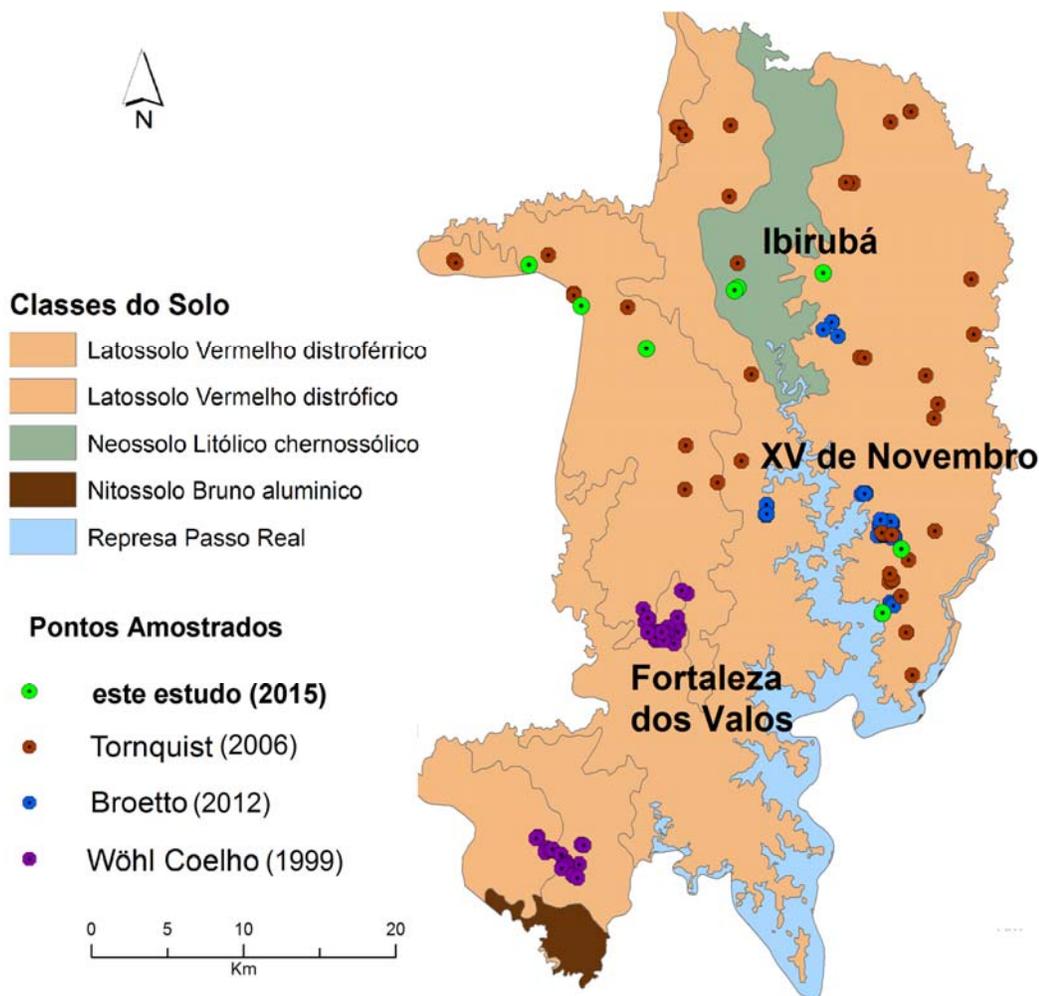


Figura 11. Mapa de solos com a localização de perfis utilizados neste estudo na região central do Planalto do RS.

4.2.3. Uso das terras

Para caracterizar a distribuição espacial do uso das terras na região dos Campos de Cima da Serra foi utilizado o mapa vetorial resultado de trabalho de classificação conduzido pelo IBGE (2016b) com escala original de 1:100.000 (Figura 12). A legenda original foi adaptada e simplificada para as classes de uso agrícola (lavouras), campos, matas e áreas urbanas. Esta reclassificação foi compatível com o Projeto UFRGS/TUM (2013-2015), que utilizou as seguintes classes, aqui mantendo-se as siglas (letras entre parênteses) utilizadas no

projeto para fins de comparação com as publicações advindas deste projeto (Hermann et al., 2016):

- *Pousio pós-agricultura*: áreas sem cultivos após agricultura atualmente sem manejo, apresentando estágios iniciais de sucessão natural (Figura 13a), subdivididas em curto e longo prazo:
 - com até 3 anos após uso agrícola (AAS),
 - de 3 até 10 anos após uso agrícola (AAL).

- *Campos sobressemeados*: áreas de campos sobre as quais foram implantadas pastagens selecionadas de trevos (*Trifolium* sp), cornichão (*Lotus corniculatus*) e azevém (*Lolium multiflorum*) (Figura 13b) (GO);

- *Campos naturais*: campos com pecuária extensiva (Figura 13c); os quais foram classificados segundo o histórico de manejo em:
 - campos com pecuária sem queima até hoje (GNU);
 - campos com pecuária que apresentam histórico de queima como prática de manejo (GNB);

- *Sucessão pós-Pinus* : área em sucessão após silvicultura com *Pinus taeda* ou *Pinus ellioti* (PP). (Figura 13d)

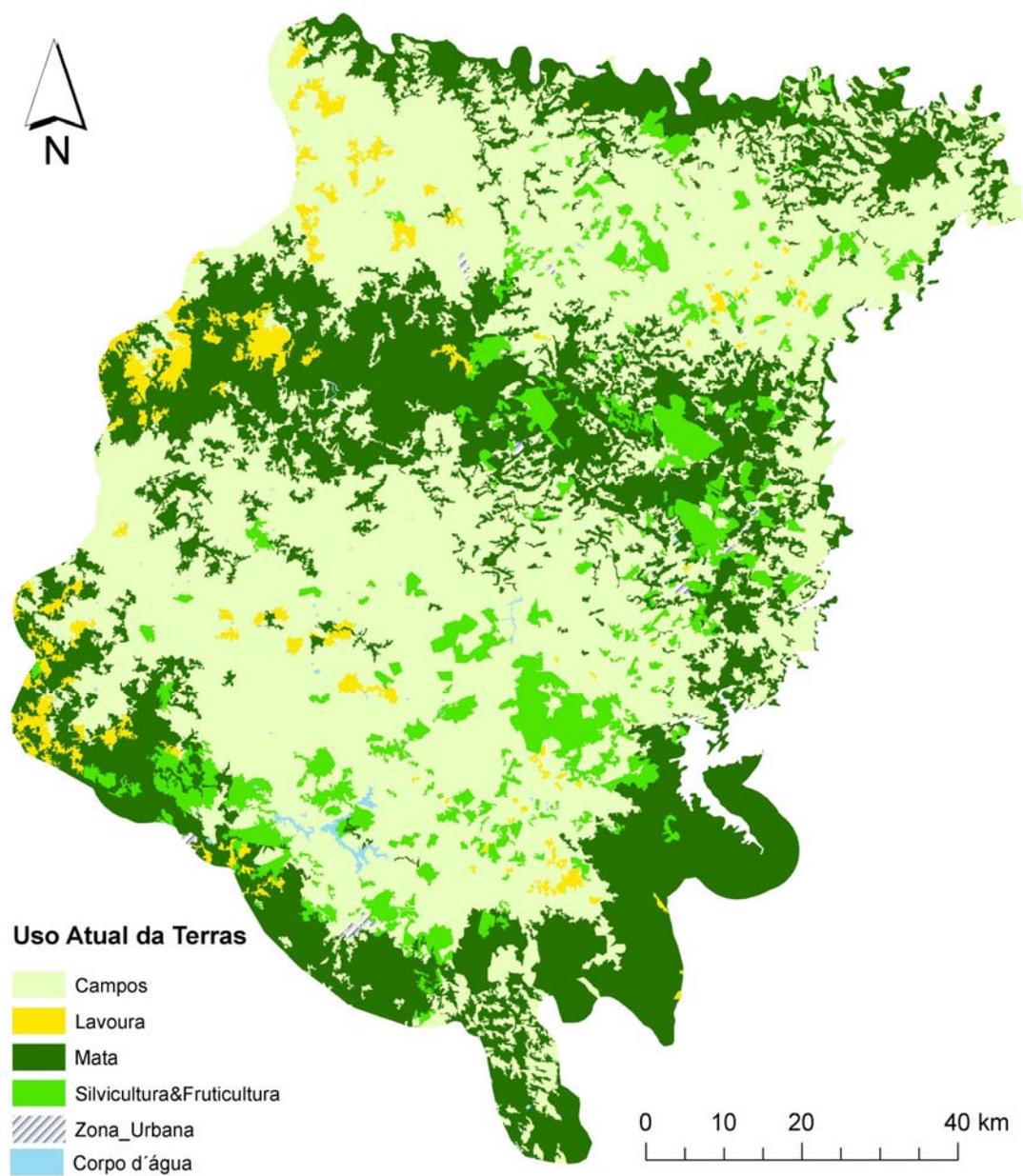


Figura 12. Mapa de uso das terras da região dos Campos de Cima da Serra adaptado de IBGE (2016c).

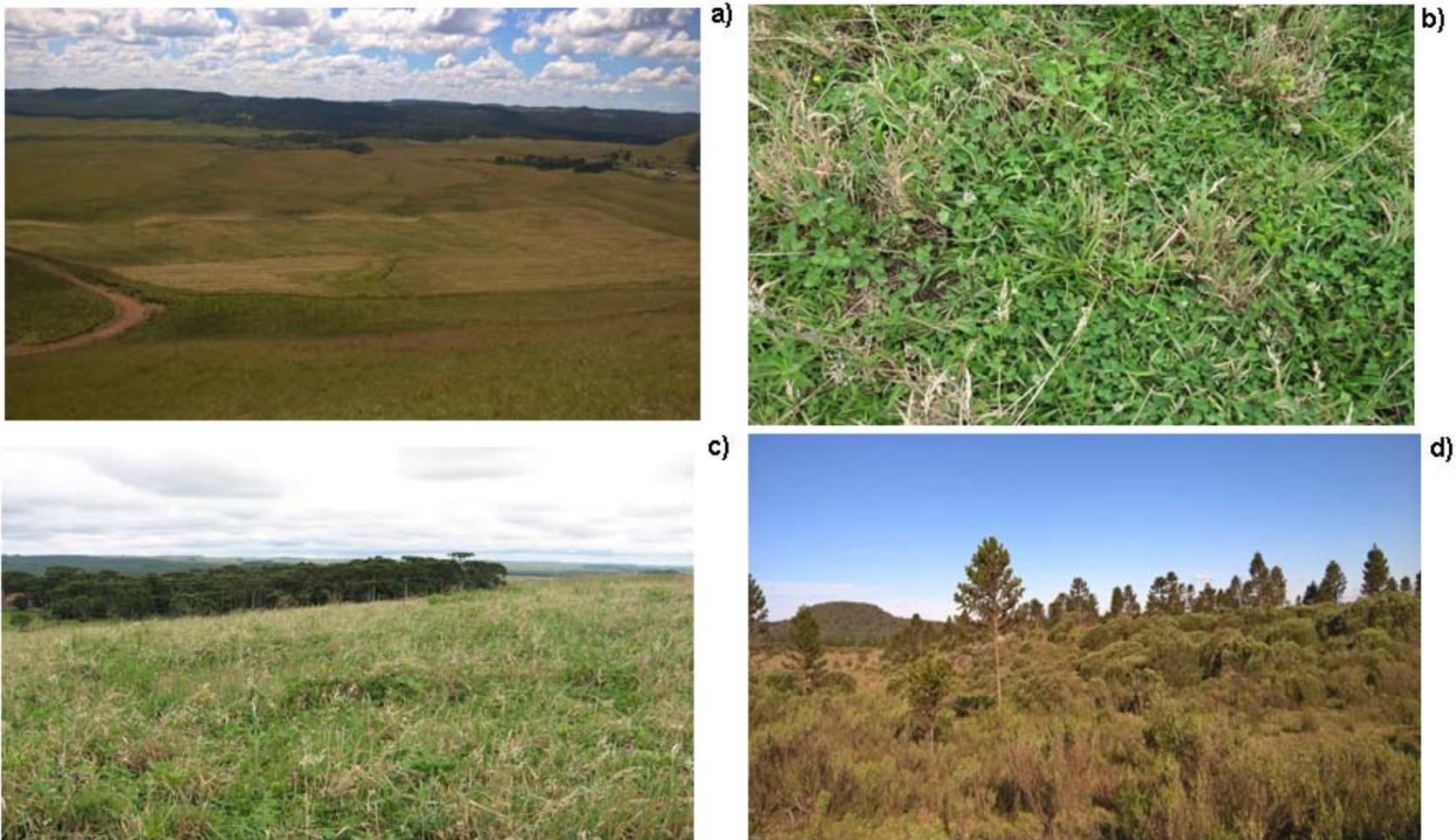


Figura 13. Exemplos de uso das terras dos Campos de Cima da Serra: a) área em pousio pós-agricultura; b) área de campos sobressemeados; c) área de campos naturais com queima; d) área de sucessão pós-silvicultura com *Pinus* sp.

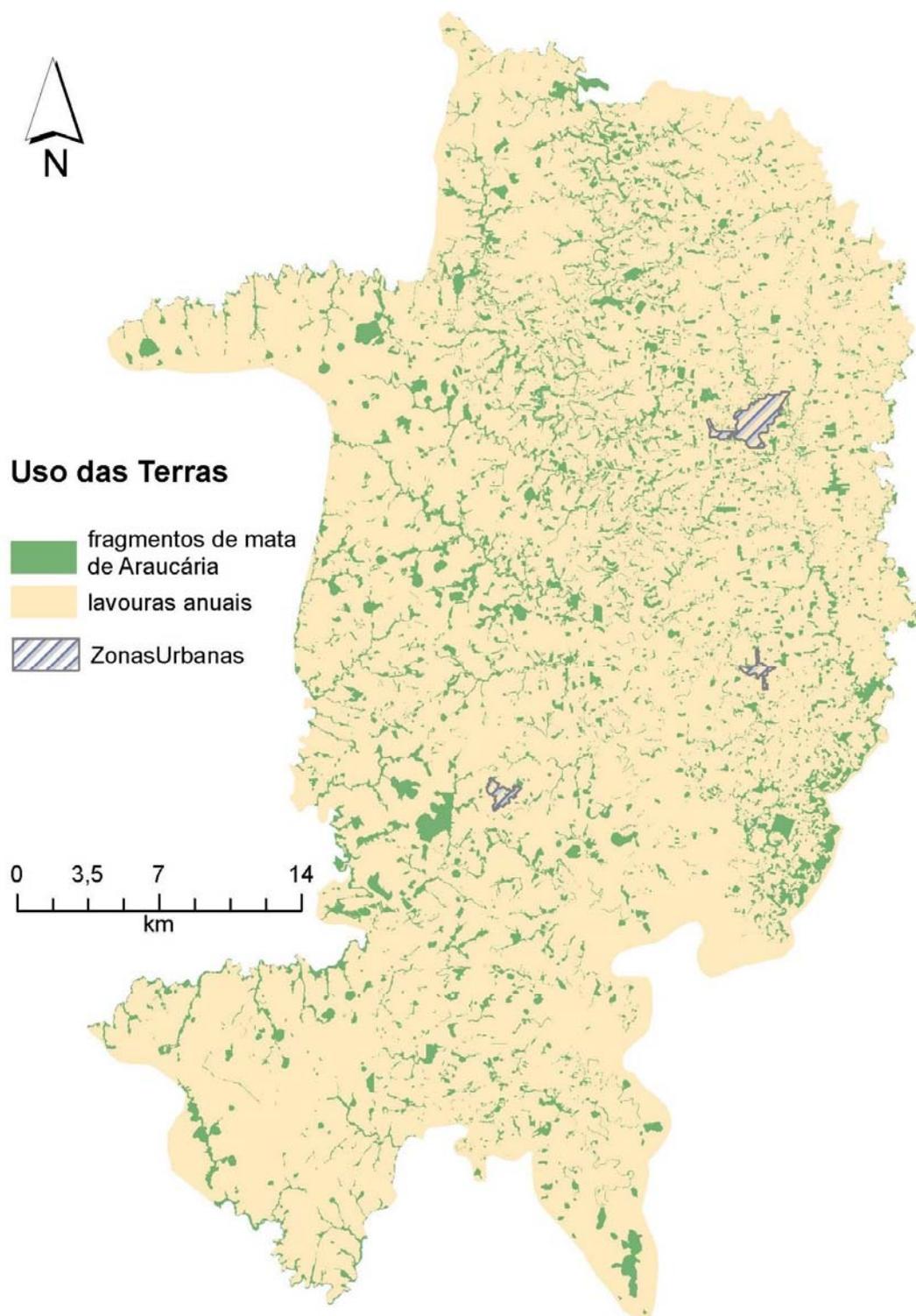


Figura 14. Mapa de uso atual das terras da região central do Planalto do RS.

Na região central do Planalto do RS, o uso atual das terras foi delimitado na escala 1:5.000 mediante interpretação visual de imagens de satélite em ambiente de geoprocessamento, permitindo a obtenção de um mapa com legenda simplificada (classes de uso agrícola, matas e zonas urbanas). As imagens orbitais de alta resolução foram obtidas da coleção do ArcGIS 10.3 (*basemap*).

Essa coleção contém imagens dos satélites QuickBird e GeoEye obtidas por fusões das bandas multiespectrais e pancromáticas formando um mosaico georreferenciado e ortorretificado. As imagens usadas neste estudo foram obtidas entre 2013 e 2015. O uso das terras na região do Planalto foi classificado segundo as seguintes classes:

- Lavouras (Figura 15a): áreas destinadas para agricultura anual de grãos, culturas de cobertura e pastagens anuais, usualmente sob Sistema Plantio Direto. Pastagens perenes (especialmente com Tifton) também são incluídas nesta classe.
- Mata (Figura 15b): área de fragmentos de Mata de Araucária em diferentes graus de degradação ou regeneração;



Figura 15. Exemplos de uso das terras no Planalto do RS :a) Área de lavoura, médio do RS; b) Fragmento de Mata Atlântica

4.3. Análise estatística

Para apresentar os dados analíticos integrando os fatores classe de solo e uso das terras foi utilizada a ferramenta estatística dos *boxplots*, identificado os valores extremos (*outlyers*) como valores $>1,5$ vezes que o intervalo interquartil.

Adicionalmente, foi conduzida análise de variância utilizando o programa estatístico SAS Studio (SAS Institute, 2016) considerando fatores classe de solo e de uso das terras, com separação de médias pelo teste de Fisher para Diferença Mínima Significativa ao nível de significância 5%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ECOS obtidos de estudos anteriores

A pesquisa realizada em bases de dados de artigos científicos e de dissertações e teses indicou vários estudos que coletaram amostras e calcularam ou estimaram ECOS nas duas regiões deste estudo.

5.1.1. Campos de Cima da Serra

A integração dos dados levantados, em sua maior parte publicados, permitiu o cálculo dos estoques médios de COS para região de Campos de Cima da Serra, considerando as classes de solo e de uso das terras predominantes (Tabela 4). Os maiores ECOS foram observados nos Neossolos, o que pode ser explicado principalmente pela pouca profundidade desses solos, no máximo entre 20-30 cm, condição que favorece o acúmulo de água e conseqüente acúmulo de matéria orgânica, nesta região com elevada precipitação média anual (> 2000mm). Os Organossolos identificados na condição e abrangência deste estudo apresentaram concentrações elevadas de COS, até 507 g C kg⁻¹ (cf. Kämpf e Schneider, 1989), mas com Ds reduzidas, menores que 0,3 g cm⁻³ (Düming et al, 2007), com mínimo de 0,1 g cm⁻³ (Kämpf e Schneider, 1989). Os ECOS calculados para os Organossolos foram menores (média= 78,2 Mg C ha⁻¹ na camada 0-30cm) que nas classes de solos minerais nesta região.

Tabela 4. Síntese dos estoques médios de COS reportados ou calculados na região de Campos de Cima da Serra.

ESTUDO	SOLO	USO	ESTOQUE DE COS (Mg ha ⁻¹)		
			0 - 10 cm	0 - 20 cm	0 - 30 cm
Kämpf e Schneider (1989) Jungblut e Spinelli (1997)	Organossolo Fólico	campo	45,6	91,3	134,3
	Cambissolo Hístico	mata	75,8	155,2	233,3
	Nitossolo Vermelho	mata	48,3	96,6	127,8
	Neossolo Litólico	mata	78,0	156,0	234,1
	Organossolo Háplico	mata	36,5	55,9	75,2
Inda et al. (2008)	Cambissolo Hístico	campo	40,6	80,8	118,7
	Neossolo Litólico	campo	61,2	122,4	180,2
Duming et al. (2008)	Neossolo Litólico	campo	94,2	198,5	332,3
	Neossolo Litólico	mata	75,0	177,1	238,0
	Cambissolo Hístico	campo	87,0	163,9	300,7
	Cambissolo Hístico	mata	72,3	139,2	243,4
	Nitossolo Vermelho	campo	73,5	134,0	255,9
	Organossolo Fólico	campo	28,1	57,6	81,5
Potes et al. (2009)	Neossolo Litólico	campo	62,1	-	-
	Neossolo Litólico	mata	80,1	-	-

Tabela 4. (continuação)

Tornquist et al. (2009)	Cambissolo Hístico	<i>uso não diferenciado</i>	40,4	80,8	121,2
	Neossolo Litólico		80,5	161,1	241,6
	Nitossolo Vermelho		30,1	60,1	90,2
	Organossolo Háplico		31,1	62,1	93,2

5.1.2. Planalto do Rio Grande do Sul

Seis estudos foram identificados na região central do Planalto do RS com ECOS reportados ou com dados de teores de COS que permitiram sua estimativa de ECOS (Tabela 5). Os estudos de Tornquist (2007), Broetto (2012) e Ferreira (2014) apresentam ECOS obtidos à campo, enquanto os outros necessitaram D_s obtida com a função de pedotransferência proposta por Benites et al. (2007) para estimativa ECOS no Brasil. Nesta região, foram identificados predominantemente os Latossolos Vermelhos Distróficos e Distroféricos, mas também foram descritos Neossolos, Nitossolos e Chernossolos

Considerando a camada de 0-30 cm, os Neossolos Regolíticos sob mata apresentaram o maior ECOS (105 Mg C ha^{-1}), seguidos dos Neossolos Flúvicos. É relevante apontar que os ECOS em Latossolos sob lavouras atualmente estão muito próximos aos estoques sob mata ou campos, ou seja muito próximos à vegetação original, o que pode ser atribuído aos sistemas de manejo utilizados nos últimos 25 anos, que além de altamente produtivos, contribuem com a incorporação de mais C de biomassa vegetal nos solos (Sisti et al., 2004; Tornquist et al., 2009; Ferreira, 2014).

Tabela 5. Síntese dos ECOS médios reportados ou calculados na região central do Planalto do RS.

ESTUDO	SOLO		USO	ECOS (Mg ha ⁻¹)		
				0-10cm	0-20cm	0-30cm
Santos (1970)	Latossolo Vermelho	Distrófico	campo	14,1	28,2	42,3
		Distroférrico	campo	18,6	37,2	49,3
	Chernossolo Argilúvico	lavoura	24,6	49,2	71,8	
	Neossolo Litólico	lavoura	27,6	55,1	82,7	
Pötter e Hochmuller (1980)	Latossolo Vermelho	Distroférrico	lavoura	18,5	35,9	51,0
			mata	21,6	39,3	53,1
Coelho (1999)	Latossolo Vermelho	Distroférrico	mata	17,6	35,2	47,0
			lavoura	24,1	48,3	61,7
		Distrófico	campo	13,7	27,5	39,6
			lavoura	17,5	35,1	50,2
Tornquist (2007)	Latossolo Vermelho	Distroférrico	mata	34,3	59,3	80,2
			lavoura	30,8	55,9	77,7
			campo	30,9	55,1	76,8
		Distrófico	mata	30,4	49,7	64,2
			lavoura	30,7	54,5	74,5
			campo	28,4	52,6	74,3

Tabela 5. (continuação)

Broetto (2012)	Neossolo Regolítico		mata	40,5	76,2	105,0
			lavoura	29,6	55,3	76,8
	Neossolo Flúvico		mata	32,7	68,6	96,2
			lavoura	25,6	50,4	84,2
	Latossolo Vermelho	Distroférico	lavoura	29,6	55,3	76,8
			mata	28,8	47,2	62,2
			Campo	28,4	47,7	64,5
	Distrófico		Lavoura	28,9	50,1	67,7
			Mata	29,2	51,6	71,0
			Campo	29,3	45,8	59,5
Ferreira (2014)	Latossolo Vermelho	Distrófico	Lavoura	22,8	30,7	64,7

5.2. ECOS na região Campos de Cima da Serra obtidos neste estudo.

As campanhas de amostragem conduzidas nos locais previamente estudados no Projeto UFRGS/TUM na região de Campos de Cima da Serra entre 2013-2015 (na Figura 10, pontos identificados como “este estudo”) e posterior análise permitiram identificar diferenças de ECOS entre classes de solo e de uso das terras (Tabela 6). Considerando apenas as classes de solos, independente do uso atual, os Nitossolo Brunos e Neossolo Litólicos apresentaram maiores ECOS. É importante ressaltar que existiam poucos pontos de coleta ($n=3$) localizados em Nitossolos Brunos, o que prejudica uma análise estatística com maior poder, havendo, portanto maiores incertezas nos ECOS médios desta classe de solos.

Os maiores ECOS foram encontrados nos campos naturais sem queima (GNU) em todas as classes de solos encontradas, com maior valor médio na camada 0-30 cm (180, 1 Mg C ha⁻¹). Os ECOS não apresentaram diferença entre campos sem queima e com queima apenas na camada mais superficial (0-10cm). Assim efeito da queima dos campos parece efetivamente ter influência no acúmulo de COS, como já referenciado por (Harris et al., 2007), que sugeriu que as queimadas podem levar a diminuição do sistema radicular, mas esse efeito desaparece ao considerar camadas mais profundas estudadas (0-20 e 0-30 cm). Considerando essas camadas, os ECOS foram maiores que outros usos mais intensivos dos solos, como agricultura e silvicultura (com *Pinus*), e inclusive campos manejados com sobressemeadura de espécies forrageiras e correção/adubação dos solos. Esses menores ECOS observados nesta última situação pode ser em parte explicado pela grande retirada de biomassa pelo pastejo.

Tabela 6. Síntese dos resultados das análises de ECOS por classe de solo e uso das terras

Uso das Terras ¹	Solos									<i>média dos usos das terras</i>					
	0-10cm			0-20cm			0-30cm			0-10cm		10-20cm		20-30cm	
	NB	CH	NL	NB	CH	NL	NB	CH	NL	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
GNU	92,8	62,0	82,7	168,6	121,7	168,6	244,4	172,6	191,1	66,3a	7,9	128,8a	11,8	180,1a	18,4
GNB	-	57,8	66,6	-	115,5	127,5	-	167,9	180,5	59,7b	9,2	118,1a	17,6	170,6a	15,3
GO	53,2	59,8	63,6	99,9	112,3	112,0	135,3	155,8	-	59,5b	6,8	111,2b	9,7	153,7b	13,2
PP	67,9	48,6	64,1	133,0	105,6	122,3	182,1	159,4	179,7	54,4b	0,9	112,3b	16,7	166,8b	15,2
AA	-	58,3	49,0	-	108,7	87,5	-	150,4	137,7	57,2b	7,7	106,0b	7,9	149,1b	9,7
<i>média dos solos</i>															
\bar{x}	71,3a ¹	58,1b	69,2a	133,8a	113,9b	125,8a	187,3a	162,4b	179,2a						
s	8,1	7,7	10,9	9,8	11,8	18,5	14,7	14,2	7,1						

NB=Nitossolos Brunos; CH=Cambissolos Hísticos; NL=Neossolos Litólicos; GNB = campos com queima; GNU = campos sem queima; GO = campos sobressemeados; PP = pousio pós-Pinus; AA = pousio pós-agricultura.

¹médias com letras iguais comparando classes de solos e usos das terras por camada não diferem ao nível de significância de 5%.

Uma caracterização mais detalhada dos dados obtidos pode ser mais informativa, como apresentado na Figura 15. A utilização de *boxplots* explicitaram a grande variabilidade dos ECOS na região. Por exemplo, foi possível observar que os ECOS apresentaram maior amplitude de variação nos Cambissolos Hísticos e o Neossolos Litólicos em comparação aos Nitossolos na camada 0-10 cm. Nesta camada, os Nitossolos inclusive apresentaram valores discrepantes (extremos), próximo a 100 Mg C ha⁻¹. A análise de variância considerando os fatores solos e uso das terras mostrou que nesta camada os Nitossolos Brunos e Neossolos Litólicos diferiram significativamente dos Cambissolos Hísticos ($p < 0.05$). Comparando os usos das terras na região, os campos sem queima (GNU) tiveram ECOS significativamente maiores que a maioria dos outros usos, com exceção de pousio de curto prazo pós agricultura (AAS). Assim também na camada de 0-20 os ECOS em Cambissolos Hísticos têm em média estoques significativamente inferiores aos Neossolos Litólicos e Nitossolos Brunos ($p < 0.05$).

Uma comparação os usos das terras, GNU (campos nunca queimados) apresentaram ECOS maiores que GO (campos sobressemeados), PP (pousio pós-*Pinus*) e AAL (pousio pós-agricultura, de longo prazo), não sendo diferentes de GNB (campos queimados) e AAS (pousio pós-agricultura de curto prazo) (Figura 15b) Em quanto a camada de 0-30 os ECOS (Figura 15 c), repete-se as observações de que Cambissolos Hísticos têm estoques significativamente inferiores aos Neossolos Litólicos e Nitossolos Brunos ($p < 0.05$), porém quanto aos usos das terras, os ECOS em GNU (campos nunca queimados) e GNB (campos queimados) foram maiores que GO (campos sobressemeados) e AAL (pousio pós-agricultura, de longo prazo), mas não foram diferentes de e AAS (pousio pós-agricultura de curto prazo) e PP (pousio pós-*Pinus*).

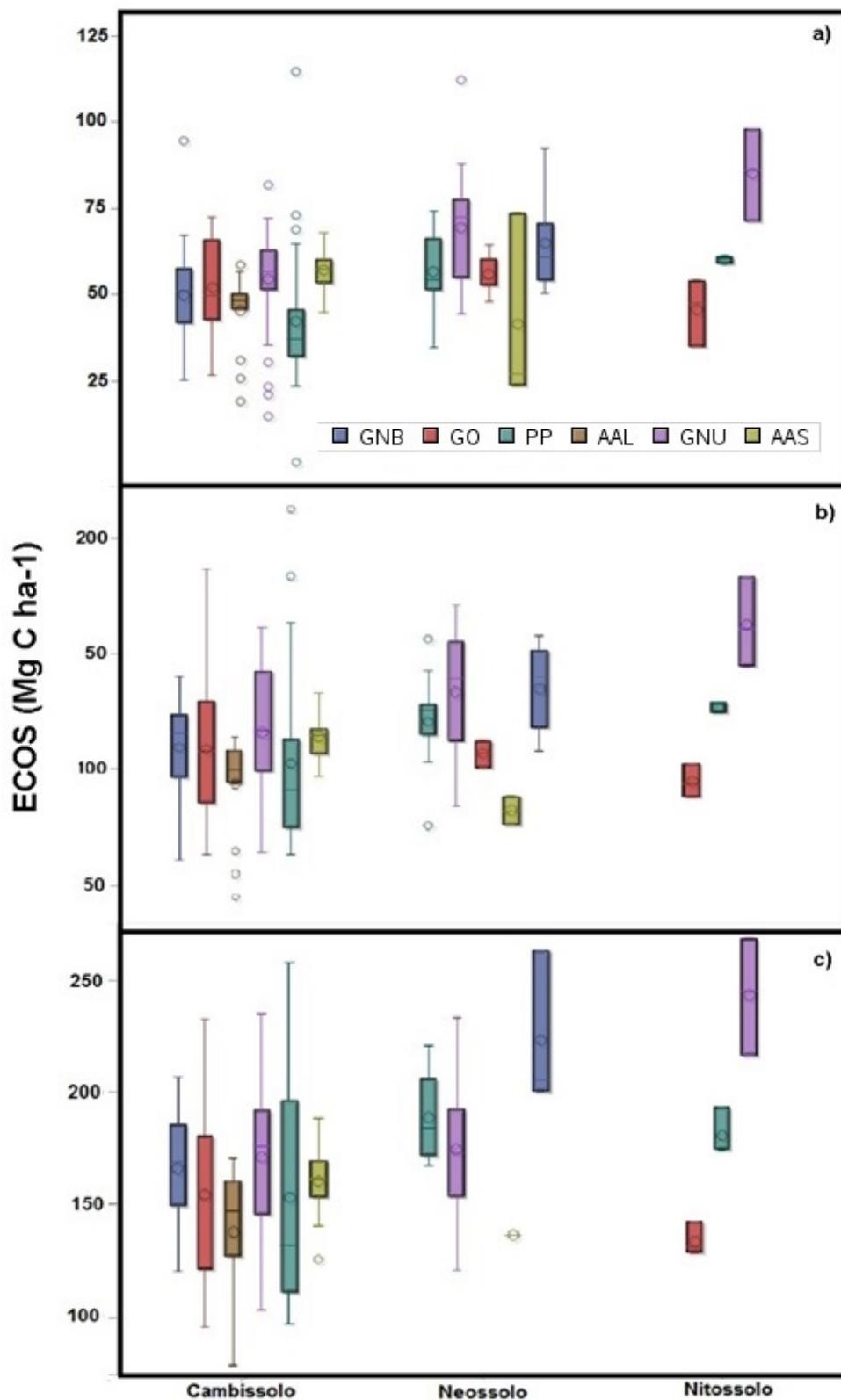


Figura 16. *Boxplots* de ECOS por classe solo e de uso das terras nas três camadas estudadas. a) 0-10 cm b) 0-20 cm c) 0-30 cm.

5.2.1. Mapa de ECOS nos Campos de Cima da Serra

A compilação dos resultados apresentados obtidos como apresentado na seção anterior e de outros estudos contemporâneos sintetizados na Tabela 4 possibilitou uma estimativa de ECOS médios com uma ampla base dos dados analíticos (Tabela 7), com abrangência de toda a região estabelecida nos Campos de Cima da Serra para este estudo (Figura 10). A espacialização destes dados em ambiente de geoprocessamento gerou um mapa revisado de ECOS para a região de Campos de Cima da Serra (Figura 21). A escolha da preparação do mapa para apresentação dos ECOS na camada 0-30cm seguiu a recomendação do IPCC (2001) e de Oliveira et al. (2014). Esta camada escolhida também é consistente com mapeamentos anteriores de ECOS que abrangeram a região (Bernoux et al. 2003; Tornquist et al., 2009). Os polígonos uniformes do mapa (Figura 21) foram resultantes da sobreposição (*overlay*) do mapa de solos (1:1.000.000) e mapa de uso das terras (1:100.000) e posterior atribuição dos ECOS conforme classes de solos e uso das terras conforme as médias obtidas na Tabela 7, pela inserção manual dos valores na tabela de atributos dos arquivos digitais (*shapefile*).

O mapa obtido permite observar em nível mais detalhado a distribuição dos ECOS na região. Fica evidente que a maior área apresenta ECOS (0-30 cm) entre 173,4 e 200,1 Mg C ha⁻¹.

Tabela 7. Compilação dos ECOS deste e outros estudos identificados na região dos Campos de Cima da Serra.

Solos e Uso das Terras	Estudo	ECOS							
		<i>n</i>	0-10cm		0-20cm		0-30cm		
			\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
	 Mg ha ⁻¹							
Cambissolos	média geral	80	61,4	36,3	121,1	84,6	181,2	134,7	
Campo		50	61,2	21,1	117,3	35,0	173,1	87,1	
	<i>este estudo</i>	37	60,0	6,9	116,2	10,5	164,5	14,3	
	Duming ¹	6	87,9	18,2	156,6	28,8	274,1	81,3	
	Inda	6	40,6	8,1	80,8	16,8	118,7	27,8	
	Jumblut	1	69,9	-	139,8	-	209,7	-	
Silvicultura (<i>Pinus</i>)		22	62,9	29,1	134,31	76,6	210,9	102,3	
	<i>este estudo</i>	8	49,3	14,4	108,8	21,9	164,6	18,3	
sucessão	Duming	11	71,1	19,8	151,5	66,3	240,8	96,8	
	Jumblut	3	69,5	15,8	138,9	31,5	225,0	27,7	
plantio 5 anos	Balbinot	1	41,9	-	83,9	-	115,8	-	
Lavouras		8	58,3	5,1	108,7	7,9	150,5	9,7	
	<i>este estudo</i>	8	58,3	5,1	108,7	7,9	150,5	9,7	

Tabela 7.(continuação)

Neossolos	média	34	72,4	25,5	144,2	61,0	215,3	53,7
Campo		21	73,8	12,9	139,9	43,0	215,6	43,2
	<i>este estudo</i>	8	74,3	10,2	133,3	22,8	185,8	29,1
	Duming	3	104,1	6,2	217,9	35,1	332,3	30,3
	Inda	3	60,7	2,4	121,5	4,8	182,2	7,2
	Jungblut	1	86,1	-	172,3	-	258,4	-
	Potes	6	62,5	4,3	113,6	8,4	206,5	7,1
Lavouras		1	49,0	-	87,5	-	137,7	-
	<i>este estudo</i>	1	49,0	-	87,5	-	137,7	-
Silvicultura		5	69,1	8,1	130,1	13,1	190,4	7,1
	Duming	1	89,2	-	161,2	-	233,2	-
	<i>este estudo</i>	4	64,1	8,1	122,3	13,1	179,7	7,1
Mata		7	74,0	20,4	153,1	41,3	212,8	31,2
	Duming	2	67,9	4,2	185,0	11,7	252,5	3,5
	Jumblut	2	64,2	19,5	128,4	39,1	173,1	31,0
	Potes	3	84,7	4,1	148,2	6,6		

Tabela 7. (continuação)

Nitossolos	média	6	65,0	11,8	123,0	14,0	186,5	16,9
Campo		3	54,8	16,3	105,2	25,1	211,8	16,7
	<i>este estudo</i>	2	73,0	11,6	134,2	13,5	189,8	16,7
	Duming	1	73,5	-	134,0	-	255,9	-
Silvicultura		3	56,6	3,1	114,8	6,4	155,0	13,6
	<i>este estudo</i>	1	67,9		133,0		182,2	
	Jungblut	2	45,4	1,9	90,8	3,7	118,2	2,6
Organossolos²	média	2	58,2	6,9	101,0	21,1	140,7	39,6
Campo úmido	Duming	1	53,3	-	86,1	-	112,7	-
	Jumblut	1	63,1	-	115,9	-	168,7	-
Total Geral		126	63,8	36,8	120,2	79,5	173,5	76,8

¹ as referências dos estudos identificados foram simplificadas para facilitar a construção da tabela. As referências completas podem ser encontradas na Tabela 4.

² os Organossolos são frequentes na região, mas em pequenas áreas, sendo portanto tratados como inclusões nas unidades de mapeamentos.

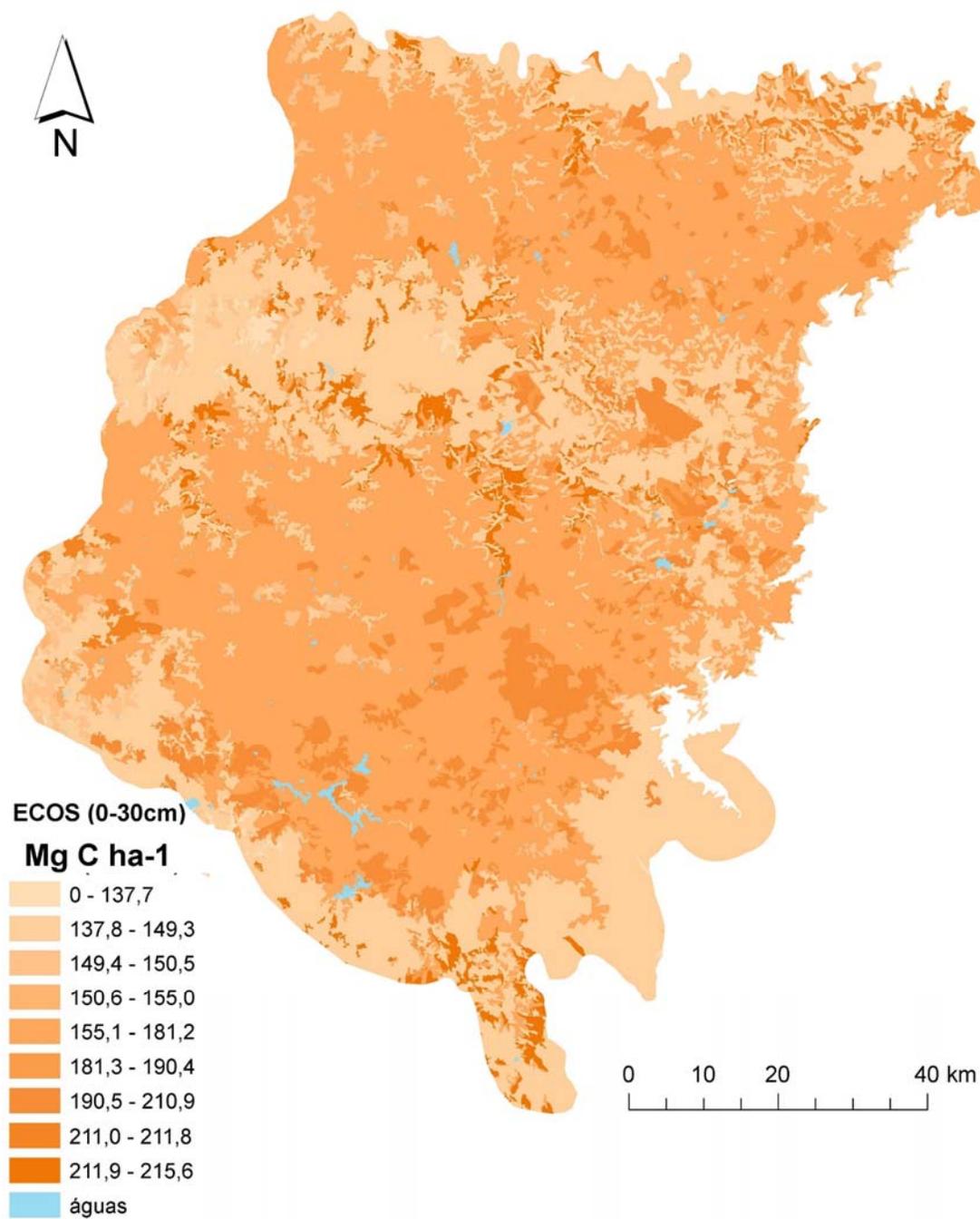


Figura 17. Mapa revisado de ECOS (0-30 cm) para a região dos Campos de cima da Serra.

Uma comparação dos ECOS obtidos com outros reportados em estudos regionais nos Campos de Cima da Serra, todos obtidos com dados secundários a partir de base de dados de levantamentos, pode revelar aspectos relevantes deste trabalho (Tabela 8). Os ECOS na camada de 0-30cm obtidos neste estudo são cerca de 100% maiores que os indicados tanto no estudo de Tornquist et al. (2009) quanto nas médias globais propostas pelo IPCC para fins de preparação dos Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa. Considerando o protocolo de amostragem utilizado, consistentes com as recomendações vigentes para esse tipo de estudo, e o significativo número de amostras coletadas e analisadas (69 pontos de amostragem com pelo menos 3 amostras por ponto), foi evidente que as estimativas de Tornquist et al. (2009) e IPCC (2001) subestimaram os ECOS nestas classes de solo e usos das terras. Efetivamente as incertezas e inacurácias associadas aos dados disponíveis de C a Ds poder ser propagadas na estimativa de ECOS a partir de dados secundários. Além disso, os ECOS obtidos a partir de múltiplos pontos de amostragem permitem a avaliação da variabilidade espacial, reconhecidamente alta para os ECOS (Grüneberg et al., 2010).

Adicionalmente, o mapa de ECOS obtido neste estudo (Figura 16) permitiu comparação com outros mapas de ECOS disponíveis para a região (Figuras 19 e 20). Pode-se observar que a extrapolação regional dos valores médios globais do IPCC (Tabela 8) revela só dois níveis de ECOS para toda a região. De maneira similar, o recorte do mapa de ECOS do Brasil produzido por Bernoux et al.(2002) também indica pouca variabilidade nos ECOS na região, o que se deve a pequena escala de trabalho (1:5.000.000) dos mapa base, e escasso número de perfis de solos descritos na região. Em contraste, o mapa mais detalhado obtido por Tornquist et al. (2009) representou melhor a variabilidade dos ECOS, em função de mapas mais detalhados e maior número de perfis. A abordagem empregada no presente estudo pode considerar o mapa de solos e de uso das terras mais detalhado disponíveis atualmente, evidenciado que maior detalhe seria possível inicialmente com a realização de mapeamento

de solos em escalas mais ampliadas que a 1:1.000.000 do mapa do Levantamento Exploratório (IBGE, 1986).

Tabela 8. Análise comparativa dos resultados obtidos para ECOS neste estudo e outras referências (0-30cm) nos Campos de Cima da Serra generalizados para o 1º nível categórico da classificação de solos.

Solos	ECOS (Mg ha ⁻¹)								
	<i>este estudo</i>				Tornquist et al. (2009)				IPCC (2001)
	máximo	mínimo	\bar{x}	s	máximo	mínimo	\bar{x}	s	valor padrão
Cambissolos	258,3	90,4	162,4	33,9	99,5	73,3	89,4	4,7	88,0
Neossolos	234,2	122,3	179,2	37,7	96,0	82,6	88,2	3,4	88,0
Nitossolos	244,4	135,3	187,3	54,7	93,3	82,4	86,1	5,1	63,0

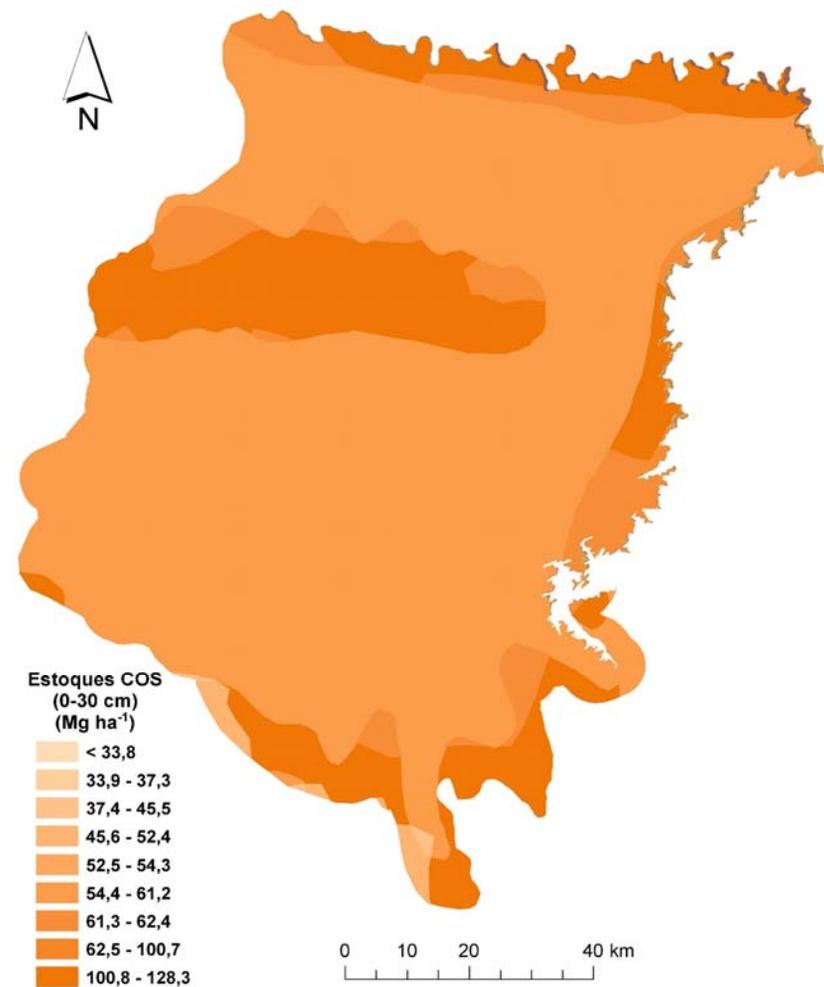
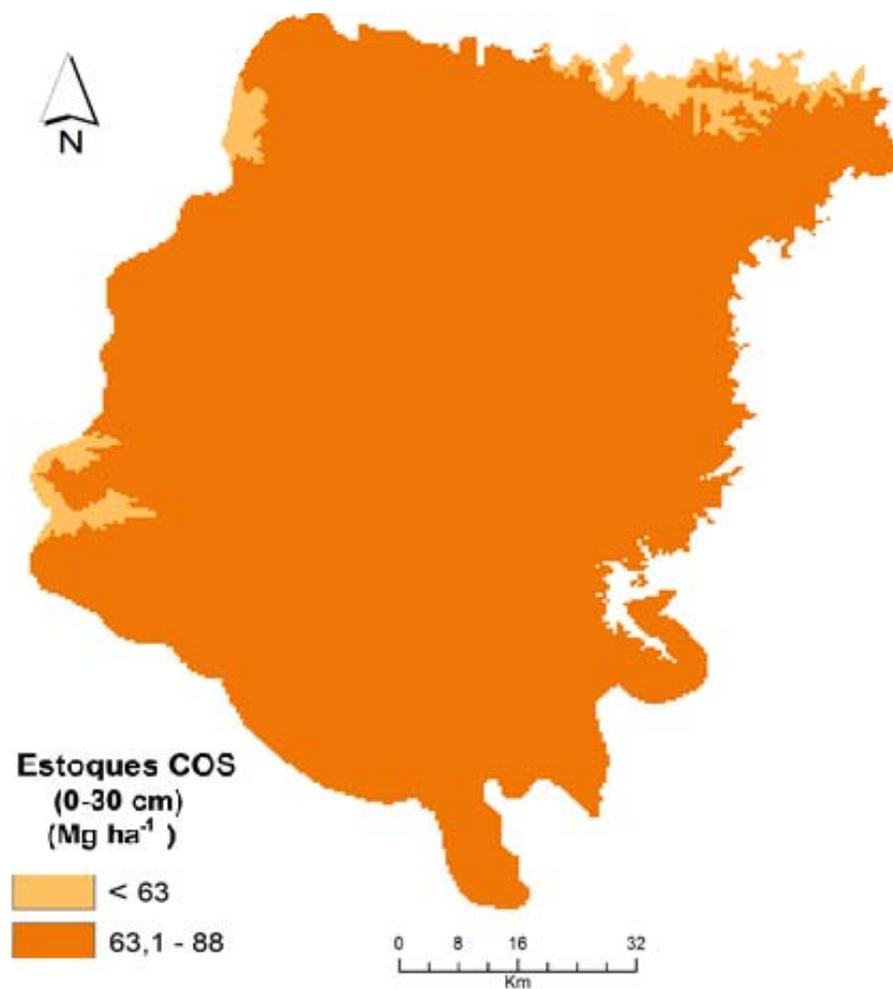


Figura 18. Distribuição regional de ECOS (0-30cm) nos Campos de Cima da Serra no RS: a) valores padrão (IPCC, 2001); b) recorte do mapa de ECOS do Brasil (Bernoux et al., 2002).

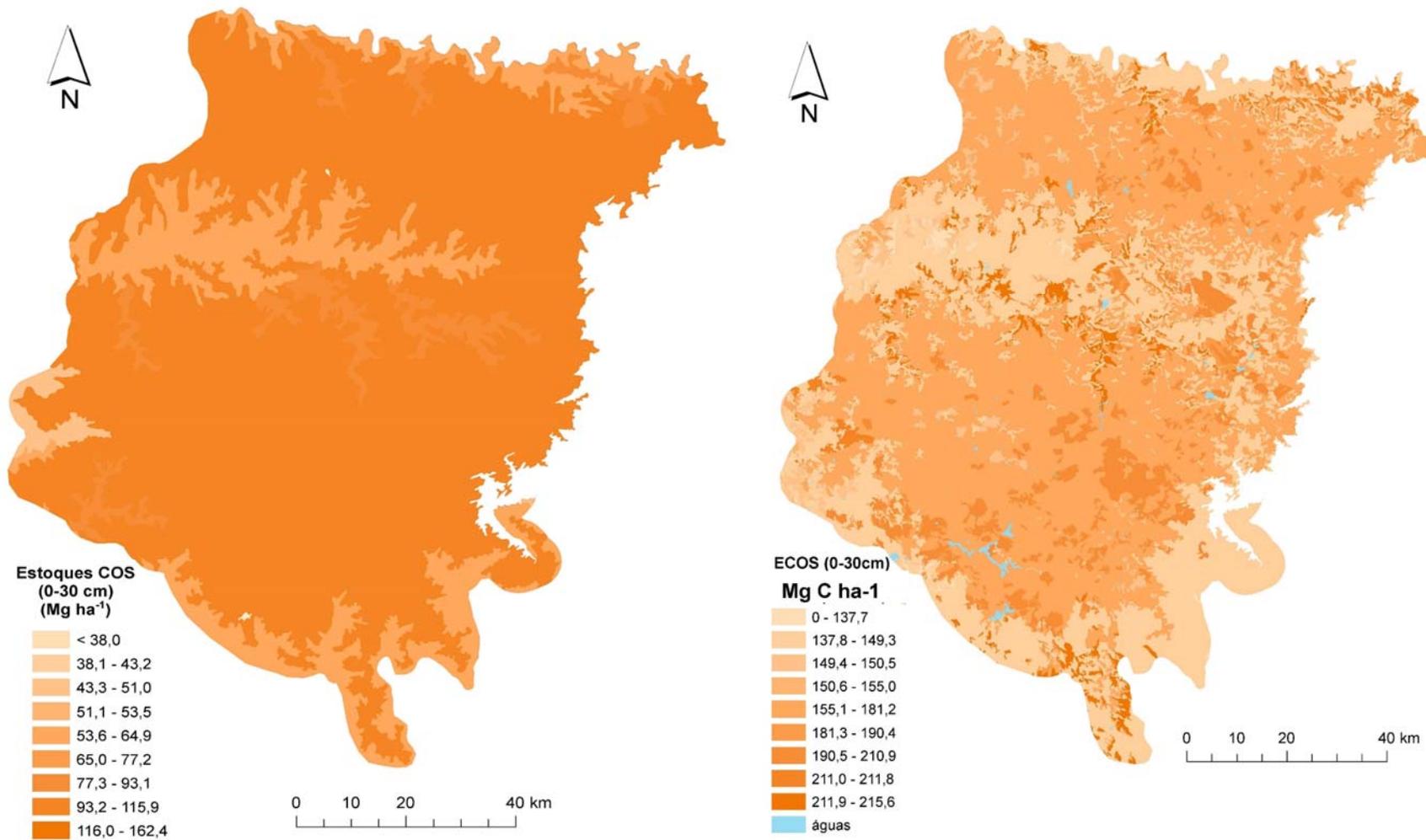


Figura 19. Distribuição regional de ECOS (0-30cm) nos Campos de Cima da Serra no RS: a) recorte do mapa de ECOS do RS (Tornquist et al, 2009); b) mapa obtido neste estudo.

5.3. ECOS no Planalto do RS

A campanha de amostragem na região de Ibirubá (parte central do Planalto do RS) realizou coletas para determinação dos ECOS revisitando pontos já amostrados por Tornquist et al. (2007) em 2005-2006 (Figura 11). O protocolo de amostragem adotado foi similar ao adotado na época (coleta de amostras em minitrincheiras até 30 cm de profundidade), com modificações. O estudo anterior coletou apenas uma amostra por ponto de amostragem, enquanto neste foram coletadas três amostras em cada ponto, sendo uma amostra central localizada nas coordenadas identificadas por Tornquist et al. (2007) e duas adicionais distantes 30 m, alinhadas no sentido da declividade do terreno. A amostragem conduzida priorizou os locais de ocorrência dos Latossolos Vermelhos Distroféricos sob lavouras anuais, que são as classes de solos e de uso dos solos predominantes na região, como detalhado em Material e Métodos.

Os resultados obtidos indicaram maior acúmulo de COS nos Latossolos LV distroféricos, em todas as profundidades consideradas, mas significativamente maiores nas camadas 0-20 (+36%) e 0-30cm (+39%), como apresentado na Tabela 9. Como os sistemas de cultivo e manejo adotados (como Sistema Plantio Direto) são essencialmente iguais nas lavouras em ambos solos, o principal fator afetando o acúmulo de COS nessa situação poderia ser a diferença nos teores de argila, porque existe amplas evidências da estabilização da MOS pelos argilominerais do solo (Boddey et al., 2010; Bayer et al., 2011). Efetivamente, considerando a camada 20-30 cm, os teores de argila observados na região foram $\pm 20\%$ nos LV distróficos e $\pm 51\%$ nos LV distroféricos (Tornquist, 2007).

Tabela 9. Estoques de COS determinados Latossolos Vermelhos (LV) em lavouras na região de Ibirubá em 2015-2016.

Solos	<i>n</i>	ECOS (Mg ha ⁻¹)					
		0-10 cm		0-20cm		0-30cm	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
LV distróficos	9	24,93a ¹	5,74	37,63b	5,18	51,90b	9,36
LV distroférricos	15	28,97a	5,05	51,22a	8,11	72,48a	9,71

¹ médias com letras iguais comparando classes de solos e usos das terras por camada não diferem ao nível de significância de 5%.

5.3.1. Mapa de ECOS na região Central do Planalto

A compilação dos resultados obtidos na etapa de campo no Planalto do RS com outros estudos com dados de C e Ds permitiram estimar ECOS médios (Tabela 10), com abrangência de toda a região definida para este estudo. A análise deste conjunto de dados mostrou que os maiores ECOS ocorrem nos Neossolos e Chernossolos, e os valores máximos nos Neossolos Regolíticos, nas três camadas consideradas, sendo o ECOS cumulativo (0-30cm) de 94,7 Mg C ha⁻¹. Os menores ECOS (0-30cm) foram encontrados nos Latossolos Vermelhos Distróficos, com 54,5 Mg C ha⁻¹, sendo este estoque 42% menor que o máximo medido nos Chernossolos, e 10% menor que nos Latossolos Vermelhos Distróficos. As diferenças observadas podem ser explicadas principalmente pelas diferenças de textura e mineralogia e, no caso dos Neossolos Flúvicos, pelo relevo. Estes solos ocorrem em planícies aluviais (ambientes ripários) com maior disponibilidade hídrica durante o ano, o que favorece a produtividade primária e acúmulo de MOS.

Tabela 9. Compilação dos ECOS deste e outros estudos identificados na região central do Planalto do RS.

Solos e Uso das Terras	Estudo	<i>n</i>	ECOS					
			0-10cm		0-20cm		0-30cm	
			\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
		 Mg ha ⁻¹					
Latossolo Vermelho distroférico		192	26,3	8,7	45,0	13,6	60,0	18,4
Campo		12	22,2	7,7	36,4	3,6	46,7	18,0
	Broetto	5	28,4	4,7	47,7	5,8	64,5	9,4
	Coelho	4	20,5	0,5	33,2	0,7	41,8	1,7
	Tornquist	3	31,6	1,1	55,9	3,4	75,8	6,0
Lavoura		47	26,5	7,5	45,1	12,9	60,1	17,9
	<i>este estudo</i>	4	27,4	6,3	49,9	12,9	69,3	18,7
	Broetto	23	26,1	7,6	44,3	12,5	58,2	15,7
	Coelho	12	16,6	0,5	28,6	0,4	36,5	0,5
	Potter	22	18,5	4,1	35,9	7,2	51,0	9,8
	Tornquist	7	29,8	5,3	53,1	5,9	74,4	7,3
Mata		26	31,5	8,9	52,3	12,9	69,3	16,8
	Broetto	16	29,4	8,5	47,9	10,4	62,9	13,1
	Tornquist	10	34,9	8,9	59,4	13,7	79,5	17,5

Tabela 9. (continuação).

Latossolo Vermelho Distrófico	60	24,6	7,6	41,2	12,4	54,5	17,3
Campo	6	21,4	9,3	39,2	15,1	57,2	17,4
Broetto	1	29,3	-	45,8	-	59,5	-
Santos	3	14,1	6,0	28,2	12,0	45,0	14,3
Tornquist	2	28,4	6,3	52,6	8,9	74,3	8,5
Lavoura	43	28,2	2,8	50,5	3,3	69,3	4,3
<i>este estudo</i>	4	22,1	0,9	41,8	2,9	58,8	3,9
Broetto	3	28,9	12,8	50,1	14,7	67,7	17,6
Coelho	27	22,3	7,0	35,2	10,4	44,3	13,3
Tornquist	9	30,7	3,9	54,5	5,2	74,6	9,8
Mata	11	26,4	8,9	43,6	12,8	56,5	17,5
Coelho	3	16,7	5,1	26,0	2,9	31,6	2,6
Broetto	2	29,2	0,1	51,6	0,2	71,0	4,6
Tornquist	6	30,4	5,8	49,7	7,24	64,2	8,4

Tabela 9. (continuação).

Neossolo flúvico		4	24,5	8,3	49,5	16,3	77,6	25,1
Lavoura	Tornquist	2	25,6	5,5	50,4	0,1	84,2	20,8
Mata	Tornquist	2	23,4	13,2	48,6	28,2	70,9	35,7
Neossolo Regolítico		4	37,9	11,2	69,3	17,5	94,7	21,8
Lavoura	Tornquist	2	29,6	5,17	55,3	5,19	76,8	5,32
Mata	Tornquist	2	46,2	8,10	83,4	10,20	112,6	10,67
Chernossolo Argilúvico		1	24,6	-	49,2	-	71,8	-
Lavoura	Santos	1	24,6	-	49,2	-	71,8	-
Total Geral		181	25,9	2,9	44,5	3,2	59,5	4,9

A integração destes dados médios regionais em ambiente de geoprocessamento produziu um mapa revisado de ECOS para a região central do Planalto do RS (Figura 21). A espacialização claramente demonstrou a predominância de ECOS $<65,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$, associados aos Latossolos que constituem a ordem predominante na região. A análise visual também identificou zonas de maior ECOS em posições mais declivosas, com relevo ondulado a fortemente ondulado, onde ocorrem os Neossolos Regolíticos e Litólicos e os Chernossolos Argilúvicos.

Os resultados obtidos para ECOS permitiram uma comparação com os valores globais sugeridos pelo IPCC (2001), que seriam recomendados para estimar estoques quando da ausência de estudos e levantamentos como realizado (Tabela 10). Considerando apenas os estudos que adotaram mais proximamente os protocolos para estimação de ECOS, que são este estudo e Tornquist (2007), foram evidenciadas diferenças importantes em relação a esses valores de referência propostos pelo IPCC. Os ECOS sugeridos pelo IPCC para Latossolos foram aproximadamente 30% menores que a média dos estoques obtidos por amostragem destes solos na região. Esta observação sugere que os valores de referência deveriam ser usados apenas em situações de extrema ausência de dados locais.

A comparação do mapa de ECOS obtido com mapas regionais de ECOS originários de trabalhos publicados possibilitou visualizar aspectos relevantes desses estudos. Por exemplo, a extrapolação regional dos valores médios globais do IPCC atribuídos conforme classes de solos no mapa de solos do Projeto RADAMBRASIL resulta em apenas dois níveis (valores de referência) de ECOS para toda a região, o que é devido a simplificação da legenda (classes de solos combinadas) adotada na abordagem do IPCC (2001). Adicionalmente, o IPCC não considera a vegetação como critério de atribuição de ECOS. Assim, este mapa contrastou bastante com mapas mais recentes (Tornquist et al., 2009; Bernoux et al., 2002) que levaram em conta a diversidade de classes de solo e de vegetação na região, mesmo que isso seja considerado em escalas pequenas, como 1:1.000.000 do mapa de solos Projeto RADAMBRASIL atualizado (IBGE)

detalhado A abordagem empregada no presente estudo obteve o mapa de solos e de uso das terras mais detalhados disponíveis atualmente, dos quais foi derivado o mapa de ECOS mais detalhado e atualizado existente.

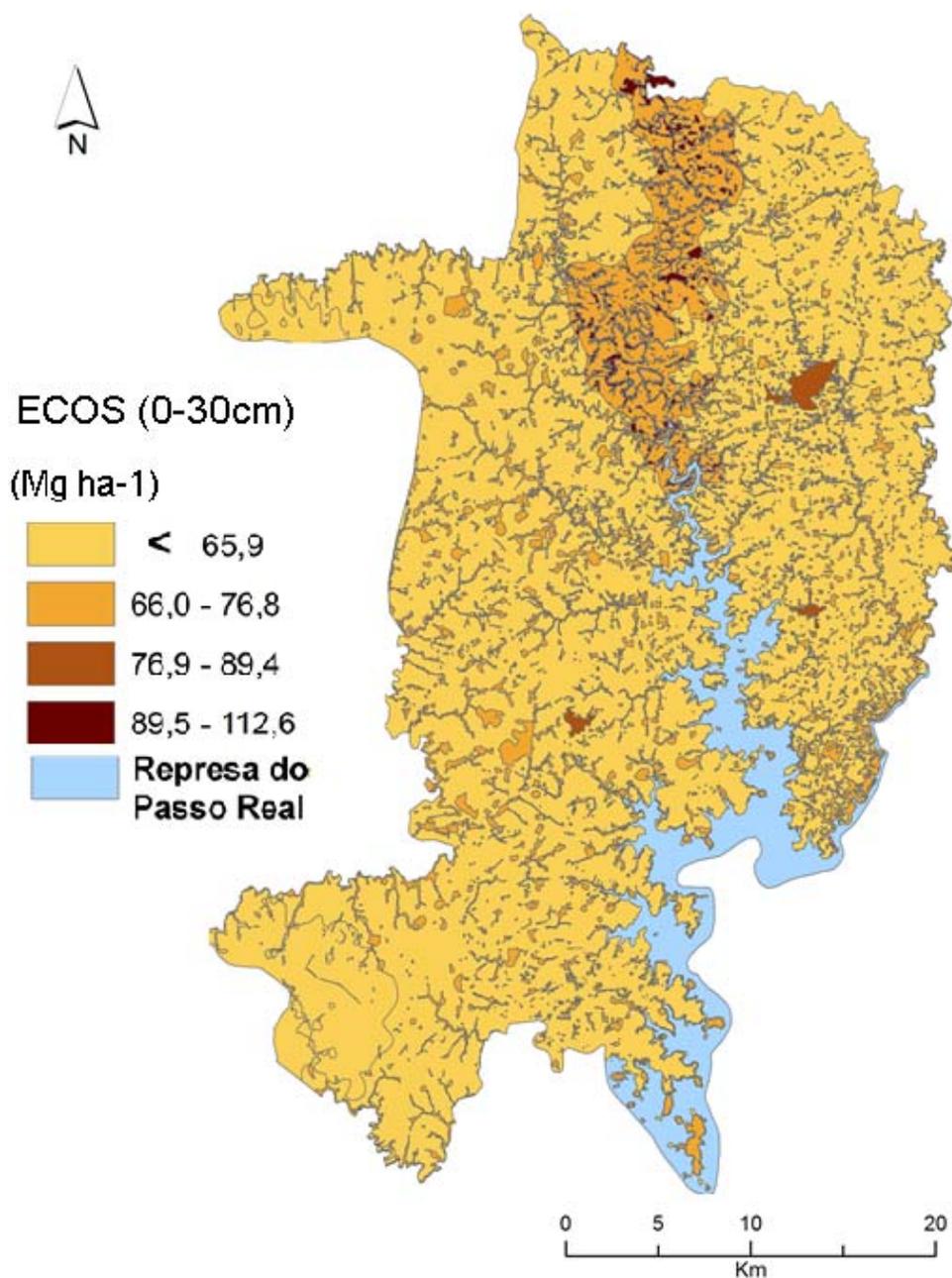


Figure 20. Mapa de ECOS (0-30 cm) na região central do Planalto do RS.

Tabela 10. Análise comparativa de ECOS médios (0-30cm) das principais classes de solo na região central do Planalto do RS.

Solos	ECOS (0-30cm)								IPCC 2001
	<i>este estudo</i>				Tornquist (2007)				
	máx.	mín.	\bar{x}	s	máx.	mín.	\bar{x}	s	valor padrão ¹
 Mg ha ⁻¹								
Latossolos Vermelhos Distroféricos	111,3	19,5	69,3 ²	18,7	111,3	44,3	75,8	7,3	47,0
Latossolos Vermelhos Distróficos	87,8	30,3	58,8	3,9	83,3	49,7	67,6	9,8	47,0
Neossolos Flúvicos					98,9	45,7	84,2	20,8	39,0
Neossolos Regolíticos					80,6	73,8	76,8	5,3	65,0

¹ valores sugeridos como médias globais para classes de solo simplificadas.

² médias em negrito para facilitar a comparação.

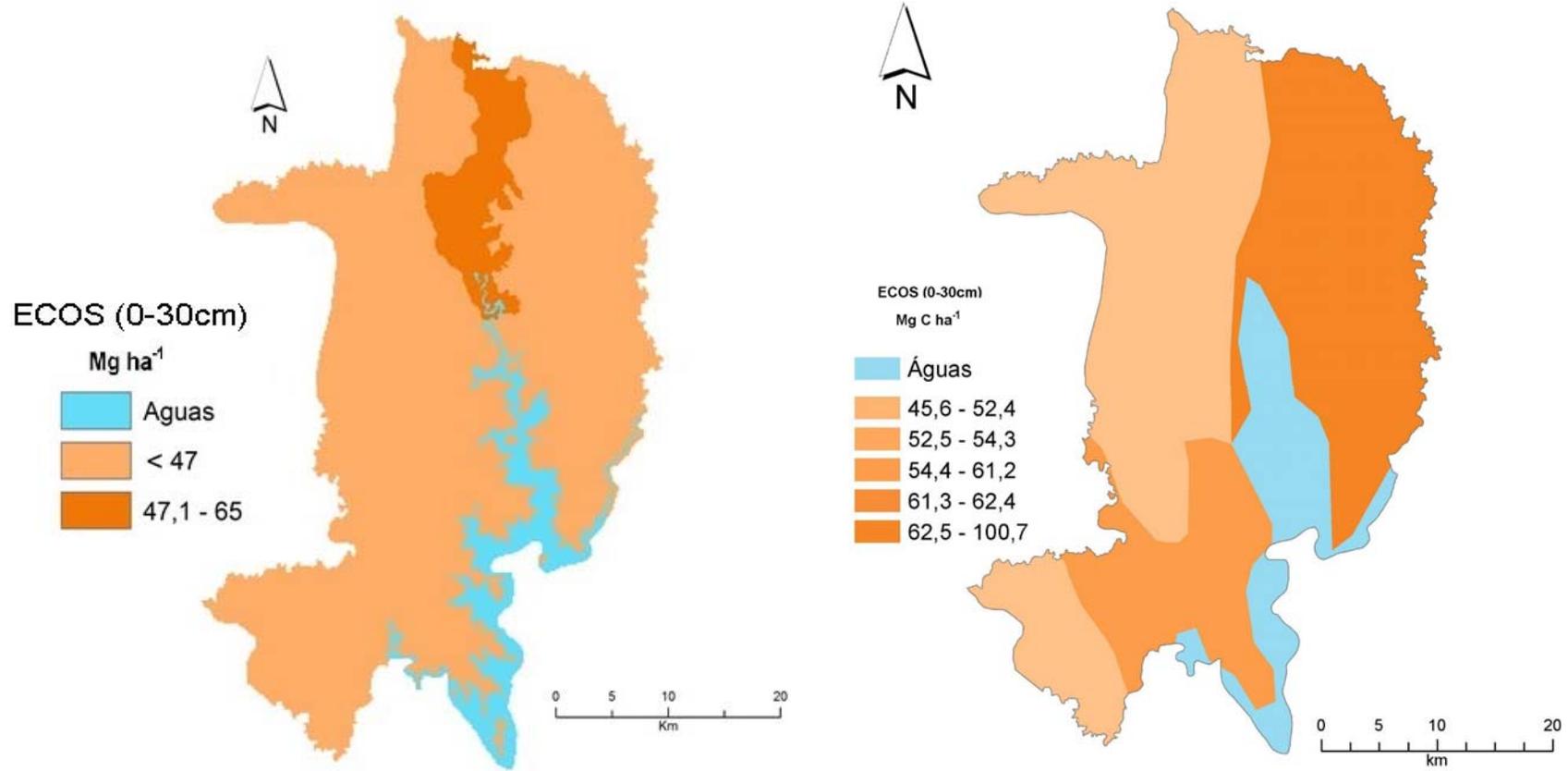


Figura 21. Distribuição regional de ECOS (0-30cm) na região central do Planalto do RS conforme: a) valores padrão (IPCC,2001); b) recorte do mapa de ECOS do Brasil (Bernoux et al., 2002).

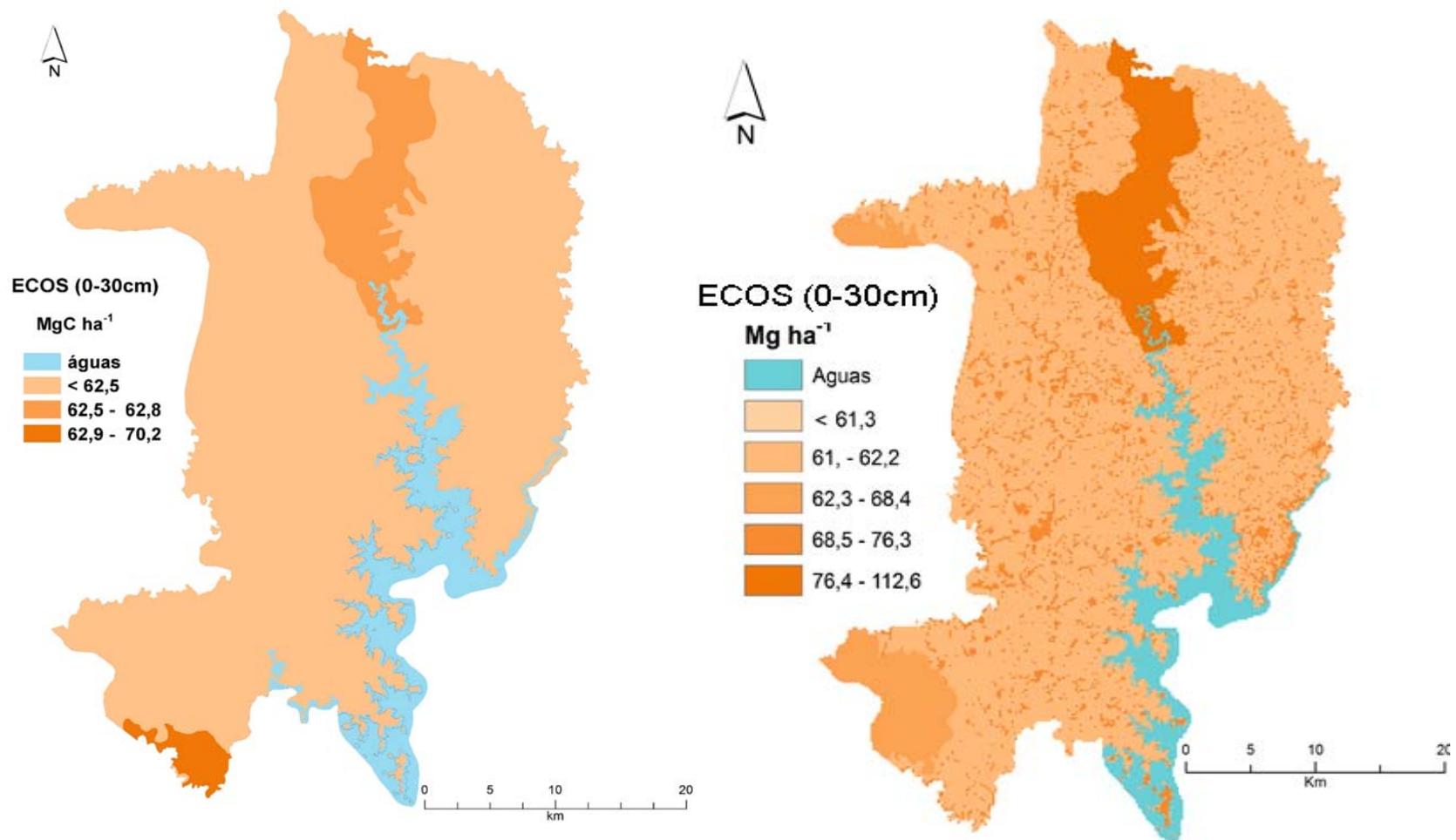


Figura 22. Distribuição regional de ECOS (0-30cm) na região central do Planalto do RS conforme:
 a) recorte do mapa de ECOS do RS (Tornquist et al, 2009); b) mapa obtido neste estudo;

5.4. Comparação entre as regiões estudadas

A análise dos resultados obtidos para ECOS nas duas regiões demonstrou claramente diferenças já apontadas nos estudos anteriores, especialmente Bernoux et al. (2002) e Tornquist et al. (2009). Considerando a camada mais superficial de referência recomendada pelo IPCC (2001), de 0-30 cm, os estoques médios (média geral dos valores medidos) na região dos Campos de Cima da Serra ($173,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$) são três vezes maiores que na região central do Planalto do Rio Grande do Sul ($59,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$). De maneira similar, os ECOS nas camadas mais superficiais (0-10 e 0-20cm) também consideradas neste estudo também foram pelo menos duas vezes maiores nos Campos de Cima da Serra. O principal fator determinante destas diferenças poderia ser o clima, classificado como Subtropical IV - Muito Úmido (Rossato, 2011) ou Temperado Chuvoso Moderadamente Quente (Cfb na classificação de Köppen), com precipitação média anual $>2000\text{mm}$, bem distribuída, e temperaturas amenas (média anual de 15°C). A umidade elevada favorece a produção vegetal, enquanto as temperaturas baixas inibem a decomposição da MOS. Há também que se considerar as diferenças de uso das terras nas duas regiões, especialmente as trajetórias de mudanças de usos a partir da vegetação original: a região de Ibirubá foi colonizada desde o início dos anos 1900, e a atividade predominante desde então foi a agricultura, estabelecida sobre áreas de floresta. A maior parte destas últimas fora removida até 1950 (Tornquist, 2007), sendo os campos existentes convertidos na sua maior parte nos últimos 30 anos. Na região dos Campos de Cima da Serra, ao contrário, ainda predominam campos naturais com exploração pecuária, só modificada nos últimos 40 anos com a introdução da silvicultura (*Pinus sp*) e mais recentemente cultivos intensivos como hortaliças. Estas mudanças de uso ocuparam no máximo 25% da região. Assim, esta dinâmica dos usos da terra proporcionou em grande parte a manutenção dos ECOS. Outro fator que poderia ter contribuído para as diferenças observadas é a mineralogia dos solos, pois apesar de o material de origem ser similar (rochas basálticas), a composição e sequência de intemperização nas duas regiões é diferente.

6. CONCLUSÕES

A abordagem empregada neste estudo, utilizando já dados publicados (secundários) e dados obtidos em levantamentos de campo permitiu aperfeiçoar as estimativas de estoques de carbono orgânico do solo. Com o apoio de ferramentas de geoprocessamento, foi possível obter mapas da distribuição atual destes estoques nas regiões dos Campos de Cima da Serra e na parte central do Planalto, regiões de grande relevância ambiental e agrícola no Rio Grande do Sul. Os mapas gerados a partir de este estudo são mais detalhados e sua obtenção segue mais adequadamente os protocolos reconhecidos, atualmente utilizados no levantamento de estoques de carbono orgânico do solo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos principais fatores determinantes das incertezas nas estimativas de estoques de carbono orgânico do solo é grande variabilidade espacial, especialmente quando as campanhas de amostragem são baseadas em mapas de escala pequena (< 1:250.000). Nestas escalas, que as unidades de mapeamento sejam associações que muitas vezes incluem várias unidades taxonômicas. Essas unidades de mapeamento poderiam ser separadas com novos levantamentos de solo em escala maior ou com apoio de técnicas de mapeamento digital para a desagregação das unidades, o que possibilitaria o refinamento das estimativas regionais de estoques de carbono.

Outro aperfeiçoamento nos levantamentos de estoques de carbono orgânico do solo em escala regional poderia incluir a amostragem além da camada 0-30 cm, pois os protocolos estabelecidos, como IPCC (2001) e sua adaptação para o Brasil sugerida pela EMBRAPA (2014), recomendam estender estas avaliações até pelo menos 100 cm de profundidade. Entretanto, há que se considerar a dificuldade de realizar coletas nessa profundidade com o protocolo adotado, especialmente em Latossolos e Argissolos. Uma alternativa para viabilizar a obtenção de um grande número de amostras a profundidades maiores seria o emprego de amostradores motorizados, que permitem coletar colunas intactas de solo à grandes profundidades, evitando a penosidade da escavação de trincheiras.

8. REFERÊNCIAS

BALBINOT, R. et al. **Inventário do Carbono Orgânico em um plantio de Pinus taeda aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul**. Revista de Ciências Exatas e Naturais, Guarapuava, v.5, n.1, p.59-63, 2003.

BÁRBACENAS-MORENO, G. et al. Adaptation of soil microbial communities to temperature: comparison of fungi and bacteria in a laboratory experiment. **Global Change Biology**, Hoboken, v.15, p.2950-2957, 2009.

BATJES, N.H.; DIJKSHOORN, J.A. Carbon and nitrogen stocks in the so region. **Geoderma**, Amsterdam, v. 89, n.3/4, p. 273-286, 1999.

BATJES NH. Harmonized soil profile data for applications at global and continental scales: updates to the WISE database. **Soil Use and Management**, Hoboken, v.25, p.124-127, 2009.

BAYER, C. et al. Estabilização do Carbono no Solo e Mitigação das Emissões de Gases de Efeito Estufa na Agricultura Conservacionista. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p.55-118, 2011.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 105-112, 1997.

BENITES, V.M. et al. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil surveys in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.139, p.90–97, 2007.

BERNOUX, M. et al. **Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 62, n. 3, p. 743- 749, 1998.

BERNOUX, M. et al. **Brazil's soil carbon stocks**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.66, n.3, p.888-896, 2002.

BRASIL. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária, Divisão de Pesquisa Pedológica, 1973. 491p. (Boletim Técnico 30)

BROETTO, T. **Atributos de solos e de águas superficiais em áreas da região de Quinze de Novembro (RS) com aplicação continuada de dejetos líquidos de suínos**. 2012. 98p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

BODDEY, R.M. et al. **Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till sub-tropical agriculture**. Global Change Biology, Hoboken, v.16, p.784-795, 2010.

COELHO, W. **Modelamento da degradação de latossolos na Região de Fortaleza dos Valos – uma aplicação de Sistemas de Informação Geográfica e sensoriamento remoto**. Dissertação (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, UFRGS, 1999. 164p.

DICK, D. P. et al. Impacto da queima nos atributos químicos do solo, na composição da matéria orgânica e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 633-640, 2008.

DÜMING, A. et al. A mosaic of nonallophanic Andosols, Umbrisols and Cambisols on rhyodacite in the southern Brazilian highlands. **Geoderma**, Amsterdam, v.145, p.158–173, 2008.

ELLERT, B.H.; BETTANY, J. R. Calculation of Organic Matter and Nutrients Stored in Soils under Contrasting Management Regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p.529–538, 1995.

EMBRAPA. **Cálculo dos Estoques de Carbono do Solo sob Diferentes Condições de Manejo**. Corumbá: EMBRAPA Pantanal, 2008. 4p. (Comunicado Técnico 69).

EMBRAPA. **Solo brasileiro agora tem mapeamento digital**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/2062813/solo-brasileiro-agora-tem-mapeamento-digital>>. Acesso em: 22 ago. 2016a.

EMBRAPA. **Sistema de Informação de Solos Brasileiros**. Disponível em: <<https://www.sisolos.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 22 ago. 2016b.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUT. **ArcGIS v.10.3**. Redland, CA, 2014.

FAO. **Soil and terrain digital database for Latin America and the Caribbean at 1:5M scale**. Rome: FAO, 1998. (Land and Water Digital Media Series n. 5)

FERREIRA, A. O. **Estoque de Carbono em Áreas Pioneiras de Plantio Direto no Rio Grande Do Sul**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2014. 150p.

FIDALGO, E.C.; BENITES, V. WADT. P. **Estoques de carbono com base no levantamento de solos do Brasil: Uma contribuição para o Inventário Nacional.** In: MOURA M.F.; PELLEGRINO, G.Q.; RODRIGUES, L. N. (Ed.). **Impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos.** Campinas: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2014.

GARTEN JR, C.T.; HANSON, P.J. Measured forest soil C stocks and estimated turnover times along an elevation gradient. **Geoderma**, Amsterdam, v.136, p.342- 352, 2006.

GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil Carbon Stocks and Land Use Change: a Meta-Analysis. **Global Change Biology**, Hoboken, v. 8, p.345–360.

HARRIS, W. N. et al. Fire and grazing in grasslands of the Argentine Caldenal: Effects on plant and soil carbon and nitrogen. **Acta Oecologica**, Amsterdam, v.32, p.207–214, 2007.

HERMANN, J.M. et al. Forest–grassland biodiversity hotspot under siege: land conversion counteracts nature conservation. **Ecosystem Health and Sustainability**, Washington, v.2, e01224, 2016.

HIEDERER, R; KÖCHY, M; **Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database.** 2011. 79p. (European Union Scientific and Technical Research Series 25225-EN)

IBGE. **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: Geologia, geo-morfologia, vegetação, uso potencial da terra.** Rio de Janeiro, 1986. 1 CD- ROM. (Levantamento de Recursos Naturais, 33).

IBGE. **Malhas municipais digitais.** Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 18 fev. 2016a.

IBGE. **Pedologia: mapa de solos do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 18 ago. 2016b.

IBGE. **Mapa de uso do solo do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 18 ago. 2016c.

IPCC. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2001. 881p.

IZAURRALDE, R.C; RICE, C. **Methods and tools for designing a pilot soil carbon sequestration project**. In: LAL, R. (Ed). Carbon Sequestration in Soils of Latin America. Boston: Hawthorn Press, 2006. p.457-475.

JACQUES, A.V.A. A queima das pastagens naturais: Efeitos sobre o solo e vegetação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 177-181, 2003.

JASTROW, J. D.; MILLER, R. M. **Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: Feedbacks through organo mineral associations**. In: LAL, R. (Ed) Soil processes and the carbon cycle. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 207- 223.

JUNGBLUT, M.; SPINELLI, L. F. P. **Levantamento de Solos de Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza PROMATA**. Divulgação Museu de Ciência e Tecnologia UBEA/PUCRS, Porto Alegre, v.3, p.1-156, 1997.

KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. **Biogeochemistry**, Cham, v.85, p. 91-118, 2007.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, p.1-22, 2004.

LOPES, F. B. **Modelagem espaço-temporal da alteração pelo cultivo dos estoques de matéria orgânica em solos da região de Vacaria nos Campos de Cima da Serra**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, UFRGS, 2009.

FIDALGO, E.C.C. et al. **Estoque de carbono nos solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento)

GRÜNEBERG, E. et al. Regional organic carbon stock variability: a comparison between depth increments and soil horizons. **Geoderma**, Amsterdam, v.155, p.426-433. 2010.

MAQUERE, V. et al. Influence of land use (savanna, pasture, Eucalyptus plantations) on soil carbon and nitrogen stocks in Brazil. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 59, n. 5, p. 863-877, 2008.

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. **Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2003. 19 p. (Embrapa Solos. Documentos, 55).

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. **Total carbon, organic carbon and organic matter**. In: SPARKS, D.L. et al. (Ed.) *Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.961–1110

OLIVEIRA, P. P. A. **Protocolo para quantificação dos estoques de carbono do solo da rede de pesquisa PECUS**. EMBRAPA Pecuária Sudeste, 2014. 20p. (Documentos 116)

PACHOMPON, K., CHAPLOT, V., DLAMINI, P. Estimating Carbon Stocks at a Regional Level Using Soil Information and Easily Accessible Auxiliary Variables. **Geoderma**, Amsterdam v.155, p.372-380, 2010.

PIMENTEL, R. **Propriedades físicas, carbono e nitrogênio do solo em sistemas agropecuários**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Lavras, UFAL. 2012.137p.

POST, W. M. et al. **Soil carbon pools and world life zones**. Nature, Londres, v. 298, p.156-158, 1982.

POTES, M, L. **Matéria orgânica e sua distribuição em compartimentos físicos em Neossolo Litólico sob pastagem e mata nativa nos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, UFRGS. 2009. 101p.

POTES, M, L. et al. **Soil organic matter in fire-affected pastures and in an Araucaria forest in South-Brazilian Leptosols**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.47, n.5, p.707-715, 2012.

PÖTTER, R. O.; HOCHMÜLLER, D. P. **Levantamento detalhado de área piloto para conservação de solos no município de Ibirubá, RS**. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos/EMBRAPA, 1980.188p.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 49-55, 2003.

SAS® Studio 3.2. **Software de Análises Estatístico**. [S.I.] SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2014.

ROSSATO, M. S. **Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. 246p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SALTON, J. C. et al. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 178p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SANCHEZ, P. A.; LOGAN, T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soil in the Tropics. In: LAL, R.; SANCHEZ, P. A. (Ed.) Myths and science of soils of the tropics. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1992. p. 35-46. (Special Publication, 29)

SANTOS, F. J. **Dinâmica Espaço-Temporal do Carbono do Solo na Bacia do Arroio Piraizinho em Bagé, RS**. 2011. 160p. Dissertação de Doutorado - Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Solos, Pelotas, 2011.

SCHÖNING, I. et al. Causes of variation in mineral soil C content and turnover in differently managed beech dominated forests. **Plant and Soil**, The Hague, v.370, p. 625-639, 2013.

SCHROEDER, P.E.; WINJUM, J.K. Assessing Brazil's carbon budget: I. Biotic carbon pools. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.75, p.77-86. 1995.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. **Matéria orgânica do solo**. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.) Fertilidade do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, L.B.; DICK, D.P.; INDA Jr., A.V. Solos subtropicais de altitude: atributos químicos, teor de matéria orgânica e resistência à oxidação química. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, p.1167-1171, 2008.

SCHARLEMANN, J.P. et al. Global soil carbon: Understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, Abingdon, v.5, p.81-91, 2014.

SANTOS, M. C. L. et al. **Levantamento e utilização dos solos do município de Ibirubá**. Porto Alegre: INCRA-Secretaria da Agricultura-Departamento de Solos/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 71p.

SISTI, C. P. J. et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 39-58, 2004.

SKJEMSTAD, J. O.; SPOUNCER, L.R.; BEECH, A. **Carbon conversion factors for historical soil carbon data**. Canberra: Australia Greenhouse Office, 2000. 28p. (National Carbon Accounting System Technical Report, 15)

STEVENSON, F.J.; COLE, M.A. **Cycles of soils: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur and micronutrients**. 2nd ed. New York: Wiley, 1999. 427p.

STRECK, E, V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2008. 222 p.

TORNQUIST C.G. **Simulação da dinâmica do carbono orgânico do solo em escala regional: aplicação do modelo Century e Sistemas de Informações Geográficas**. 2007. 173 p. Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, UFRGS, 2007.

TORNQUIST, C.G.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. Estimativa dos Estoques de Carbono Orgânico nos Solos do Rio Grande do Sul. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**, 15, 2004, Santa Maria, Anais... Santa Maria: UFSM, 2004.

TORNQUIST C.G.; MIELNICZUK, J; CERRI, C.E.P., Modeling soil organic carbon dynamics in Oxisols of Ibirubá (Brazil) with the Century Model. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.105, p.33–43, 2009.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.743-755, 2009.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Eucalypt plantation effects on organic carbon and aggregation of three different-textured soils in Brazil. **Soil Research**, Collingwood, v. 49, n. 7, p. 614–624, 2011.

9. APENDICES

Apêndice 1. ECOS calculados para os pontos de Jungblut e Spinelli (1997)

Sitio	Uso	Classe	ECOS		
			0-10 cm	0-20 cm	0-30 cm
			----- Mg ha ⁻¹ -----		
G1	Campo Natural	Cambissolo	87,5	156,7	275,4
G2	Campo Natural	Neossolo	104,0	189,8	353,7
G3	Campo Natural	Neossolo	97,9	257,3	310,9
GS1	Campo Natural	Neossolo	110,2	206,7	
GS2	Campo Natural	Cambissolo	96,7	187,7	386,7
GS3	Campo Natural	Cambissolo	69,3	175,0	318,6
GS4	Campo Natural	Cambissolo	100,3	171,3	305,9
GS5	Campo Natural	Cambissolo	83,4	150,9	214,4
P1	Campos Pastejado	Nitossolo	73,6	134,0	255,9
P2	Campos Pastejado	Cambissolo	84,7	160,0	303,4
S1	Sucessão	Cambissolo	58,2	119,5	200,3
S2	Sucessão	Cambissolo	86,3	159,1	401,3
FP1	Mata	Cambissolo	103,0	167,7	297,3
FP2	Mata	Cambissolo	104,3	170,2	291,6
F1	Mata	Cambissolo	67,6	168,7	297,0
F2	Mata	Neossolo	64,9	176,8	250,1
F3	Mata	Cambissolo	55,5	103,3	151,1
F4	Mata	Cambissolo	100,5	193,7	310,8
F5	Mata	Neossolo	70,8	193,3	254,9
F6	Mata	Cambissolo	56,4	93,4	167,0
F7	Mata	Cambissolo	68,2	105,7	178,1
F8	Mata	Cambissolo	55,1	107,0	224,4
F9	Mata	Cambissolo	56,0	106,6	132,2
F10	Mata	Cambissolo	43,0	71,6	100,3
PP1	Pinus	Neossolo	89,2	161,2	233,2
PP2	Pinus	Cambissolo	85,8	263,9	325,9
B	campo pantanoso	Organossolo	28,1	57,6	81,5

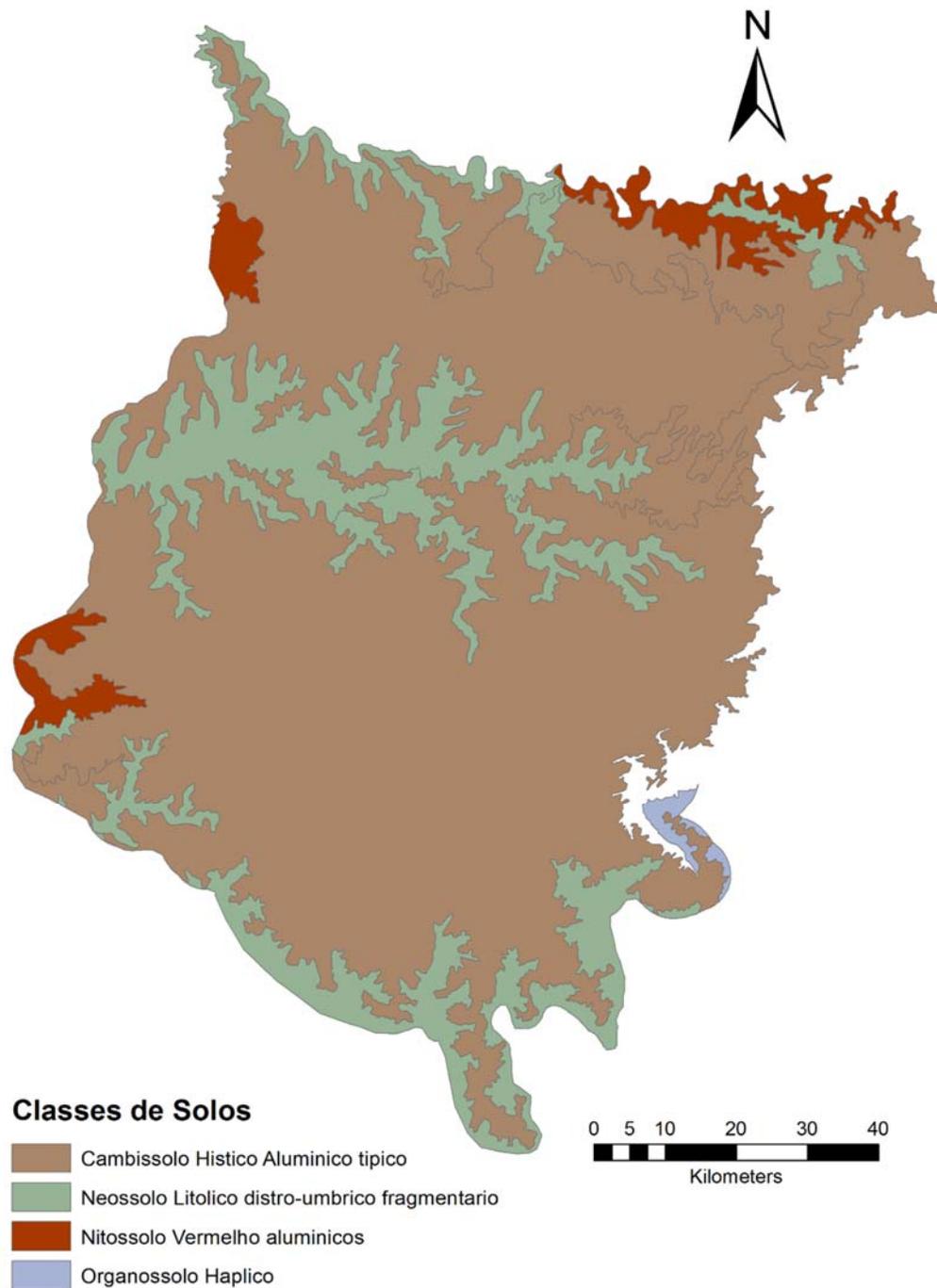
Apêndice 2. ECOS calculados nos pontos de Düming et al. (2008).

Sitio	Uso	Classe	Estoque de COS		
			0-10cm	0-20cm	0-30cm
			----- Mg há ⁻¹ -----		
			--		
P1	Campos Pastejado	Nitossolo	73,6	134,0	255,9
P2	Campos Pastejado	Cambissolo	84,7	160,0	303,4
F3	Mata	Cambissolo	55,5	103,3	151,1
PP1	Pinus	Neossolo	89,2	161,2	233,2
PP2	Pinus	Cambissolo	85,8	263,9	325,9
F1	Mata	Cambissolo	67,6	168,7	297,0
F2	Mata	Neossolo	64,9	176,8	250,1
G2	Campo sem pastejo	Neossolo	104,0	189,8	353,7
B	Campo úmido	Organossolo	28,1	57,6	81,5
GS3	Campo sem pastejo	Cambissolo	69,3	175,0	318,6
G1	Campo sem pastejo	Cambissolo	87,5	156,7	275,4
GS1	Campo sem pastejo	Neossolo	110,2	206,7	
GS2	Campo sem pastejo	Cambissolo	96,7	187,7	386,7
FP1	Mata	Cambissolo	103,0	167,7	297,3
F4	Mata	Cambissolo	100,5	193,7	310,8
G3	Campo sem pastejo	Neossolo	97,9	257,3	310,9
FP2	Mata	Cambissolo	104,3	170,2	291,6
GS5	Campo sem pastejo	Cambissolo	83,4	150,9	214,4
F5	Mata	Neossolo	70,8	193,3	254,9
GS4	Campo sem astejo	Cambissolo	100,3	171,3	305,9
F6	Mata	Cambissolo	56,4	93,4	167,0
F7	Mata	Cambissolo	68,2	105,7	178,1
F8	Mata	Cambissolo	55,1	107,0	224,4
S2	Sucessão	Cambissolo	86,3	159,1	401,3
S1	Sucessão	Cambissolo	58,2	119,5	200,3
F10	Mata	Cambissolo	43,0	71,6	100,3
F9	Mata	Cambissolo	56,0	106,6	132,2

Apêndice 3. ECOS calculados nos pontos amostrados por Inda e Bissani nos Campos de Cima da Serra (DSOLOS-UFRGS, 2003).

Sitio	Classe do solo	Sigla	ECOS		
			0-10cm	0-20cm	0-30cm
			----- Mg há ⁻¹ -----		
T2P1	Neossolo Litólico distro-umbrico fragmentario	RLh	58,3	116,5	174,8
T3P1	Cambissolo Hístico Aluminico típico	CHa	46,3	92,7	139
T1P1	Cambissolo Hístico Aluminico típico	CHa	32,4	64,9	97,3
T4P4	Neossolo Litólico distro-umbrico fragmentario	RLh	77,6	155,2	232,7
T7P1	Neossolo Litólico distro-umbrico fragmentario	RLh	64	128,1	192,1
T8P1	Cambissolo Hístico Aluminico típico	CHa	54	108	162
T9P1	Cambissolo Hístico Aluminico típico	CHa	34,2	65,7	85,9
T10P1	Cambissolo Hístico Aluminico típico	CHa	37,5	74,9	112,4
T11P1	Cambissolo Hístico Aluminico típico	CHa	39,2	78,3	115,8
T5P1	Neossolo Litólico distro-umbrico fragmentario	RLh	60,3	120,6	180,9
T6P1	Neossolo Litólico distro-umbrico fragmentario	RLh	45,7	91,4	120,5

Apêndice 4. Recorte do mapa do Levantamento Exploratório (Projeto RADAMBRASIL) atualizado na Região dos Campos de Cima da Serra (IBGE 2016b)



Apêndice 5. ECOS calculados em pontos amostrados por Santos et al (1970).

Sitio	ECOS			Classe	Sigla
	0-10cm	0-20cm	0-30cm		
-----Mg há ⁻¹ -----					
UM Erechim	14,89	28,53	40,93	Latossolos	LVdf
UM Passo Fundo	13,68	27,35	41,03	Latossolos	LVd1
UM Intergrade	20,3	40,6	60,89	Latossolos	LVd1
UM Cruz Alta	8,32	16,64	33,04	Latossolos	LVd2
UM Aurora	18,61	37,22	49,31	Nitossolos	NBa
UM Batu	22,2	44,41	61,64	Gleissolos	GJh
UM Ciriaco	24,6	49,21	71,79	Chernossolos	MTf
UM Charrua	27,57	55,13	82,7	Neossolos	RLe

Apêndice 6. ECOS calculados com pontos amostrados por Coelho (1999) na região central do Planalto do RS.

Sitio	ECOS			Classe
	0-10cm	0-20cm	0-30cm	
-----Mg ha ⁻¹ -----				
1	22,36	35,81	43,12	Latossolos
10	27,52	35,09	38,34	Latossolos
79	14,62	28,91	37,85	Latossolos
87	25,8	36,73	44,86	Latossolos
82	24,08	38,37	47,31	Latossolos
22	18,06	26,47	32,16	Latossolos
27	18,06	30,67	39,61	Latossolos
35	19,78	30,71	38,02	Latossolos
39	19,78	34,07	42,2	Latossolos
46	12,04	16,24	19,49	Latossolos
53	14,62	20,5	23,75	Latossolos
78	22,36	34,13	42,26	Latossolos
81	6,88	15,29	22,6	Latossolos
95	27,52	50,22	66,48	Latossolos
83	36,98	54,63	66,82	Latossolos
84	20,64	38,29	49,67	Latossolos
85	20,64	34,93	47,12	Latossolos
86	18,06	30,67	37,98	Latossolos
88	40,42	57,23	66,98	Latossolos
89	19,78	33,23	42,98	Latossolos
90	22,36	32,45	38,14	Latossolos
91	24,08	38,37	50,56	Latossolos
92	20,64	34,93	45,5	Latossolos
93	21,5	32,43	38,93	Latossolos
94	20,64	37,45	51,27	Latossolos
96	29,24	46,89	60,71	Latossolos
97	27,52	37,61	44,92	Latossolos
98	30,1	51,11	68,18	Latossolos
100	25,8	35,05	42,36	Latossolos
80	14,62	23,03	27,09	Latossolos
210	16,55	28,44	36,36	Latossolos
209	16,55	28,44	36,36	Latossolos
211	15,22	27,11	35,03	Latossolos
212	15,22	27,11	35,03	Latossolos
213	16,55	28,44	36,36	Latossolos
214	16,55	28,44	36,36	Latossolos
207	16,55	28,44	36,36	Latossolos

Apêndice 6. Continuação

216	16,55	28,44	36,36	Latossolos
215	16,55	28,44	36,36	Latossolos
203	16,55	28,44	36,36	Latossolos
206	16,55	28,44	36,36	Latossolos
205	16,55	28,44	36,36	Latossolos
202	15,22	28,65	38,61	Latossolos
204	15,22	27,11	35,03	Latossolos
201	16,55	29,98	37,9	Latossolos
208	16,55	28,44	36,36	Latossolos

Apêndice 7. ECOS nos pontos amostrados por Broetto (2012).

Sitio	ECOS			Solo
	0-10cm	0-20cm	0-30cm	
-----Mg há ⁻¹ -----				
LAV1-1	37,08	62,1	79,39	Latossolos
LAV1-2	45,36	71,71	93,13	Latossolos
LAV2-1	30,72	46,08	57,42	Latossolos
LAV2-2	26,56	44,48	56,52	Latossolos
MATA1	32,04	50,5	65,62	Latossolos
MATA2	47,4	69,6	95,4	Latossolos
TIFTON 1	21,4	42,04	57,77	Latossolos
TIFTON 2	38,52	54	66,24	Latossolos
LAV4-1	32,48	56,93	75,27	Latossolos
LAV4-2	27,86	46,9	61,78	Latossolos
P4-MOREIRA	27	50,36	64,78	Latossolos
P3-MOREIRA	28,96	47,3	62,14	Latossolos
L 8 RIEGEL	18,84	35,64	48,96	Latossolos
L 7 RIEGEL	16,61	28,05	37,01	Latossolos
MATA RIEGEL 1	12,32	20,8	30,32	Latossolos
MATA RIEGEL 2	17,93	29,55	37,8	Latossolos
L 10 PREDIGER	28,2	44,7	54,78	Latossolos
L 9 PREDIGER	27,45	49,95	68,67	Latossolos
L 14				
KLAESENER	32,16	52,22	69,39	Latossolos
L 13				
KLAESENER	25,6	43,62	57,05	Latossolos
MATA				
KLAESENER 1	43,65	67,05	87,77	Latossolos
KLAESENER 2	37,52	61,84	78,09	Latossolos
KLAESENER	32,11	58,89	74,95	Latossolos
KLAESENER	29,40	51,66	67,52	Latossolos
OHRZ 1LAVSD	29,1	49,96	64,78	Latossolos
BOHRZ 2LAVSD	20,86	42,28	59,78	Latossolos
BOHRZ sem1	22,08	40,84	55,4	Latossolos
BOHRZsem2	36,41	56,3	77,31	Latossolos
BOHRZ MATA1	31,8	49,22	58,24	Latossolos
BOHRZ MATA2	36,27	60,91	76,87	Latossolos
TIEM MATA1	24,88	42,61	57,31	Latossolos

Apêndice 7. Continuação

TIEM MATA2	29,28	48,36	65,76	Latossolos
TIEM PAST1 2	29,05	54,89	76,17	Latossolos
TIEM PAST1-1	15,84	26,94	42,64	Latossolos
TIEM POTR1	23,7	43,06	57,48	Latossolos
TIEM POTR2	28,96	45,46	57,55	Latossolos
TIEM PAST2-1	29,4	44,52	55,44	Latossolos
TIEM PAST2-2	19,89	31,05	41,61	Latossolos
P6-TAQUARA	16,95	27,49	36,33	Latossolos
P7-TAQUARA	13,77	34,27	49,75	Latossolos
P1-TAQUARA	24,5	40,6	53,58	Latossolos
P2-TAQUARA	28,14	49	71,26	Latossolos

Apêndice 8. ECOS calculados nos pontos amostrados por Tornquist (2007).

Sitio	ECOS			Classe
	0-10cm	0-20cm	0-30cm	
	-----Mg há ⁻¹ -----			
Nilton Gobbi	29,56	51,33	73,21	Latossolos
Linha Pulador 2	32,71	68,56	96,17	Neossolos
Linha Pulador 1	14,06	28,74	45,71	Neossolos
Celso Krug	31,99	54,23	74,94	Latossolos
Ademar Raupenthal	30,43	54,37	77,74	Latossolos
Sede Aurora	29,53	52,49	76,9	Latossolos
Erich Sommer - lavoura	26,62	49,66	71,3	Latossolos
Erich Sommer -S Jorge - mata	27,07	49,75	69,92	Latossolos
Ponto 9 - Jorge Pimentel	26,27	51,73	74,14	Latossolos
BR-277	33,13	58,35	80,11	Latossolos
Rinc -úo Seco	23,79	47,8	71,95	Latossolos
Neri Nicolodi - Mata	50,49	79,14	97,72	Latossolos
Neri Nicolodi - Campo	30,95	52,94	69,28	Latossolos
Abreu - Mata Baixa	32,9	58,81	80,24	Latossolos
Iora - Mata Alta	27,25	51,84	74,41	Latossolos
Iora- Mata Baixa	34,73	61,26	82,67	Latossolos
Floss - Mata Alta	31,32	59,6	76,83	Latossolos
Floss - Mata Baixa	33,62	58,7	80,16	Latossolos
Franken - Mata Baixa	32,81	52,5	68,87	Latossolos
Franken - Mata Alta	23,24	41,39	54,75	Latossolos
Trombeta - Mata	40,48	76,2	105,06	Neossolos
Trombeta - Lavoura	33,25	58,94	80,61	Neossolos

Continuação do Apêndice 8.

Vera Abreu - Campo Alto	35,68	57,55	74,82	Latossolos
Vera Abreu - Campo Baixo	40,26	64,67	88,63	Latossolos
Boa Vista - lavoura	29,48	50,28	69,49	Neossolos
Schwantes - Campo	21,68	50,47	98,91	Neossolos
Bonzanini - Mata	35,9	55,15	74,88	Latossolos
Knak - Campo	38,12	67,57	90,59	Latossolos
Sta Calra - Campo	24	46,29	68,28	Latossolos
Bom Retiro	30,88	55,07	76,84	Latossolos
Abreu - lavoura	30,55	55,91	79,29	Latossolos
Neri Nicolodi	32,83	59,62	81,18	Latossolos
Egon Scheffler - Mata	32,73	54,35	72,52	Latossolos
Egon Scheffler - lavoura	29,67	49,46	65,83	Latossolos
Egon Scheffler - Mata	34,49	52,2	61,39	Latossolos
Jacuí-Mirim	51,93	90,62	120,16	Latossolos
Egon Scheffler - Lavoura -arenoso	23,81	43,71	49,74	Latossolos
Santa Clara - Mata 2	36,35	57,73	72,71	Latossolos
Arroio Grande - Mata	22,58	33,89	44,29	Latossolos
Neri Nicolodi- lavoura baixa	31,8	57,29	78,67	Latossolos
Neri Nicolodi- lavoura alta	26,93	51,17	70,87	Latossolos
Neri Nicolodi- mata 2	37,04	63,67	83,53	Latossolos
Neri Nicolodi - mata deposicional	48,59	80,8	111,08	Latossolos
João Christ - lavoura velha	25,94	51,6	73,08	Neossolos
Franken - lavoura velha	35,35	62,18	83,35	Latossolos
Franken - mata deposicional	23,05	40,05	54,8	Latossolos

Apêndice 9. Recorte do mapa de solo para a região central do Planalto do RS, conforme mapa revisado do Projeto RADAMBRASIL (IBGE, 2016b)

