

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/301298775>

O sistema plantio direto em fase de manutenção recupera o estoque de carbono original do solo? Um panorama das áreas pioneiras sob plantio direto no Rio Grande do Sul

Article · June 2015

CITATIONS

0

READS

211

3 authors:



Ademir De Oliveira Ferreira

Universidade Federal Rural de Pernambuco

82 PUBLICATIONS 738 CITATIONS

SEE PROFILE



Telmo Jorge Carneiro Amado

Universidade Federal de Santa Maria

261 PUBLICATIONS 3,712 CITATIONS

SEE PROFILE



Charles W. Rice

Kansas State University

221 PUBLICATIONS 11,652 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Soil Carbon [View project](#)



C sequestration potential in subtropical and tropical agroecosystems in Brazil [View project](#)

O sistema plantio direto em fase de manutenção recupera o estoque de carbono original do solo? Um panorama das áreas pioneiras sob plantio direto no Rio Grande do Sul.

Ademir de Oliveira Ferreira¹, Telmo Jorge Carneiro Amado², Charles W. Rice³

Introdução

O sistema plantio direto (SPD) foi introduzido no sul do Brasil, no início da década de 70. O principal objetivo era controlar a erosão causada pelo uso de fogo na transição da lavoura de trigo para a lavoura de soja (Muzilli, 1985). O sistema utilizado pelos primeiros agricultores do Rio Grande do Sul baseava-se na retirada dos resíduos vegetais da superfície e na intensa mobilização do solo, que associado às condições de relevo e clima provocou severa degradação, limitando inclusive, a eficiência da aplicação de adubos e de corretivos por causa das perdas por erosão (Anghinoni, 2005).

A partir do final da década de 70 e início dos anos 80, foram criados os primeiros programas visando o manejo conservacionista do solo, com redução do preparo e manutenção de cobertura vegetal na superfície. Segundo Mielniczuk (2003), em 1979 no RS mais de 90% da área cultivada era sob manejo com intensa mobilização de solo, enquanto que, em 1999, esse número reduziu para apenas 30%. Atualmente, o Rio Grande do Sul apresenta 4,5 milhões de hectares sob SPD (Derpsch & Frie-

drich, 2009), abrangendo aproximadamente 90% do total da sua área cultivada com culturas de grãos de sequeiro.

Nas principais áreas de produção de grãos do Rio Grande do Sul (Santa Rosa, Palmeira das Missões, Cruz Alta, Manoel Viana, Lagoa Vermelha), a conversão para o SPD foi impulsionada pelos impactos ambientais adversos, principalmente a degradação do solo pela erosão, altos custos da produção agrícola tradicional mecanizada à base de arado e diminuição na quantidade de matéria orgânica do solo (MOS) (Mielniczuk et al. 2003; Bayer et al., 2006). Assim, o SPD têm sido amplamente adotado para minimizar os riscos de degradação do solo, para sustentar a produtividade dos agroecossistemas (Mielniczuk et al. 2003; Sá et al. 2014), e manter ou recuperar a estrutura e qualidade do solo (Vezzani & Mielniczuk, 2011).

Em solos sob ecossistemas não perturbados como campo nativo (CN), o teor de carbono do solo (C) está em estado estável, onde a entrada de resíduos orgânicos está em equilíbrio com perdas de C. Sob condições nativas, o solo organiza-se ao longo do tempo em uma estrutura

¹Pós Doutorando, Laboratório de Matéria Orgânica do Solo (Labmos), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa-PR
e-mail: aoferreira1@yahoo.com.br

²Professor Titular, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

³University Distinguished Professor, Dep. of Agronomy, Kansas State University, Manhattan, E.U.A., KS 66506.

bem definida pela sua composição granulométrica, química e atuação dos agentes biológicos, subordinados às condições ambientais em que o solo está inserido (Vezzani & Mielniczuk, 2011).

O SPD, desde que maneja segundo seus princípios básicos (mínima mobilização de solo, manutenção dos restos culturais na superfície do solo, diversificação de espécies via rotação, cobertura vegetal permanente do solo e aporte de material orgânico ao solo pelas espécies cultivadas em quantidade, qualidade e frequência), constitui-se em uma prática capaz de recuperar parcialmente ou totalmente o estoque de carbono do solo, buscando se aproximar da estabilidade do CN. A rotação de culturas é considerada um dos pilares para o sucesso do SPD pelos inúmeros benefícios que traz, tais como a melhoria da qualidade do solo e a resposta em termos de produtividade dos cultivos com o passar do tempo (Sá, 1999; Ferreira et al. 2009; Sá et al. 2010).

Esses benefícios (melhoria da qualidade do solo, aumento de produtividade, aumento da MOS e aumento do estoque de carbono são alcançados de forma gradual e contínua, conforme a escala de evolução do sistema plantio direto descrita por Sá et al. (2004), que se divide em 4 fases. A **fase inicial (0 - 5 anos)** do sistema se caracteriza pelo baixo acúmulo de palhada e elevada decomposição, re-agregação e rearranjo de nova estrutura, baixa disponibilidade de fósforo, restabelecimento da fauna e biomassa microbiana no solo; imobilização de nitrogênio (N) é maior que a mineralização, maior exigência de N mineral nas culturas de milho, sorgo, trigo e algodão. Já a **fase de transição (6 - 10 anos)** é quando ocorre o início de acúmulo e palhada e MOS, aumento da densidade do solo, aumento da disponibilidade de fósforo, aumento da fauna e da biomassa microbiana no solo. A mineralização de N é maior ou

igual a imobilização, tornando ainda maior a exigência de N mineral para as culturas de milho, sorgo, trigo e algodão. Na **fase de consolidação (11 - 20 anos)** acontece acúmulo de palhada na superfície e aumento de carbono (C) e da capacidade de troca catiônica (CTC), estabilização da densidade do solo, aumento de fósforo, aumento da fauna e da biomassa microbiana no solo. A mineralização de N maior ou igual a imobilização, promovendo a redução da exigência de N mineral. Aumento do armazenamento de água e ciclagem de nutrientes. Na **fase de manutenção (> 20 anos)** incide elevado acúmulo de palhada na superfície e acúmulo de C e aumento da CTC, estabilização da densidade do solo, aumento da fauna e da biomassa microbiana no solo; mineralização contínua de N, redução da resposta a N mineral; aumento do armazenamento de água e ciclagem de nutrientes.

O presente estudo buscou selecionar áreas pioneiras e de referência no SPD, que hoje estão na **fase de manutenção (> 20 anos)**. O objetivo foi avaliar o acúmulo, a redistribuição e a recuperação de carbono das principais áreas agrícolas sob sistema plantio direto em fase de **manutenção** do Rio Grande do Sul, tendo como comparativo-base ao campo nativo.

Materiais e métodos

Descrição das áreas

Áreas pioneiras na adoção do plantio direto nas seis principais regiões produtoras de grãos do estado do Rio Grande do Sul: a) Cruz Alta, Santa Rosa, Lagoa Vermelha, Manoel Viana, Palmeira das Missões, Fortaleza dos Valos foram identificadas, acompanhadas e amostradas.

O teor de argila dos solos destas regiões varia de 90 a 720 g kg⁻¹, sendo esta fração constituída por minerais de carga variável, basicamente caulinita, óxidos de ferro, e gipsita.

Segundo classificação climática de Koëppen, as áreas experimentais encontram-se sob clima subtropical. A Tabela 1 apresenta a caracterização das áreas experimentais e um resumo do tempo de adoção do SPD das áreas e dos sistemas de cultura adotados nas diferentes áreas.

Nas áreas pioneiras na adoção do SPD das principais regiões produtoras de grãos do estado do Rio Grande do Sul foi investigada a mudança de estoque de C (Tabela 1). Para fins de comparação em cada local em área adjacente a área agrícola foi coletada amostras de campo nativo (Figura 1), já que na maioria destas regiões não existe mais áreas sob preparo convencional, que se disponíveis poderiam ser utilizadas como comparativo ao SPD.

Histórico de uso e manejo das áreas

De uma maneira geral no Rio Grande do Sul, houve um período de agricultura colonial (entre 1900 e 1965), com preparo de solo predominantemente com tração animal, criação de animais e cultivo de milho (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), lentilha (*Lens culinaris* Medik), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e soja (*Glycine max* L. Merrill) (a partir de 1956), entre outras espécies, para subsistência, sendo o cultivo baseado na fertilidade natural do solo. Na década de 1965, teve início o período de agricultura mecanizada, com preparo do solo com aração e gradagem e intensa mobilização deste (preparo convencional, PC), uso de fertilizantes e corretivos químicos, sucessão de cultivos de trigo e soja, além da queima da palha do trigo, causando degradação física do solo. Entre 1981-1990, foram adotadas práticas conservacionistas de manejo do solo, com preparo com escarificador e grade (preparo reduzido), com a palha do trigo deixando de ser queimada e a cultura da aveia

Tabela 1. Descrição das áreas: Localização, tipo de solo, conteúdo de argila, material de origem, clima, uso do solo (sistemas de cultivo), duração do SPD e profundidade de amostragem.

Descrição	Local 1 Santa Rosa	Local 2 Manoel Viana	Local 3 Palmeira das Missões	Local 4 Lagoa Vermelha	Local 5 Cruz Alta	Local 6 Fortaleza dos Valos
Coordenadas geográficas	27°52'S - 54°28'W	29°35'S - 55°28'W	27°53'S - 53°18'W	27°53'S - 53°18'W	28°38'S - 53°36'W	28°47'S - 53°13'W
Altitude	330 m	113 m	639 m	840 m	452 m	406 m
Classificação do solo	Latossolo Vermelho	Neossolo Quartzarênico	Latossolo Vermelho	Latossolo Vermelho	Latossolo Vermelho Distroférrico	Latossolo Vermelho
Argila (g kg ⁻¹)	720	90	600	700	570	600
Material de origem	Basalto	Arenítico - basáltica	Basalto	Basalto	Arenito	Arenito
Mineralogia - Óxidos de ferro (g kg ⁻¹)	246 (extraído por H ₂ SO ₄) †	18 (extraído por H ₂ SO ₄) †	234 (extraído por H ₂ SO ₄) †	222 (extraído por H ₂ SO ₄) †	63,5 (extraído por DCB) ††	64 (extraído por DCB) †
Clima	Cfa	Cfa	Cfa	Cfa	Cfa	Cfa
Temperatura média anual	20,8 °C †	20,3°C †	19,6 °C †††	16,8 °C †	17,2 °C †	19,3° C
Temperatura máxima	26,1°C †	25°C †	39,7°C †††	22,7 °C †	21,5 °C †	30,0 °C †††
Temperatura mínima	15,5°C †	13,4°C †	3°C †††	12,4 °C †	12,8 °C †	8,6 °C †††
Precipitação média anual (mm)	1725 †	1662 †	1625 †††	1735 †	1729 †	1727 †††
Umidade relativa (%)	74,9 †	73,8 †	74,1 ††	75,2 †	77,9 †	70,0 †
Uso do solo (Sistemas de cultura)	soja/trigo/soja/aveia preta	trigo/soja/aveia + nabo forrageiro/soja	milho/nabo forrageiro/trigo/soja/aveia preta	soja/nabo forrageiro* + aveia/milho/trigo	Aveia + ervilhaca/soja/milho/nabo forrageiro/trigo	trigo/soja/aveia-preta + nabo forrageiro/milho/nabo forrageiro
Relação soja/milho adotada (anos)	3/1	2/1	2/1	1/1	1/1	2/1
Intensidade de cultivos	Baixa	média	Alta	Alta	alta	média
Duração do SPD	20	23	20	25	25	25
Adição de biomassa vegetal (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	6-8	6-8	10-12	10-12	>12	10-12
Profundidade de amostragem (m)	0 - 0,05; 0,05 - 0,15; 0,15 - 0,30; 0,30 - 0,45; 0,45 - 0,60 e 0,60 - 1,0	Idem ao Local 1	Idem ao Local 1	Idem ao Local 1	Idem ao Local 1	Idem ao Local 1

† Brasil (1973); †† Campos (2006); ††† Moreno (1961); † média no período de 1976 a 2005. Fonte dos dados: Atlas Climático do Rio Grande do Sul (disponível em www.cemet.rs.gov.br).
* nabo-forrageiro sobresemeado com aviação agrícola, quando a soja encontrava-se em fase de queda de folhas. Fonte: Ferreira, A.O. (2014).



Figura 1. Detalhe da comparação em cada local. Área agrícola (sistema plantio direto em manutenção) x Campo nativo adjacente.

passando a dividir espaço com o trigo. Em 1990 teve início o sistema plantio direto (SPD), que vem sendo mantido até os dias atuais. A seguir são mostradas graficamente as cronologias do uso do solo de cada local amostrado (Tabela 2).

Caracterização e descrição do campo nativo

A classificação e denominação do campo nativo da maioria das áreas amostradas no Rio Grande do Sul foram classificadas como Estepe (Campos do sul do Brasil), gramíneo lenhosa (campestre) e sem floresta de galeria (RADAMBRASIL). Na área de Santa Rosa, classificada como descrito anteriormente, a amostragem foi feita sob vegetação de campo nativo pareado ao SPD, uma vez que são escassas as áreas de Floresta nativa dessa região.

Quanto à produção de matéria seca (MS) na estação quente do ano, observou-se de 2,0 a 3,4 Mg ha⁻¹ de matéria seca (MS) em pastagem nativa (Pillar et al., 2009).

Amostragem de solo

As amostras de solo foram coletadas em cada área nas camadas 0-0,05; 0,05-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,45; 0,45-0,60 e 0,60-1,0 m de

profundidade. As amostras para fertilidade do solo foram secas ao ar, passadas em uma peneira de malha 2 mm, as raízes encontradas foram removidas manualmente e as amostras de solo excedente foram armazenadas para utilização nas futuras análises.

Determinação do conteúdo de carbono no solo e densidade do solo

As amostras de solo destinadas à determinação do conteúdo de C foram coletadas manualmente, mediante abertura de pequenas trincheiras com dimensões de 0,3 x 0,3 x 0,4 m. As amostras do solo foram coletadas com uma espátula na parede frontal da trincheira. As amostras foram secas ao ar e manipuladas visando à retirada de raízes e resíduos de plantas. As amostras de solo destinadas à determinação do conteúdo de C foram finamente moídas em gral de porcelana. O carbono foi determinado por combustão úmida pelo método Mebius modificado no bloco de digestão (Nelson & Sommers, 1996; Reinheimer et al., 2008). Para determinar a densidade do solo amostras indeformadas foram coletadas nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,45; 0,45-0,60 e 0,60-1,0 m,

Tabela 2. Cronologia do uso do solo das áreas pioneiras.

Local	Conversão da área	Preparo Convencional	Preparo reduzido	SPD de longa duração
Santa Rosa	1965	1985 - 1987†	1987 - 1990	1990 - 2010 ^I
Manoel Viana	1970	1970 - 1987††	-----	1987 - 2010 ^{II}
Lagoa Vermelha	1965	1965 - 1983†	1983 - 1985	1985 - 2010 ^{III}
Palmeira das Missões	1960	1960 - 1991†	-----	1991 - 2011 ^{IV}
Palmeira das Missões	1960	1960 - 1978†	-----	1978 - 2011 ^V
Cruz Alta	1965	1965 - 1981†	1981 - 1985	1985 - 2010 ^{VI}
Fortaleza dos Valos	1965	1965 - 1982†	1982 - 1985	1985 - 2010 ^{VII}

† = Trigo/soja; †† = Trigo/soja + Pecuária;

I = Soja/trigo/soja/aveia preta;

II = Trigo/soja /aveia /soja;

III = Soja/nabo-forrageiro (sobressemeado) +aveia/milho/trigo;

IV = 1991/1994/1997/2000/2003/2006//2009 (milho, nabo-forrageiro, trigo, soja); 1992/1998/2004/2010 (soja/pousio/trigo/soja); 1993/1996/1999/2002/2005/2008/2011 (soja/aveia-preta/milho); 1995/2001/2007 (Soja/pousio/aveia-branca/soja);

V = 1978/1981/1984/1987/1990/1993/1996/1999/2002/2005/2008/2011 (soja/aveia-preta/milho); 1980/1986/1992/1998/2004/2010 (soja/pousio/aveia-branca/soja);

VI = 1979/1982/1985/1988/1991/1994/1997/2000/2003/2006/2009 (milho/nabo-forrageiro/trigo/soja); 1983/1989/1995/2001/2007 (Soja/pousio/trigo/soja);

VII = Aveia + ervilhaca/soja/milho/nabo-forrageiro/trigo;

VIII = trigo/soja/aveia-preta + nabo forrageiro/milho/nabo forrageiro.

Fonte: Adaptado de Ferreira, A.O. (2014).

com anéis volumétricos com dimensões de 0,05 m de diâmetro e 0,04 m de altura (Embrapa, 1997). Os resultados da densidade do solo foram utilizados para o cálculo do estoque de C.

Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando o software SISVAR 5.0 (Ferreira, 2010), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Resultados

Estoque e recuperação de carbono no solo sob sistema plantio direto em manutenção

No local 1 (Santa Rosa), o estoque de C do SPD variou em média de 12,3 ($\pm 2,1$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-5 cm a 23,4 ($\pm 1,9$) Mg ha⁻¹ na camada de 60-100 cm. Para CN, essa variação média foi de 18,5 ($\pm 3,2$) a 45,0 ($\pm 2,6$) Mg ha⁻¹, para as camadas de 0-5 e 60-100 cm, respectivamente (Figura 2). O estoque de C acumulado do SPD variou em média

de 30,7 ($\pm 4,9$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-15 cm a 99,8 ($\pm 5,2$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-100 cm. Para CN, essa variação média foi de 46,8 ($\pm 6,8$) a 164,8 ($\pm 8,2$) Mg ha⁻¹, para as camadas de 0-15 e 0-100 cm. Considerando o campo nativo como base, a porcentagem de recuperação do estoque de C para o SPD foi de 67, 65, 72, 62, 49 e 52% para as camadas de 0-5, 5-15, 15-30, 30-45, 45-60 e 60-100 cm. Analisando as camadas acumuladas a porcentagem de recuperação do estoque de C para o SPD (20 anos) foi de 65, 68, 67, 64 e 61% para as camadas de 0-15, 0-30, 0-45, 0-60 e 0-100 cm (Figura 2).

No local 2 (Manoel Viana), o estoque de C do SPD variou em média de 8,5 ($\pm 0,9$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-5 cm a 22,9 ($\pm 2,5$) Mg ha⁻¹ na camada de 60-100 cm. Para CN, essa variação média foi de 5,9 ($\pm 0,9$) a 32,4 ($\pm 2,2$) Mg ha⁻¹, para as camadas de 0-5 e 60-100 cm, respectivamente (Figura 2). O estoque de C acumulado do SPD variou em média de 17,8 ($\pm 3,4$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-15 cm a 78,3 ($\pm 4,7$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-100 cm. Para

CN, essa variação média foi de 18,3 ($\pm 1,5$) a 91,7 ($\pm 5,7$) Mg ha⁻¹, para as camadas de 0-15 e 0-100 cm (Figura 2). A porcentagem de recuperação do estoque de C do SPD em relação ao CN foi de 144, 74, 85, 99, 91 e 71% para as camadas de 0-5, 5-15, 15-30, 30-45, 45-60 e 60-100 cm. Analisando as camadas acumuladas a porcentagem de recuperação do estoque de C para o SPD (23 anos) foi de 97, 92, 94, 93 e 85% para as camadas de 0-15, 0-30, 0-45, 0-60 e 0-100 cm.

No local 3 (Palmeira das Missões), o estoque de C do SPD (20 anos) variou em média de 14,8 ($\pm 3,24$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-5 cm a 41,2 ($\pm 3,7$) Mg ha⁻¹ na camada de 60-100 cm. Para CN, essa variação média foi de 12,1 ($\pm 1,7$) a 49,0 ($\pm 0,6$) Mg ha⁻¹, para as camadas de

0-5 e 60-100 cm, respectivamente (Figura 3). O estoque de C do SPD (33 anos) variou em média de 15,3 ($\pm 2,8$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-5 cm a 41,8 ($\pm 3,2$) Mg ha⁻¹ na camada de 60-100 cm. O estoque de C acumulado do SPD (20 anos) variou em média de 33,4 ($\pm 1,5$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-15 cm a 139,5 ($\pm 3,7$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-100 cm. Para CN, essa variação média foi de 34,3 ($\pm 1,1$) a 164,3 ($\pm 1,3$) Mg ha⁻¹, para as camadas de 0-15 e 0-100 cm. O estoque de C acumulado do SPD (20 anos) variou em média de 34,9 ($\pm 1,8$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-15 cm a 143,3 ($\pm 1,8$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-100 cm.

Após 20 anos de SPD, a recuperação do estoque de C em relação ao CN foi de 122, 84, 79, 79, 82 e 84% para as camadas de 0-5, 5-15, 15-30,

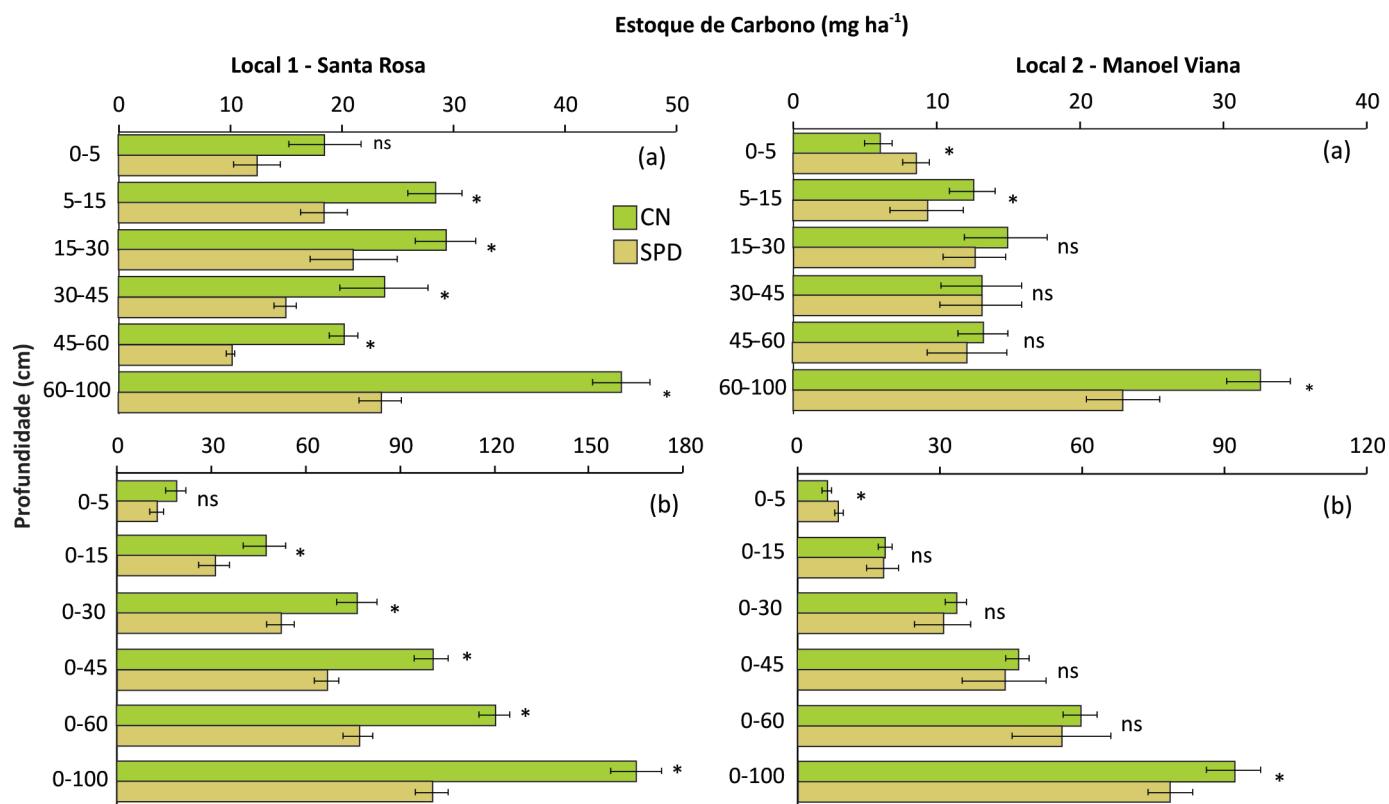


Figura 2. Estoque de C (Mg ha⁻¹) em Latossolo Vermelho argiloso sob SPD de longa duração (Santa Rosa), em Neossolo Quartzarênico (Manoel Viana) e em campo nativo vizinho. a) Estoque de C estratificado e b) Estoque de C acumulado. CN = Campo Nativo; SPD = Sistema plantio direto. ^{ns} Não-significativo. *Significativo a 5% de significância (Tukey). (Comparação entre sistemas de manejo na mesma profundidade). Fonte: Ferreira, A.O. (2014).

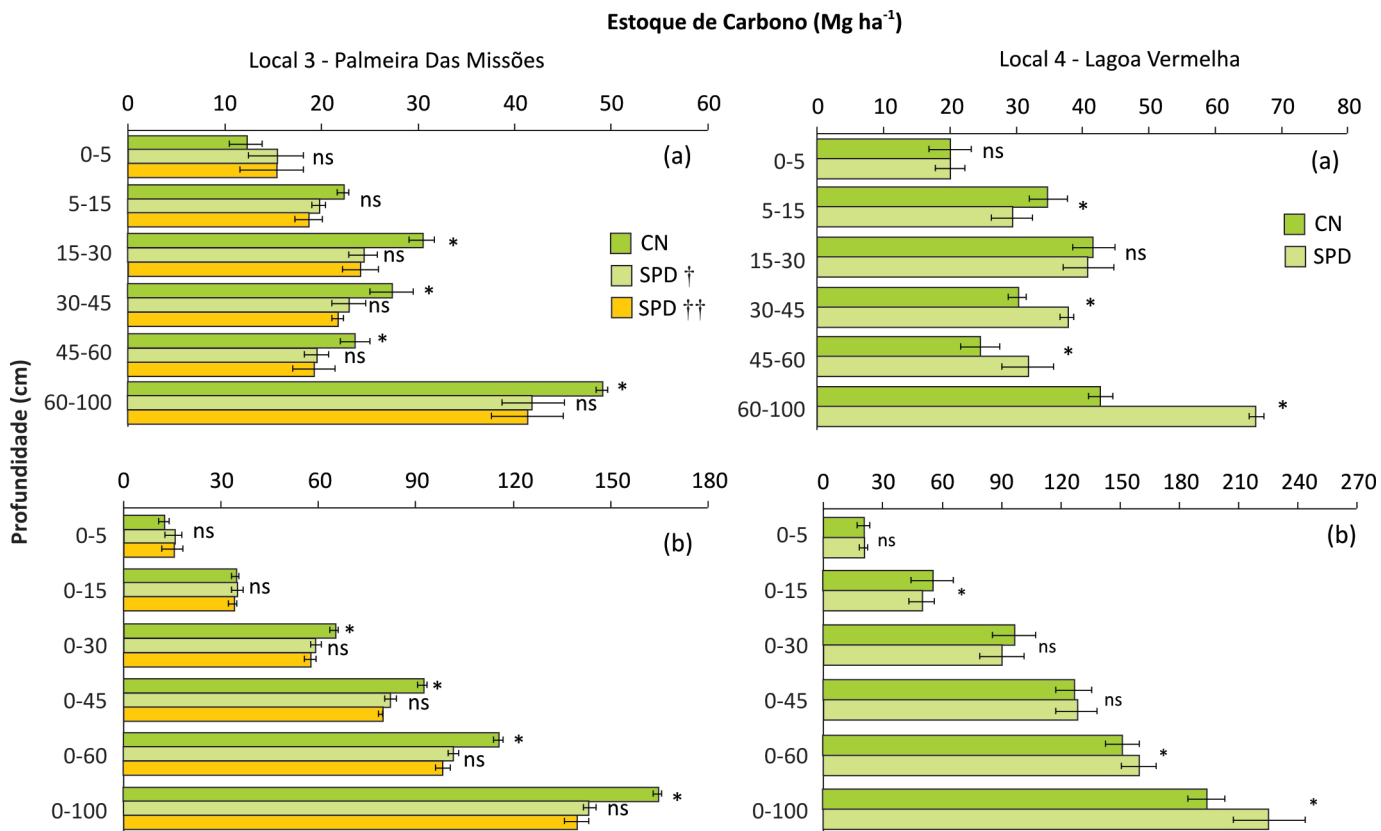


Figura 3. Estoque de C (Mg ha⁻¹) em Latosolo Vermelho sob SPD de longa duração (Palmeira das Missões e Lagoa Vermelha) e em campo nativo vizinho. a) Estoque de C estratificado e b) Estoque de C acumulado. CN = Campo Nativo; SPD = Sistema plantio direto. † SPD = Sistema plantio direto de 33 anos; SPD†† = Sistema plantio direto 20 anos. Fonte: Ferreira, A.O. (2014).

30-45, 45-60 e 60-100 cm. Enquanto que após 33 anos de SPD a recuperação foi de 125, 89, 80, 84, 83 e 85% para as camadas de 0-5, 5-15, 15-30, 30-45, 45-60 e 60-100 cm. Analisando as camadas acumuladas a percentagem de recuperação do estoque de C para o SPD (20 anos) foi de 97, 89, 86, 85 e 85% para as camadas de 0-15, 0-30, 0-45, 0-60 e 0-100 cm. Enquanto que para o SPD (33 anos) foi de 102, 91, 89, 88 e 87% para as camadas de 0-15, 0-30, 0-45, 0-60 e 0-100 cm.

No local 4 (Lagoa Vermelha), o estoque de C do SPD variou em média de 19,9 (±2,3) Mg ha⁻¹ na camada de 0-5 cm a 66,2 (±1,1) Mg ha⁻¹ na camada de 60-100 cm. Para CN, essa variação média foi de 19,9 (±3,2) a 42,7 (±1,8) Mg ha⁻¹, para

as camadas de 0-5 e 60-100 cm, respectivamente (Figura 3). O estoque de C acumulado do SPD variou em média de 49,2 (±6,6) Mg ha⁻¹ na camada de 0-15 cm a 225,4 (±18,2) Mg ha⁻¹ na camada de 0-100 cm. Para CN, essa variação média foi de 54,6 (±10,5) a 193,4 (±9,2) Mg ha⁻¹, para as camadas de 0-15 e 0-100 cm. Nas camadas de 0-5, 15-30, 0-30 e 0,45 cm de profundidade os estoques de C do SPD e CN foram iguais (Figura 3). A recuperação do estoque de C em relação ao CN após 25 anos de SPD foi de 100, 84, 98, 125, 129 e 155 % para as camadas de 0-5, 5-15, 15-30, 30-45, 45-60 e 60-100 cm. Analisando as camadas acumuladas a percentagem de recuperação do estoque de C para o SPD foi de 90, 93, 101, 106 e 116 % para as

camadas de 0-15, 0-30, 0-45, 0-60 e 0-100 cm.

No local 5 (Cruz Alta), o estoque de C do SPD variou em média de 19,5 ($\pm 1,3$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-5 cm a 45,9 ($\pm 3,6$) Mg ha⁻¹ na camada de 60-100 cm. Para CN, essa variação média foi de 16,6 a 39,2 Mg ha⁻¹, para as camadas de 0-5 e 60-100 cm, respectivamente (Figura 4). O estoque de C acumulado do SPD variou em média de 42,3 ($\pm 1,7$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-15 cm a 165,0 ($\pm 7,7$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-100 cm. Para CN, essa variação média foi de 42,9 a 167,3 Mg ha⁻¹, para as camadas de 0-15 e 0-100 cm. Nas camadas de 0-15, 0,30 e 0-100 cm de profundidade os estoques de C do SPD e CN foram iguais (Figura 4). Considerando o campo nativo como base, a porcentagem de recuperação

do estoque de C para o SPD foi de 117, 92, 97, 96, 98 e 104 % para as camadas de 0-5, 5-15, 15-30, 30-45, 45-60 e 60-100 cm. Analisando as camadas acumuladas a porcentagem de recuperação do estoque de C para o SPD (20 anos) foi de 98, 96, 93, 93 e 98 % para as camadas de 0-15, 0-30, 0-45, 0-60 e 0-100 cm.

No local 6 (Fortaleza dos Valos), o estoque de C do SPD variou em média de 14,7 ($\pm 1,6$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-5 cm a 39,6 ($\pm 1,3$) Mg ha⁻¹ na camada de 60-100 cm. Para CN, essa variação média foi de 16,6 a 39,2 Mg ha⁻¹, para as camadas de 0-5 e 60-100 cm, respectivamente (Figura 4). O estoque de C acumulado do SPD variou em média de 33,4 ($\pm 3,9$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-15 cm a 133,0 ($\pm 10,8$) Mg ha⁻¹ na camada de 0-100 cm. Para CN, essa

variação média foi de 42,9 a 167,3 Mg ha⁻¹, para as camadas de 0-15 e 0-100 cm. Nas camadas de 0-5 e 60-100 cm de profundidade os estoques de C do SPD e CN foram iguais (Figura 4).

Após 25 anos de SPD, a recuperação do estoque de C em relação ao CN foi de 88, 71, 67, 69, 77 e 99 % para as camadas de 0-5, 5-15, 15-30, 30-45, 45-60 e 60-100 cm. Analisando as camadas acumuladas a porcentagem de recuperação do estoque de C para o SPD foi de 78, 73, 72, 73 e 79 % para as camadas de 0-15, 0-30, 0-45, 0-60 e 0-100 cm.

Discussão

No Local 1 (Santa Rosa) as taxas de acúmulo de C estão ainda abaixo do campo nativo em todas as cama-

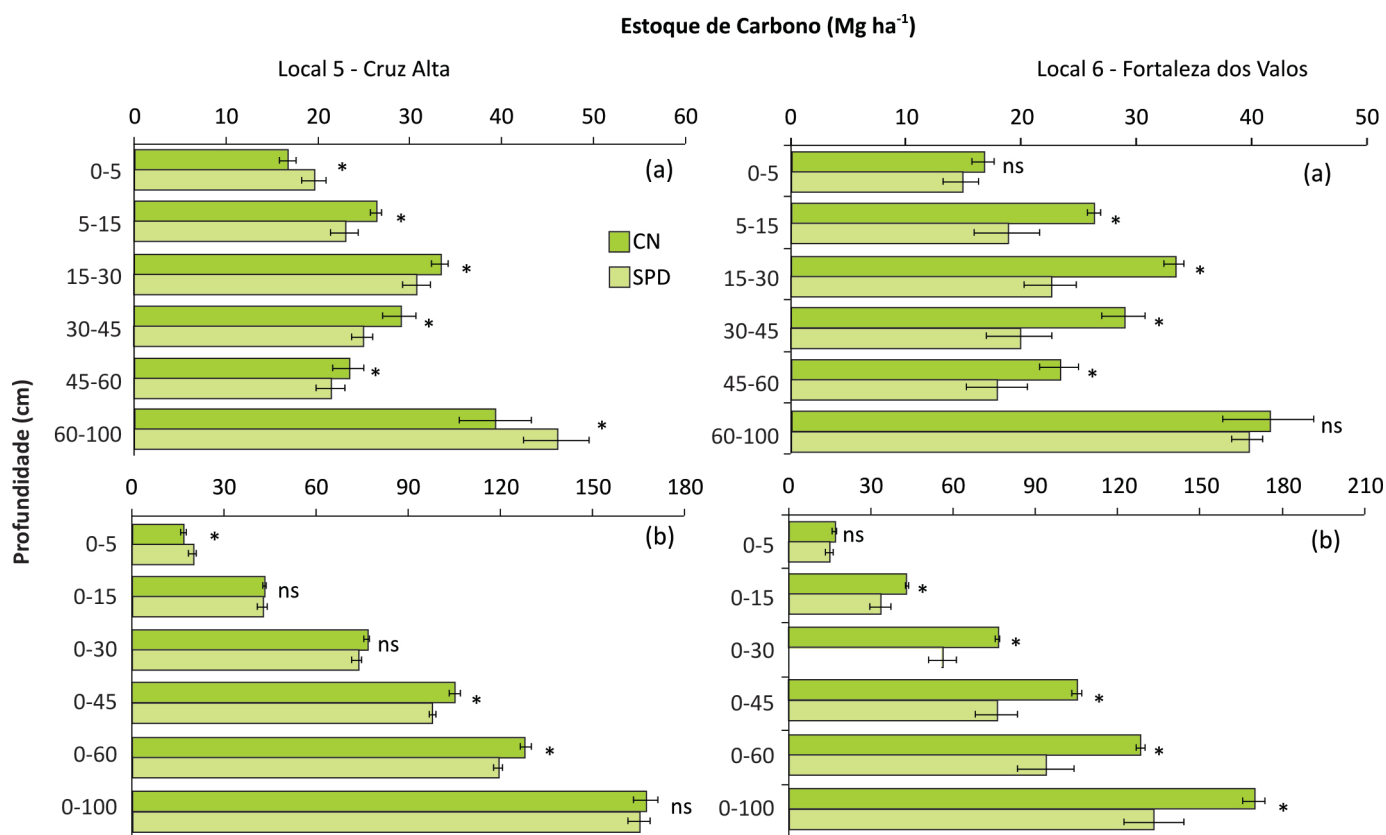


Figura 4. Estoque de C (Mg ha⁻¹) em Latossolo Vermelho argiloso sob SPD de longa duração (Cruz Alta e Fortaleza dos Valos) e em campo nativo vizinho. a) Estoque de C estratificado e b) Estoque de C acumulado. CN = Campo Nativo; SPD = Sistema plantio direto. Fonte: Ferreira, A.O. (2014).

das. Sá et al. (2014) observaram que o estoque médio de C na camada 0-20 cm diminuiu de 94,9 Mg ha⁻¹ sob CN para 62,9 Mg ha⁻¹ para o preparo convencional (PC) em 1989, e atingiu o valor de 67,8 Mg ha⁻¹ em 2005, uma perda de 29% em mais de 38 anos desde que a conversão do CN em campo cultivado com a utilização de PC. Esse declínio do estoque de carbono sob PC representou uma taxa de esgotamento de 0,60 e 1,07 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em 0-20 e 0-40 cm de profundidade, respectivamente.

O declínio no presente estudo poderia ser explicado devido o histórico da área (Tabela 2), que apresenta 22 anos de preparo convencional e 20 anos de SPD com baixa intensidade de culturas (soja/trigo/soja/aveia-preta) manejado com intensificação da soja (3 cultivos de soja/1 cultivo de milho), além de média adição de C (6-8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) de carbono via resíduo. Esses resultados evidenciam a maior frequência de soja e menor do milho ao longo dos anos e são respaldados por Amado et al. (2006), Sá et al. (2008), Campos et al. (2011) e Ferreira et al. (2012) que afirmaram que quando da ausência e/ou menor frequência da cultura do milho na rotação, o sistema apresenta-se deficitário em C, porque a taxa de acúmulo está diretamente associada a produção de biomassa. Os mesmos autores encontraram que a cultura de milho quando associada com leguminosas como cultura antecessora aumenta expressivamente o potencial de acúmulo de C. Qualquer variação climática que reduza as adições de C poderá resultar em balanço negativo. Este fato foi relatado também por Bayer et al. (2011), que verificaram redução de 0,27 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de C quando em monocultura de soja, que foi a realidade por algum tempo do local 1 aqui estudado.

Em Manoel Viana (Local 2) , o uso do sistema conservacionista re-

cuperou integralmente o estoque de C na superfície do solo (0-5 cm) em relação ao CN. Isso provavelmente ocorreu porque esses solos (Neossolo Quartzarênico) apresentam maiores taxas de decomposição da MOS, além de serem mais afetados pelas práticas de manejo do solo em comparação aos solos argilosos (Bayer et al. 2011). Nas demais camadas o estoque de C foi inferior ao CN, podendo ser explicado devido o histórico da área (Tabela 2), que apresenta 17 anos de PC e 23 anos de SPD com média intensidade de culturas (trigo/soja/aveia + nabo-forrageiro/soja) manejado com intensificação da soja (2 cultivos de soja/1 cultivo de milho), além de baixa adição de C via resíduo (6-8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹).

No Local 3 (Palmeira das Missões o SPD (20 e 33 anos) foi capaz de recuperar integralmente o estoque de C do CN na camada superficial (0-5 cm) e que o SPD de 33 anos foi além superando o CN até a camada de 0-15 cm. Esse incremento de 2,6 Mg ha⁻¹ de C na camada de 0-5 cm para o SPD de 20 anos e de 3,1 e 0,6 Mg ha⁻¹ de C na camada de 0-5 e 0-15 cm para o SPD de 33 anos pode ser explicado devido o histórico da área (Tabela 2), que apresenta uma intensidade alta de culturas (milho/nabo-forrageiro/trigo/soja/aveia-preta) manejado sob SPD, além de elevada adição de C de carbono via resíduo (10-12 Mg ha⁻¹ ano⁻¹).

Analisando a porcentagem de armazenamento de C nas camadas profundas do SPD (33 anos) podemos dizer que aproximadamente 76 % do estoque de C se concentrou na camada de 15-100 cm e 59% na camada de 30-100 cm. Dados estes respaldados por Dick et al. (2013) que encontrou mais de 70 % do C do solo sob clima subtropical armazenado na camada de 20-100 cm de profundidade.

No Local 4 (Lagoa Vermelha), observamos uma recuperação de C de 90,1 e 93,6 % para as camadas

de 0-15 e 0-30 cm de profundidade. Durante a condução deste trabalho observou-se a estratégia do produtor dessa área (Sr. Arnaldo Trein), que utilizou uma alta intensidade de culturas (soja/nabo-forrageiro+aveia-preta/milho/trigo) aumentando o aprofundamento do sistema radicular da soja em sua lavoura de SPD e ainda quando a soja encontrava-se em fase de queda de folhas, o nabo forrageiro era sobressemeado, neste caso com aviação agrícola, de maneira que quando a soja completava o seu ciclo, o nabo já se encontrava estabelecido. Posteriormente, a próxima cultura da soja encontrou bioporos das anteriores raízes do nabo apresentando um desenvolvimento radicular satisfatório. Neste caso, além dos bioporos representarem um caminho preferencial ao desenvolvimento das raízes de soja, deve-se considerar também que os exsudatos das raízes de nabo criaram condições químicas do solo favoráveis ao crescimento das raízes da leguminosa (Amado et al., 2007). Os bioporos formados pelas raízes do nabo têm alta estabilidade e, após a sua decomposição, atuam como canais preferenciais para a infiltração da água no solo (Willians & Weil, 2004). Os resultados experimentais disponíveis evidenciam a importância da utilização de espécies com sistema radicular bem desenvolvido, visando o incremento de C em profundidade. Wright et al. (2007) e Boddey et al. (2010), sugeriram que a translocação de compostos de C solúvel pode ser um importante mecanismo de redistribuição do C no perfil do solo, oriundo da adição superficial de resíduos vegetais em sistemas conservacionistas.

No Local 5 (Cruz Alta) houve incremento de 2,8 e 6,6 Mg ha⁻¹ de C nas camadas de 0-5 e 60-100 cm após 25 anos de SPD. A exemplo do Local 4, observamos que a área apresentava uma intensidade alta de cul-

turas (Aveia + ervilhaca/soja/milho/nabo forrageiro/trigo) manejada sob SPD, além de elevada adição de C de carbono via resíduo (10-12 Mg ha⁻¹ ano⁻¹).

No Local 6 (Fortaleza dos Valos) observamos uma recuperação de C de 88,5; 77,9; 73,4; 72,1; 73,0 e 79,5 % para as camadas de 0-5, 0-15, 0-30, 0-45, 0-60 e 0-100 cm de profundidade.

De uma forma geral, as áreas pioneiras sob sistema de SPD no Rio Grande do Sul que foram e estão sendo manejadas segundo os princípios básicos do SPD (mínima mobilização de solo, manutenção dos restos culturais na superfície do solo, diversificação de espécies via rotação, cobertura vegetal permanente do solo e aporte de material orgânico ao solo pelas espécies cultivadas em quantidade, qualidade e frequência), foram capazes de recuperar parcialmente ou totalmente o estoque de carbono do solo, se aproximando da estabilidade do CN. Essa recuperação do estoque original variou de 60,6 a 116,5 %, porém, considerando as áreas com elevada diversificação de culturas e aporte de resíduos culturais, observou-se uma taxa de recu-

peração de 79,5 a 116,5% para camada de 0-100 cm.

Considerações finais

As áreas pioneiras sob sistema de plantio direto no Rio Grande do Sul em fase de manutenção (> 20 anos) que foram e estão sendo manejadas segundo os princípios básicos do sistema plantio direto foram capazes de recuperar parcialmente ou totalmente o estoque de carbono do solo em relação ao campo nativo. Essa recuperação do estoque original variou de 79,5 a 116,5%, considerando as áreas com elevada diversificação de culturas e aporte de resíduos culturais para camada de 0-100 cm.

O estoque de carbono superficial (0-5 cm) foi recuperado integralmente nos locais Local 2 (Manoel Viana), Local 3 (Palmeira das Missões), Local 4 (Lagoa Vermelha) e Local 5 (Cruz Alta), sendo essa recuperação de 144% para o Neossolo Quartzarênico e variando de 100 a 122 % para os Latossolos argilosos.

Houve incremento no estoque de carbono em profundidade nos locais de Lagoa Vermelha e Cruz Alta

em relação ao campo nativo, que pode ser explicado pelas mais baixas temperaturas médias anuais, altitudes altas, elevada precipitação anual e intensidade e diversificação de cultivos.

Referências

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo no ambiente subtropical. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30. **Anais...** 2005.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B-H. C.; VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Brazil. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, n. 4, p. 1599-1607, 2006.

AMADO, T.J.C.; PERES, R.B.; COSTA, J.A.; NICOLOSO, R. S.; TEIXEIRA, T.G. A safra recorde analisada pelos mapas de rendimento no RS. **Revista Plantio Direto**, n. 101, p. 18-123, 2007.

BAYER, C.; AMADO, T.J.C.; TORNQUIST, C.G.; CERRI, C.E.P.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A.; NICOLOSO, R.S.; CARVALHO, P.C.F. Estabilização do carbono no solo e mitigação das



www.
**sementes
com vigor**
.com

SOJA:

IPRO: Ponta, Garra, Vanguarda, Lança, Elite

RR: Potência, Valente, Alvo, Turbo, Ativa, Apolo, Veloz

FEIJÃO: BRS Estilo, IPR Tuiuiú e IPR Uirapuru

TRIGO OR: ORS 25, Ametista, Jadeíte, Topázio, Marfim

TRIGO TBIO: Toruk, Iguazú, Sinuelo, Sintonia

AVEIA BRANCA: URS Taura e Corona

AVEIA PRETA: Iapar 61



54 3231 1132 • 54 3504 5651

BR 285 - Km 142 - Vacaria - Rio Grande do Sul - Brasil
www.sementescomvigor.com.br

- emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L.C. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: editora, 2011. V.VII, cap.2, p. 55-118.
- BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CONCEIÇÃO, P.C.; ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H.P.; DENARDIN, J.E.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; ALVES, B.J.R. & URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, n. 2, p. 784-795, 2010.
- CAMPOS, B.H.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R.S.; FIORIN, J. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011.
- DERPSCH, R. & FRIEDRICH, T. Global overview of conservation agriculture adoption. In: **Proceedings of the 4th World Congress on Conservation Agriculture** (ed. P.K.Joshi), pp. 429-438. Lead Papers, New Delhi, India, 2009.
- DICK, D.P.; REIS, C.S.; BAYER, C.; CALDAS, J.S. Carbon Sequestration in Subtropical Oxisol Profiles: Retention Capacity and Effect of Soil Management. In: Jianming Xu; Jianjun Wu; Yan He (Eds.). **Functions of Natural Organic Matter in Changing Environment**, pp. 353-358, 2013.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, p. 212, 1997.
- FERREIRA, A.O.; SÁ, J.C.M.; BRIEDIS C. & FIGUEIREDO, A.G. Desempenho de genótipos de milho cultivados com diferentes quantidades de palha de aveia preta e doses de nitrogênio. **Pesq. Agropec. Bras.**, 44:173-179, 2009.
- FERREIRA, A.O. Estoque de Carbono em Áreas Pioneiras de Plantio Direto no Rio Grande do Sul. **Tese (Doutorado em Ciência do Solo)**, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2014. 150 p.
- FERREIRA, D.F. **Sisvar versão 5.3 (Biud 75)**. Sistemas de análises de variância para dados balanceados: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos. Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras, 2010.
- MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In CURI, N., MARQUES, J.J., GUILHERME, L.R.G., LIMA, J.M., LOPES, A.S., ALVAREZ.V., V.H. (ed) **Tópicos em Ciência do solo 3**, Viçosa, 2003, p. 209-248.
- MUZILLI, O. **Plantio direto no Brasil**. In: A.L. Fancelli (Ed.), **Atualização em Plantio Direto**, Campinas, Função Cargill, 1985, pp. 3-16.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A. & LOEPPERT, R.H., eds. **Methods of soil analysis: chemical methods**. Part 3. Madison, **American Society of America**, 1996. p. 961-1010.
- PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S. & JACQUES, A.V.A. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, MMA, p. 403, 2009.
- RHEINHEIMER, D.S.; CAMPOS, B.C.; GIACOMINI, S.; CONCEIÇÃO, P.C. & BORTOLUZZI, E.C. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 435-440, 2008.
- SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.G., eds. **Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p.267-320.
- SÁ, J. C. M.; CERRI, C.C.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E.; FORNARI, A.; Sá, M.F.M.; VENZKE FILHO, S.P.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S. & PAULLETI, V. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. **Revista Plantio Direto**, v. 84, p. 45-61, 2004.
- SÁ, J.C.M.; SA, M.F.M.; SANTOS, J.B.; FERREIRA, A.O. Dinâmica da Matéria Orgânica nos Campos Gerais.. In: I. Santos, Gabriel de Araújo (Ed.). II. Silva, Leandro Souza da (Ed.). III. Canellas, Luciano Pasqualoto (Ed.). IV. Camargo, Flávio A. de O.(Ed).. (Org.). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre: Metropole, 1:443-461, 2008.
- SÁ, J.C.M. et al. Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção. In: PROCHNOW, L.I. et al. (Org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba, SP: International Plant Nutrition Institute – Brasil (IPNI), 2010. V.1, p.383-420.
- SÁ, J.C.M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D.D.C.; SANTOS, J.F.; SANTOS, J.B.D. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 136, 38-50, 2014
- VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011.
- WILLIAMS, S.M. & WEIL, R.R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 4, p. 1403-1409, 2004.