

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ESTABILIZAÇÃO DO CARBONO DE RESÍDUOS
CULTURAIS NO SOLO COM O USO DE XISTO
RETORTADO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ricardo Elso Leão

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**ESTABILIZAÇÃO DO CARBONO DE RESÍDUOS
CULTURAIS NO SOLO COM O USO DE XISTO
RETORTADO**

Ricardo Elso Leão

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Sandro José Giacomini

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Leão, Ricardo Elso

Estabilização do carbono de resíduos culturais no solo com o uso de xisto retornado / Ricardo Elso Leão.- 2014.

43 p.; 30cm

Orientador: Sandro José Giacomini

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2014

1. Ciência do Solo 2. Xisto retornado 3. Resíduos culturais 4. Carbono 5. Estabilização
I. Giacomini, Sandro José II. Título.

©2014

Todos os direitos autorais reservados a Ricardo Elso Leão. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor. Endereço: Universidade Federal de Santa Maria / Centro de Ciências Rurais / Departamento de Solos / Av. Roraima, nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, CEP 97105-900. Fone: (55) 3220-8108; E-mail: ricardoleao6@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTABILIZAÇÃO DO CARBONO DE RESÍDUOS CULTURAIS NO
SOLO COM O USO DE XISTO RETORTADO**

elaborada por
Ricardo Elso Leão

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Sandro José Giacomini, Dr.
(Presidente/Orientador)

Carlos Augusto Posser Silveira, Dr.
(Embrapa Clima Temperado)

Eduardo Lorensi de Souza, Dr.
(UFSM)

Santa Maria, 31 de janeiro de 2014.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar força e serenidade para percorrer esta caminhada repleta de oportunidades e desafios que é a vida.

Aos meus pais, Elli e Maria Rosa, meus maiores exemplos, pela confiança e apoio em todos os momentos.

À minha irmã Flávia por me fazer acreditar nas minhas qualidades e nos meus sonhos.

À Daiane pelo amor, companheirismo e compreensão nos momentos alegres e principalmente nos mais difíceis.

À Universidade Federal de Santa Maria pelo ensino de qualidade.

Ao PPGCS, em especial aos professores e funcionários, pela oportunidade de qualificação pessoal e profissional.

À Petrobras pelo auxílio financeiro através da Unidade de Industrialização do Xisto.

Ao Prof. Sandro José Giacomini pelas oportunidades, ensinamentos, orientação, paciência e pelo grande exemplo de pessoa e profissional.

Aos demais membros da comissão examinadora, Dr. Carlos Augusto Posser Silveira e Dr. Eduardo Lorensi de Souza pela disponibilidade e contribuições para a melhoria do trabalho.

Ao amigo e Prof. Paulo Ivonir Gubiani pela ajuda no decorrer do trabalho.

Aos colegas e amigos do curso de Agronomia e do PPGCS pela excelente convivência e pelos bons exemplos os quais levarei comigo para sempre.

A todo o pessoal do LABCEN pela amizade durante todos esses anos, em especial aos bolsistas do “Grupo do Sandro”. Não citarei nomes para não cometer a injustiça de esquecer alguém. Cada um de vocês, amigos, colegas e bolsistas, têm um lugar especial no meu coração.

Muito obrigado!

EPÍGRAFE

“Só sabemos com exatidão quando sabemos pouco; à medida que vamos adquirindo conhecimento, instala-se a dívida.”

Johann Goethe

“Só existem dois dias do ano que nada pode ser feito. Um se chama ontem e o outro se chama amanhã, portanto hoje é o dia certo para amar, acreditar, fazer e principalmente viver.”

Dalai Lama

“Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez.”

Thomas Edison

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

ESTABILIZAÇÃO DO CARBONO DE RESÍDUOS CULTURAIS NO SOLO COM O USO DE XISTO RETORTADO

AUTOR: RICARDO ELSO LEÃO

ORIENTADOR: SANDRO JOSÉ GIACOMINI

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 31 de janeiro de 2014.

O impacto da adição de xisto retortado (XR) sobre a dinâmica do carbono (C) de resíduos culturais (RC) no solo é pouco conhecido. Em condições de laboratório, o presente estudo objetivou avaliar o efeito residual e imediato do XR sobre a mineralização do C de RC, estabilidade de agregados em água e armazenamento de C nas frações particulada ($>53 \mu\text{m}$) e associada aos minerais ($<53 \mu\text{m}$) da matéria orgânica (MO) de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico. No experimento 1, os tratamentos foram compostos por amostras de solo de parcelas que receberam quatro aplicações de XR, totalizando 0, 6.000 e 12.000 kg ha^{-1} . Já no experimento 2, os tratamentos foram constituídos com solo somente da parcela sem histórico de aplicação de XR (0 kg ha^{-1}), que no laboratório recebeu três doses de XR equivalentes a 0, 1.500 e 3.000 kg ha^{-1} . Em ambos os experimentos os tratamentos foram avaliados na presença (3.000 kg ha^{-1}) e ausência de folhas e talos de soja. A liberação de C-CO₂ foi avaliada durante 80 dias e ao final do experimento determinados a estabilidade de agregados e o armazenamento de C nas diferentes frações da MO. A adição de RC no solo com histórico de adição de XR não alterou a liberação de C-CO₂ e também não reduziu a mineralização aparente do C dos RC comparado a adição desses resíduos em solo sem histórico. No experimento 2, houve redução na liberação de C-CO₂ em relação ao controle somente no tratamento com talos + 3.000 kg de XR ha^{-1} . No experimento 2, o tratamento talos + 3.000 kg de XR ha^{-1} proporcionou incremento na estabilidade de agregados em comparação com o tratamento somente com talos. No experimento 1, a adição de XR apresentou tendência de maior retenção de C dos talos e folhas no solo. No experimento 2, a aplicação conjunta de resíduos e XR promoveu maior retenção de C no solo apenas no tratamento com folhas. Em condições de laboratório, o solo com histórico de aplicação de XR não afetou a mineralização e a retenção do C de resíduos culturais adicionados ao solo. Além disso, o XR apresentou efeito imediato, reduzindo a mineralização do C de talos e aumentando a retenção do C de folhas adicionadas ao solo.

Palavras-chave: Folhelho pirobetuminoso. Decomposição. Mineralização do carbono. Agregação do solo. Fracionamento físico da matéria orgânica.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

STABILIZATION OF CROP RESIDUES CARBON IN SOIL WITH THE USE RETORTED OIL SHALE

AUTHOR: RICARDO ELSO LEÃO

ADVISER: SANDRO JOSÉ GIACOMINI

Date and Place of Defense: Santa Maria, January 31, 2014.

The impact of retorted oil shale (ROS) addition on the dynamics of carbon (C) of crop residues (CR) in the soil is little known. Under laboratory conditions, the present study aimed to evaluate the residual and immediate effects of ROS on C mineralization of CR, water stability aggregates and storage C in the particulate ($>53\ \mu\text{m}$) and associated minerals fractions ($<53\ \mu\text{m}$) of organic matter (OM) of a Hapludalf. In experiment 1, treatments consisted of soil samples from plots that received four additions of ROS, totaling 0, 6,000 and 12,000 kg ha^{-1} . In experiment 2, treatments consisted of soil with no history of application of ROS ($0\ \text{kg ha}^{-1}$), that in the laboratory received three doses of ROS (0, 1,500 and 3,000 kg ha^{-1}). In both experiments, the treatments were evaluated in the presence ($3,000\ \text{kg ha}^{-1}$) and absence of leaves and stalks of soybeans. The release of C-CO₂ was evaluated for 80 days and at the end of the experiment determined the aggregate stability and C storage in different OM fractions. The addition of CR in soil with a history of ROS addition did not alter the release of C-CO₂ and also did not reduce the apparent mineralization of C of RC compared to addition of these residues in soil with no history. In experiment 2, there was a reduction in the release of C-CO₂ compared to the control only the treatment with stalks + 3000 kg ROS ha^{-1} . In experiment 2, the treatment stalks + 3000 kg ROS ha^{-1} provided an increase in aggregate stability compared with treatment with only stalks. In experiment 1, the ROS addition tended to higher retention of C stalks and leaves in the soil. In experiment 2, the application of CR + ROS promoted greater retention of soil C only in the treatment with leaves. Under laboratory conditions, the soil with a history of ROS addition did not affect mineralization and retention of crop residue C added to soil. Besides, the ROS showed an immediate effect, reducing C mineralization from stalks and increasing retention of C from leaves added to the soil.

Keywords: Oil shale. Decomposition. Carbon mineralization. Soil aggregation. Physical fractionation of soil organic matter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coleta de solo usado nas incubações.....	21
Figura 2 - Xisto retornado usado nas incubações.....	23
Figura 3 - Resíduos culturais moídos – folhas (a) e talos (b) de soja.....	24
Figura 4 - Vista dos frascos de vidro utilizados na avaliação da dinâmica da mineralização do C (a) e sua alocação dentro da câmara de incubação (b).	25
Figura 5 - Liberação de CO ₂ (a) e mineralização do C de folhas e talos (b) em solo com (XR6000 e XR12000) e sem (XR0) histórico de aplicação de XR. XR: xisto retornado; FS: folha de soja; TS: talo de soja.....	29
Figura 6 - Liberação de CO ₂ (a) e mineralização do C de folhas e talos (b) em solo sem histórico de aplicação de XR nas doses de 0, 1.500 e 3.000 kg ha ⁻¹ de XR (XR0, XR1500 e XR3000). XR: xisto retornado; FS: folha de soja; TS: talo de soja.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico da área experimental sob plantio direto consolidado (local de coleta do solo utilizado nas incubações).	22
Tabela 2 - Liberação de C-CO ₂ (mg kg ⁻¹) e C mineralizado (% do C adicionado) de folhas e talos em solo com (Experimento 1) e sem histórico (Experimento 2) de aplicação de XR.	31
Tabela 3 - Diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado e massa de solo nas classes de agregados em solo com (Experimento 1) e sem histórico (Experimento 2) de aplicação de XR.	32
Tabela 4 - Teor de C (g kg ⁻¹), δ ¹³ C (‰) e C (% do C adicionado) dos resíduos culturais de soja presente nas frações >53 μm e <53 μm em solo com (Experimento 1) e sem histórico (Experimento 2) de aplicação de XR.	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Hipóteses.....	11
1.2 Objetivo	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Xisto	13
2.2 Xisto retortado	14
2.3 Uso do xisto retortado na agricultura.....	15
2.4 Decomposição e mineralização do C de resíduos culturais no solo.....	17
2.5 Agregação e estabilidade de agregados	18
2.6 Matéria orgânica do solo (MOS)	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Solo.....	21
3.2 Xisto retortado e resíduos culturais.....	22
3.3 Tratamentos	24
3.4 Incubações	25
3.5 Avaliações	26
3.5.1 Mineralização do C.....	26
3.5.2 Estabilidade de agregados em água	27
3.5.3 Fracionamento físico da matéria orgânica.....	27
3.6 Análises estatísticas	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Mineralização do C.....	28
4.2 Estabilidade de agregados em água	32
4.3 Estabilização do C	33
5 CONCLUSÕES.....	36
6 PERSPECTIVAS FUTURAS.....	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

O xisto é uma rocha de origem sedimentar da qual é possível a extração de um óleo similar ao petróleo, entre outros produtos e subprodutos. Reservas dessa rocha podem ser encontradas em diversos continentes e países ao redor do globo (SANTOS; MATAI, 2010). Para muitos países o xisto pode ser uma importante fonte de energia, sendo uma alternativa ao atual sistema energético mundial amplamente baseado na utilização do petróleo.

O Brasil por meio da Petrobras desenvolveu o processo Petrosix[®] que é considerado o sistema mais avançado do mundo para extração de óleo de xisto (PIMENTEL et al., 2006). Durante o processamento industrial do xisto são gerados diversos subprodutos, entre eles o xisto retornado (XR). O XR representa 80 a 90% de todo o xisto que alimenta o processo de beneficiamento (PIMENTEL et al., 2006). O XR é considerado um dos maiores entraves para o desenvolvimento da indústria do xisto devido ao grande volume gerado e a necessidade de disposição adequada no ambiente (STARK; REDENTE, 1990).

O aproveitamento do XR em outras cadeias produtivas pode beneficiar o processamento industrial do xisto por reduzir o volume a ser descartado no ambiente. Na indústria, por exemplo, ele pode ser usado na fabricação de cimentos e cerâmicas (ATANASIO, 2002). Sua utilização na agricultura tem sido estudada, uma vez que esse material é constituído de argilominerais aluminossilicatos e tem uma área superficial específica (ASE) em torno de $65 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (MIOTTO; MACHADO, 2006; PIMENTEL et al., 2006). Além disso, apresenta alto teor de matéria orgânica (MO) e silício (Si) (PEREIRA; VITTI, 2004), e em menores quantidades, fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e micronutrientes (CHAVES; VASCONCELOS, 2006).

Nos últimos anos o XR tem sido objeto de estudo em pesquisas que avaliam seu efeito sobre o solo e culturas agrícolas. Alguns estudos demonstram que sua adição gera o aumento dos teores de S, Si e soma de bases trocáveis do solo (PEREIRA et al., 2003; PEREIRA; VITTI, 2004; CHAVES; VASCONCELOS, 2006). Contudo, para viabilização de seu uso como insumo agrícola, além de estudos agronômicos há necessidade de pesquisas acerca de possíveis impactos ambientais. Estudos com esse escopo ainda são raros na literatura científica.

Um dos poucos estudos com esse enfoque foi desenvolvido por Doumer et al. (2011), no qual avaliou-se o efeito da adição de XR sobre parâmetros de qualidade do solo. Nesse estudo foi constatada melhoria da atividade microbológica do solo após adição de XR, pois a

emissão de CO₂ foi menor, não havendo efeito negativo sobre a biomassa microbiana nem às enzimas do solo. De acordo com os autores uma das possíveis explicações para o fato seria a capacidade do XR em promover a proteção química e física da MO e a adsorção do carbono (C) lábil, limitando a degradação desses compostos orgânicos pela biomassa microbiana do solo. Entretanto, os autores ressaltam a importância do desenvolvimento de novos estudos que confirmem ou não a ação do XR sobre o C do solo.

Os resíduos culturais (RC) são responsáveis por grande parte do C que entra no solo. A qualidade do solo é dependente dos teores de C, visto que este promove o surgimento de diversas propriedades emergentes entre elas a atividade biológica, produção de compostos orgânicos secundários e agregação do solo (VEZZANI, 2001). Em consequência da grande importância do C, a comunidade científica tem se voltado ao estudo de estratégias que possam aumentar os teores de C no solo, contribuindo com a melhoria de sua qualidade, com o sequestro de C e consequente mitigação das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global.

1.1 Hipóteses

Três hipóteses fundamentam este estudo:

- (a) A adição de XR diminui a mineralização do C dos RC por promover sua proteção física em agregados do solo.
- (b) A adição de XR aumenta a retenção de C nas frações particulada (>53 µm) e associada aos minerais (<53 µm) da MO de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico.
- (c) O efeito do XR sobre a retenção do C de RC no solo varia em função da qualidade dos RC.

1.2 Objetivo

O presente estudo objetivou avaliar o efeito residual e imediato de doses crescentes de XR sobre a mineralização do C de RC, a estabilidade de agregados em água e a retenção de C nas frações particulada ($>53 \mu\text{m}$) e associada aos minerais ($<53 \mu\text{m}$) da MO de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Xisto

O termo xisto é amplamente usado para designar uma rocha sedimentar da qual é possível se extrair óleo semelhante ao petróleo, gás e S, entre outros produtos e subprodutos. De acordo com Pimentel et al. (2006) a denominação mais apropriada para esse tipo de rocha seria folhelho pirobetuminoso. O termo pirobetuminoso faz referência ao complexo orgânico existente no xisto, chamado betume ou querogênio, que necessita de aquecimento para transformar-se em óleo.

Reservas de xisto já foram identificadas em diversos locais do mundo. Países como Estados Unidos, Brasil, China, Zaire, Austrália, Estônia e Itália possuem reservas de xisto em seus territórios (SANTOS; MATAI, 2010). Segundo estimativas apenas na formação Green River, localizada no oeste dos Estados Unidos, há reservas que equivalem a aproximadamente 1,5 trilhões de barris de óleo (DYNI, 2006). No Brasil, as principais reservas de xisto são encontradas nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul e Goiás. Essas reservas correspondem a aproximadamente 700 milhões de barris de óleo (PETROBRAS, 2013).

No mundo, apenas três países (Brasil, China e Estônia) exploram comercialmente reservas de xisto para produção de combustíveis líquidos e energia elétrica (SANTOS, 2010). O Brasil por meio da Petrobras desenvolveu o processo Petrosix[®], considerado a tecnologia mais avançada do mundo para extrair óleo a partir do xisto (PIMENTEL et al., 2006). Esse processo inclui diversas etapas entre elas a mineração, trituração, processamento termo-químico do folhelho com obtenção dos produtos e subprodutos e recuperação da área afetada pela mineração (MILANI et al., 2007).

O processo Petrosix[®] é empregado na cidade paranaense de São Mateus do Sul sobre uma das maiores reservas mundiais de xisto, a Formação Irati. Essa imensa reserva se estende do estado de Mato Grosso do Sul até a fronteira do Brasil com o Uruguai (SANTOS, 2009). Em São Mateus do Sul as reservas de xisto são compostas de duas camadas separadas por uma camada intermediária constituída de calxisto (CX) e siltitos. A primeira e a segunda camada de xisto apresentam espessura média de 6,50 e 3,20 m e teores de óleo de 7,5 e 9,1%,

respectivamente. O óleo é extraído da rocha via processo de pirólise ou retortagem que sob altas temperaturas e ausência de oxigênio converte a MO em óleo (SANTOS, 2009).

O volume de xisto processado diariamente em São Mateus do Sul alcança cerca de 7.800 t e gera 3.800 barris de óleo, 120 t de gás combustível, 47 t de gás liquefeito e 75 t de enxofre elementar (MILANI et al., 2007). Além disso, são gerados subprodutos como CX, finos de xisto (FX) e XR que atingem um volume diário de 300, 45 e 6.600 t, respectivamente (PETROBRAS, 2013).

2.2 Xisto retortado

Durante o beneficiamento industrial do xisto uma grande quantidade de subprodutos é gerada, dentre eles o XR. Esse subproduto representa 80 a 90% de todo o xisto que alimenta o processo de beneficiamento (PIMENTEL et al., 2006). O XR é considerado um dos maiores entraves para o desenvolvimento da indústria do xisto devido ao grande volume gerado e a necessidade de disposição adequada no ambiente (STARK; REDENTE, 1990).

Nos Estados Unidos, para Reddy; Lindsay (1986) a alta alcalinidade do XR (pH ~ 12,0) impede severamente os esforços diretos de revegetação das áreas onde ele é maciçamente depositado. É importante destacar que a constatação dos autores acima citados foi baseada na realidade americana o que não condiz com a situação encontrada no Brasil. Em condições brasileiras, o XR apresenta valores de pH bem abaixo, próximos a 5,0 (BAY et al., 2011). Além disso, o retorno do XR ao ambiente feito pela unidade da Petrobras em São Mateus do Sul não apresenta efeito negativo para o estabelecimento de plantas (gramíneas, leguminosas, espécies florestais nativas e exóticas).

O XR tem em sua composição considerável teor de MO (15%) e elevado teor de Si (52%) (PEREIRA; VITTI, 2004) dentre outros elementos, como P, Ca, Mg, S e micronutrientes (CHAVES; VASCONCELOS, 2006). Além disso, o XR apresenta estrutura lamelar, com argilominerais aluminossilicatos como principais constituintes e ASE de $65 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (MIOTTO; MACHADO, 2006; PIMENTEL et al., 2006). Em consequência dessas características o XR vem sendo estudado como um potencial insumo para ser utilizado na agricultura. A utilização e possível valoração dos subprodutos do xisto, especialmente o XR, pode contribuir para aumentar o valor da relação entre receita e custos de seu processamento

industrial (SANTOS; MATAI, 2010). Dessa forma o processo pode tornar-se mais sustentável tanto em termos econômicos quanto ambientais.

Segundo Santos; Matai (2010) a atual filosofia de valoração de rejeitos tem estimulado a criação de novas tecnologias para a utilização dos subprodutos oriundos do beneficiamento do xisto. Para os autores a utilização dos rejeitos como matéria-prima em outros processos produtivos pode diminuir parte dos impactos gerados e incorporar a prática do uso múltiplo do xisto. Na indústria, o XR já vem sendo utilizado como matéria-prima na produção de argila expandida, que é empregada em concretos estruturais e isolantes termo acústicos. Além de ser utilizado na produção de vidros, cerâmicas vermelhas e cimento (ATANASIO, 2002).

2.3 Uso do xisto retornado na agricultura

O aproveitamento dos subprodutos do xisto na agricultura pode contribuir para a viabilização do processo de beneficiamento e para a diminuição da dependência externa do Brasil por fertilizantes. De acordo com dados do International Fertilizer Industry Association (IFA) do ano de 2011, do total de fertilizantes NPK utilizados no Brasil 80% tiveram origem externa. Segundo Pillon (2006) uma das barreiras ao aumento da produção agrícola mundial é a baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas em agroecossistemas com baixa fertilidade natural, especialmente em função de seu custo elevado. De acordo com o mesmo autor a elevada disponibilidade de xisto no Brasil, as novas exigências do mercado por produtos mais limpos com qualidade e quantidade e a composição química do xisto podem representar um novo marco para a competitividade e sustentabilidade da agropecuária brasileira.

A partir desse cenário o uso de fontes alternativas, como o XR, para complementar a fertilização dos solos apresenta um futuro bastante promissor no mundo e especialmente no Brasil. Entretanto, no caso do XR, sua aplicação na agricultura demanda o desenvolvimento de estudos que comprovem sua eficiência agrônômica e segurança ambiental. Poucos estudos até o momento avaliaram o uso do XR na agricultura e desse modo há pouca informação na literatura científica.

Nos últimos anos alguns estudos foram desenvolvidos para avaliar o efeito do XR sobre o solo e culturas agrícolas. O XR por ser rico em Si, foi utilizado como fonte desse nutriente em trabalho de Pereira et al. (2003). Os experimentos foram conduzidos com a

cultura do tomateiro em Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto. A aplicação de XR proporcionou aumento significativo de S no solo, sem causar aumento no pH, possivelmente devido à baixa reatividade do Si e liberação de S.

Pereira; Vitti (2004) avaliaram o efeito da adição de XR (0, 3, 6, 9, 12 t ha⁻¹) sobre atributos químicos do solo e nutrição do tomateiro em Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abrupto. A adição de XR promoveu aumento significativo nos teores de Si e S no solo e nas folhas de tomateiro. O valor do pH do solo e os teores de cátions trocáveis não foram alterados, mas foi observado aumento da disponibilidade de P. Nesse estudo não se verificou dano ao ambiente por contaminação química por metais pesados nem diminuição da produtividade do tomateiro.

Em estudo realizado por Chaves; Vasconcelos (2006) foram avaliados os efeitos da adição de XR (0, 3, 6, 9 e 12 t ha⁻¹) sobre atributos químicos do solo e sobre a cultura do milho em Neossolo Regolítico Ta Eutrófico. Aumentos significativos na soma de bases trocáveis e nos teores de S e Si no solo foram observados. Em relação ao crescimento vegetativo do milho não foi verificada influência das doses de XR.

O Projeto Xisto Agrícola que é uma parceria firmada entre a Embrapa Clima Temperado e a Petrobras tem desenvolvido estudos com os subprodutos da industrialização do xisto. Em um desses estudos foi avaliado o efeito da adição de uma matriz fertilizante a base de CX e XR, em combinação com fonte orgânica e termofosfato, no desenvolvimento inicial e na produção de frutas de pessegueiro das cultivares Chimarrita e Leonense. A partir dos resultados encontrados foi verificada tendência de efeito positivo dessa matriz no desenvolvimento inicial das plantas e na produção de frutas (XISTO AGRÍCOLA, 2009a). Em outro estudo do Projeto Xisto Agrícola foi avaliado o efeito imediato da aplicação de outra matriz fertilizante a base de XR, FX, CX e S elementar, combinada com fosfato natural de Arad sobre a produtividade de grãos de trigo Cv. BRS Guamirim. Os resultados obtidos demonstraram que a combinação de fosfato natural com a referida matriz proporcionou aumento na produtividade de grãos desse cereal (XISTO AGRÍCOLA, 2009b).

Até o momento os estudos desenvolvidos com XR sobre aspectos relativos ao seu potencial agrícola têm demonstrado viabilidade de uso, uma vez que os resultados evidenciam que o XR traz benefícios ao solo e às culturas. No entanto, pouco se conhece sobre o impacto da adição desse material sobre parâmetros referentes à qualidade do solo.

O efeito da aplicação de XR sobre características biológicas indicadoras da qualidade do solo foi estudado por Doumer et al. (2011). Os autores observaram que a aplicação de XR melhorou a atividade microbiológica do solo, por reduzir a emissão de CO₂ sem causar

variação no C da biomassa microbiana e sem provocar impacto negativo sobre a atividade enzimática do solo. As menores emissões de CO₂ após adição de XR ao solo foram atribuídas às características do XR que podem ter provocado a proteção física e química da MO e a adsorção do C lábil, limitando a degradação desses compostos orgânicos pela biomassa microbiana do solo. Entretanto, os autores do referido estudo ressaltam a necessidade de novas pesquisas para confirmar a possível ação do XR sobre o C do solo.

2.4 Decomposição e mineralização do C de resíduos culturais no solo

Os RC são considerados a principal fonte de C ao solo. O aporte de RC e consequentemente de C permite o surgimento de diversas propriedades emergentes do solo como atividade biológica, produção de compostos orgânicos secundários e agregação do solo (VEZZANI, 2001). Níveis adequados dessas propriedades tornam o solo capaz de manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na terra (DORAN; PARKIN, 1994).

A melhoria das funções do solo com o incremento de C depende em grande parte da decomposição dos RC. O processo de decomposição consiste na quebra química de um composto orgânico complexo em compostos mais simplificados. Por outro lado, o processo de mineralização do C corresponde à conversão do C orgânico (por exemplo, glicose) em C inorgânico (CO₂) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A população microbiana do solo é um agente ativo na decomposição de RC, utilizando-os como fonte de energia e nutrientes para a formação e multiplicação celular (MENDONZA, 2000).

A decomposição de RC no solo é um processo complexo, que depende da composição bioquímica (qualidade do resíduo) dos RC, da atividade de macro e microrganismos e de fatores ambientais, como temperatura, umidade e também compostos tóxicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). As transformações bioquímicas no processo de decomposição ocorrem geralmente na seguinte ordem: biodegradação rápida da maioria dos compostos hidrossolúveis e polissacarídeos, redução lenta de hidrossolúveis fenólicos e hemiceluloses e aumento relativo do conteúdo de ligninas e proteínas (CORREIA; ANDRADE, 1999). Como os RC apresentam composição bioquímica variada e complexa e teores diferentes de celulose, hemicelulose, lignina, proteínas e substâncias solúveis conforme a espécie (MOREIRA;

SIQUEIRA, 2006), a susceptibilidade dos RC à decomposição também depende da proporção desses constituintes nos tecidos vegetais.

Inúmeros trabalhos em condições de laboratório e campo já foram desenvolvidos para melhor compreender a influência da composição bioquímica sobre a decomposição de RC (CHAVES et al., 2004; ABIVEN et al., 2005; BERTRAND et al., 2006; SALL et al., 2007).

Com esse propósito Jensen et al. (2005) estudaram a dinâmica de decomposição de diversos RC (37 espécies e várias partes de plantas) sob condições de laboratório. Os resultados encontrados apontaram grande influência dos teores de holocelulose sobre a mineralização do C. Também sob condições de laboratório, Redin (2010) estudou a mineralização do C e do nitrogênio (N) de RC da parte aérea e de raízes de culturas comerciais e plantas de cobertura de solo. Nesse estudo o autor encontrou correlação significativa entre mineralização do C e relação C/N, polifenóis e fibra em detergente neutro de Van Soest.

Já em condições de campo, Aita e Giacomini (2003) avaliaram a decomposição de diferentes plantas de cobertura de solo (leguminosa, gramínea e crucífera) com composição bioquímica variada. A velocidade de decomposição foi diferenciada entre as espécies testadas, sendo inversamente proporcional às relações C/N e lignina/N e diretamente proporcional às concentrações de N total na fitomassa e de N e C da fração solúvel em água.

2.5 Agregação e estabilidade de agregados

A estrutura do solo refere-se ao arranjo das partículas primárias do solo em agregados ou unidades estruturais (SILVA, 2008). A estrutura do solo exerce influência direta sobre a movimentação de água, transferência de calor, aeração, densidade do solo e porosidade (LETEY, 1985).

A formação de agregados do solo é considerada complexa, sendo resultado da atuação de processos químico-físicos e biológicos. Os processos químico-físicos de agregação são mais intensos quanto maior a fração argila. Por outro lado, em solos arenosos, onde o teor de argila é reduzido, os processos biológicos são preponderantes. De acordo com a teoria da hierarquização dos agregados de Tisdall; Oades (1982) os agregados são classificados em microagregados (<250 μm) e macroagregados (>250 μm). Cada agregado é formado pela

união de agregados da classe inferior e, dessa forma segue uma ordenação hierárquica, sendo cada classe de agregados unida por diferentes agentes de agregação.

A medição da resistência de agregados quando submetidos a forças que tendem a rompê-los é usada como uma forma de avaliação da estrutura do solo e conseqüentemente o seu grau de desenvolvimento. Geralmente a força utilizada para avaliar essa resistência é a força da água (CHAVES; CALEGARI, 2001). Existem diversos índices usados para se determinar o estado de agregação e o tamanho dos agregados do solo. De acordo com Kemper (1965) e Kemper; Chepil (1965) podem ser usados como índices o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP). O DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência, já o DMP cresce à medida que aumenta a porcentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores (CASTRO FILHO et al., 1998).

O tamanho dos agregados do solo e o estado de agregação podem ser influenciados por diferentes processos de manejo e práticas culturais que alteram o teor de MO e a atividade biológica (CASTRO FILHO et al., 1998). Dessa forma a adição de RC por afetar tanto os teores de MO quanto a atividade biológica do solo influencia o processo de formação e estabilização de agregados.

Diversos substratos quando adicionados ao solo promovem melhoria nos processos de formação e estabilização de agregados. Em trabalho de Souza et al. (2005) foi avaliado o efeito do biossólido de lodo de esgoto (0,0, 25,0, 47,5 e 50,0 t ha⁻¹ de massa seca) sobre a estabilidade de agregados. A aplicação de 50,0 t ha⁻¹ de biossólido de lodo de esgoto aumentou a agregação do solo na camada de 0,0–0,1 m, onde foi incorporada. A distribuição e os índices de estabilidade de agregados foram avaliados por Vasconcelos et al. (2010) em solo com diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar com diversos aportes de resíduos. Os sistemas de cultivo da cana-de-açúcar com a aplicação de vinhaça adicionada à torta e da vinhaça isoladamente mostraram-se eficientes no desenvolvimento dos agregados, como constatado pela ocorrência de macroagregados.

2.6 Matéria orgânica do solo (MOS)

A MOS é um reservatório considerável de C terrestre o qual representa cerca de duas vezes a quantidade de C da atmosfera e da biomassa vegetal (SWIFT, 2001). Os RC em

estágios variados de decomposição, a biomassa microbiana, as raízes e a fração mais estável, denominada húmus constituem a MOS (THENG et al., 1989).

Vários atributos do solo e do ambiente relacionados às funções básicas do solo têm estreita relação com a MOS (DORAN, 1997). Destacam-se a estabilidade dos agregados e da estrutura, infiltração e retenção de água, resistência à erosão, atividade biológica, capacidade de troca de cátions, disponibilidade de nutrientes para as plantas, lixiviação de nutrientes, liberação de CO₂ e outros gases para a atmosfera.

O solo é considerado um sistema aberto e dessa forma troca matéria e energia com o meio. O sistema atinge um estado estável quando as taxas de adição e de perdas são equivalentes (ADDISCOT, 1992). A adição de MO ocorre via adição de C pela síntese de compostos orgânicos no processo da fotossíntese. As perdas de C ocorrem principalmente pela liberação de CO₂ na respiração, pela decomposição dos resíduos e da MOS e pelas perdas de compostos orgânicos por lixiviação e erosão.

A estabilidade da MOS é produto de três mecanismos que são a recalcitrância da molécula, estabilidade química oriunda de interações com os minerais do solo e proteção física por oclusão em agregados (CHRISTENSEN, 1996; SOLLINS et al., 1996).

Existem diversos métodos que avaliam os mecanismos de proteção física da MOS. Dentre esses métodos, existem os físicos que permitem estudar a relação entre a composição da MOS e a sua localização na estrutura do solo e interação com a fração mineral (CHRISTENSEN, 1992). O fracionamento físico granulométrico baseia-se na separação de frações em função do tamanho de partículas (areia, silte e argila), permitindo a separação de complexos organominerais primários e secundários (ROSCOE; MACHADO, 2002). De acordo com Bayer et al (2004) o C pode se acumular em duas frações da MOS: fração lábil e fração estável, o que pode implicar na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de C atmosférico, além de alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos.

A partir das características químicas e físicas do XR como elevada ASE, presença de argilominerais de camada 2:1 dentre outras é possível que sua adição favoreça as associações com compostos orgânicos e minerais do solo (DOUMER et al., 2011) e conseqüentemente proporcione mudanças na mineralização do C de RC, estabilidade de agregados e na retenção de C nas diferentes frações da MOS.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo constou de dois experimentos de laboratório conduzidos de forma não simultânea, durante 80 dias cada e sob condições controladas de temperatura e umidade. O estudo foi realizado no Laboratório em Biotransformações do Carbono e Nitrogênio (LABCEN), na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, Brasil.

3.1 Solo

A coleta de solo foi realizada na área experimental do Departamento de Solos da UFSM. O solo, classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (Hapludalf) (EMBRAPA, 2006), foi coletado na camada de 0-5 cm (Figura 1) de um experimento sob sistema de plantio direto com aplicações sucessivas de XR (DOUMER et al., 2011). O histórico de manejo da referida área pode ser visualizado na Tabela 1. Após a coleta, o solo foi peneirado em peneira de malha 4 mm, homogeneizado e acondicionado em saco plástico escuro, sob temperatura ambiente, por três dias, até a montagem do experimento.



Figura 1 - Coleta de solo usado nas incubações.

Tabela 1 - Histórico da área experimental sob plantio direto consolidado (local de coleta do solo utilizado nas incubações).

Data	Prática	Sequencia de Culturas¹
Janeiro/2010	Aplicação de XR	Feijão
Setembro/2010	Aplicação de XR	Feijão
Novembro/2011	Aplicação de XR	Pousio
Junho/2012	Aplicação de XR	Aveia
Novembro/2012	Coleta de solo Experimento 1	Resteva de aveia
Janeiro/2013	Aplicação de XR Coleta de solo Experimento 2	Soja

¹- A adubação das culturas foi realizada com base nas indicações do Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

No experimento 1, os tratamentos foram compostos por amostras de solo de parcelas que receberam quatro aplicações de XR nas doses de 0, 1.500 e 3.000 kg ha⁻¹ (totalizando 0, 6.000 e 12.000 kg ha⁻¹). Já no experimento 2, os tratamentos foram constituídos com solo somente da parcela sem histórico de aplicação de XR (0 kg ha⁻¹), que no laboratório recebeu três doses de XR equivalentes a 0, 1.500 e 3.000 kg ha⁻¹.

3.2 Xisto retornado e resíduos culturais

O XR utilizado no experimento 2 (Figura 2) foi proveniente da Petrobras – SIX (Superintendência de Industrialização do Xisto), localizada em São Mateus do Sul (PR). Após a coleta, o material foi moído (<0,25 mm) e armazenado em sacos de rafia, mantidos secos e protegidos de sol e chuva.



Figura 2 - Xisto retortado usado nas incubações.

Em ambos os experimentos os tratamentos foram avaliados na presença e ausência de folhas e de talos de soja (*Glycine Max*) marcados com ^{13}C . Os resíduos foram enriquecidos com ^{13}C em condições de campo através de aplicações semanais de $^{13}\text{CO}_2$ no interior de câmaras de acrílico conforme metodologia descrita em Sangster et al. (2010). Nos resíduos secos e moídos foram determinados os teores de C e N por combustão seca e o excesso isotópico em ^{13}C em espectrômetro de massas (modelo Delta Advantage marca Thermo Electron). Os talos apresentaram teor de C, N e $\delta^{13}\text{C}$ (‰) de 43,5%, 0,61% (C/N=72) e 61,8, respectivamente. Já as folhas apresentaram 41,4% de C, 1,85% de N (C/N=22) e 57,1 $\delta^{13}\text{C}$ (‰).

Os resíduos foram secos ao ar e moídos em moedor mecânico. A granulometria de ambos os resíduos, talos e folhas (Figura 3), foi uniformizada com a proporção de 35% (<0,5 mm) e 65% (entre 0,5 mm e 1,0 mm) para cada RC. Dessa forma os RC, tanto folhas quanto talos, ficaram com o mesmo padrão granulométrico. Os resíduos moídos foram incorporados ao solo isoladamente ou em conjunto com o XR em quantidade equivalente a 3.000 kg ha^{-1} . Essa quantidade justifica-se pela produção de massa seca da parte aérea encontrada por Kuss et al. (2005) e Redin (2010) sob condições semelhantes ao presente estudo.

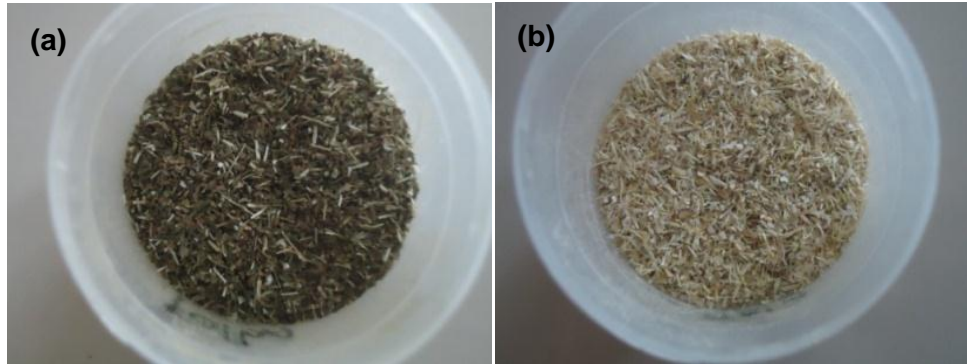


Figura 3 - Resíduos culturais moídos – folhas (a) e talos (b) de soja

3.3 Tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados com quatro repetições. Na primeira incubação foram avaliados os seguintes tratamentos:

- T1** - Solo 0 kg ha⁻¹ xisto retornado (XR)
- T2** - Solo 0 kg ha⁻¹ XR + 3.000 kg ha⁻¹ folha de soja (FS)
- T3** - Solo 0 kg ha⁻¹ XR + 3.000 kg ha⁻¹ talo de soja (TS)
- T4** - Solo 6.000 kg ha⁻¹ XR
- T5** - Solo 6.000 kg ha⁻¹ XR + 3.000 kg ha⁻¹ FS
- T6** - Solo 6.000 kg ha⁻¹ XR + 3.000 kg ha⁻¹ TS
- T7** - Solo 12.000 kg ha⁻¹ XR
- T8** - Solo 12.000 kg ha⁻¹ XR + 3.000 kg ha⁻¹ FS
- T9** - Solo 12.000 kg ha⁻¹ XR + 3.000 kg ha⁻¹ TS

Na segunda incubação foram avaliados os seguintes tratamentos:

- T1** - Solo 0 kg ha⁻¹ XR
- T2** - Solo 0 kg ha⁻¹ XR + 3.000 kg ha⁻¹ FS
- T3** - Solo 0 kg ha⁻¹ XR + 3.000 kg ha⁻¹ TS
- T4** - Solo 1.500 kg ha⁻¹ XR
- T5** - Solo 1.500 kg ha⁻¹ XR + 3.000 kg ha⁻¹ FS

T6 - Solo 1.500 kg ha⁻¹XR + 3.000 kg ha⁻¹ TS

T7 - Solo 3.000 kg ha⁻¹ XR

T8 - Solo 3.000 kg ha⁻¹ XR + 3.000 kg ha⁻¹ FS

T9 - Solo 3.000 kg ha⁻¹ XR + 3.000 kg ha⁻¹ TS

3.4 Incubações

As unidades experimentais foram constituídas de recipientes de acrílico, com dimensões de 5 cm de altura, 5 cm de diâmetro e capacidade de 110 mL. Os recipientes de acrílico foram acondicionados individualmente em potes de vidro com capacidade de 800 mL devidamente tampados (Figura 4a). Junto aos frascos contendo os tratamentos, foi acondicionado outro recipiente pequeno e aberto, contendo somente água destilada, com a finalidade de saturar a atmosfera interna do frasco de vidro, e com isso evitar a perda excessiva de água dos tratamentos, perdida principalmente durante a aeração periódica dos frascos. As unidades experimentais foram alocadas e mantidas em câmara de incubação do tipo DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), na ausência de luminosidade e a uma temperatura de 25°C por um período de 80 dias (Figura 4b). A umidade do solo foi ajustada para aproximadamente 80% da capacidade de campo.

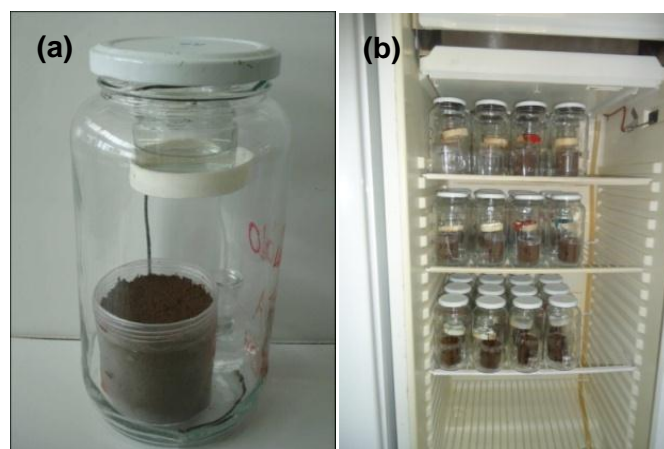


Figura 4 - Vista dos frascos de vidro utilizados na avaliação da dinâmica da mineralização do C (a) e sua alocação dentro da câmara de incubação (b).

Em cada recipiente de acrílico foram colocadas 135 g de solo com 14% de umidade, equivalendo a 117,8 g de solo seco a 105°C. Nos tratamentos com XR e/ou RC, os mesmos foram incorporados manualmente ao solo com auxílio de uma espátula. Após homogeneização, o solo foi adicionado nos recipientes de acrílico em duas etapas. Na primeira, foram adicionadas 67,5 g de solo, compactando-se até altura de 2,5 cm no recipiente. Posteriormente, adicionou-se o restante do solo (67,5 g), compactando-se até altura de 5,0 cm. Com esse procedimento, o solo do recipiente de acrílico atingiu uma densidade de 1,2 g cm⁻³.

Para evitar a deficiência de O₂, os frascos foram periodicamente aerados durante 10 minutos a cada avaliação. O teor de umidade foi controlado por meio da pesagem das unidades experimentais e, quando necessário, foi adicionada água destilada.

3.5 Avaliações

As avaliações referentes à mineralização do C foram realizadas ao longo dos 80 dias do período de incubação, sendo mais frequentes no período inicial e mais espessadas no período final. Já as avaliações referentes à estabilidade de agregados em água e o fracionamento físico da MOS foram realizadas uma única vez, ao final do período de incubação.

3.5.1 Mineralização do C

A mineralização do C dos tratamentos foi avaliada através da quantificação da liberação de C-CO₂ sempre nos mesmos frascos. O C-CO₂ liberado em cada tratamento foi captado em 10 mL de solução de NaOH 1 mol L⁻¹ colocada em um recipiente de vidro com capacidade de 37 mL, suspenso internamente na parte superior do frasco. O excesso de NaOH em cada intervalo de coleta foi titulado com HCl 1 mol L⁻¹, após precipitação do carbonato com uma solução de BaCl₂ 1 mol L⁻¹ (STOTZKY, 1965).

3.5.2 Estabilidade de agregados em água

Para determinação da estabilidade de agregados em água, o solo de cada unidade experimental foi manipulado para se obter agregados entre 8 mm e 4,76 mm, seco ao ar e pesado. Posteriormente, as amostras foram colocadas em conjunto de peneiras com malhas de diâmetros 4,76, 2,00, 1,00 e 0,21 mm, imersas em água e agitadas em oscilador mecânico vertical, durante 10 minutos (KEMPER; CHEPIL, 1965). Em seguida, o material retido em cada peneira foi retirado, separadamente, com o auxílio de jato d'água, colocado em latas previamente pesadas e identificadas, e levado à estufa até atingirem peso constante. A estabilidade de agregados foi expressa pelo DMG, DMP e massa de solo nas classes de agregados. Para realização dos cálculos, utilizou-se o programa computacional Física (GUBIANI et al., 2008).

3.5.3 Fracionamento físico da matéria orgânica

O fracionamento físico da matéria orgânica foi realizado segundo Cambardella; Elliot (1992). Aproximadamente 10 g de solo e 30 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5g L⁻¹) foram agitados durante 16 horas em agitador horizontal. A seguir, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm com auxílio de jato d'água. O material retido na peneira, que consiste na matéria orgânica particulada, foi seco em estufa a 50°C, quantificado em relação à sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de C orgânico, assim como o material que passou pela peneira (matéria orgânica associada aos minerais). Em ambas as frações analisaram-se o excesso isotópico de ¹³C por espectrometria de massas.

3.6 Análises estatísticas

Os dados foram analisados com o auxílio do programa estatístico Assistat Versão 7.7 beta (SILVA, 2013). Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Mineralização do C

A adição dos talos e folhas de soja ao solo aumentou a liberação de CO₂ em relação ao solo sem resíduos (Figuras 5 e 6). Nos dois experimentos, ao final do período de avaliação, a quantidade total de C liberado do solo do tratamento com o uso isolado dos talos foi maior do que a observada com o uso isolado das folhas (Tabela 1), mesmo a quantidade de C adicionada ter sido próxima entre os dois resíduos culturais de soja. Os resultados de mineralização aparente do C (Figura 5b e 6b e Tabela 1) confirmam uma maior mineralização total do C presente nos talos do que nas folhas (50,3% vs 44,6% no experimento 1 e 52,9 vs 43,4% no experimento 2). Embora a quantidade total de C mineralizado nas folhas de soja tenha sido menor do que aquela observada com os talos, na fase inicial de decomposição a mineralização do C das folhas superou aquela do C dos talos (Figura 5b e 6b). Esse resultado deve-se ao maior teor de N (menor C/N) e possivelmente de C solúvel nas folhas do que nos talos conforme observado por Redin (2010).

A adição dos RC de soja no solo com histórico de adição de XR não alterou a liberação de CO₂ e também não reduziu a mineralização aparente do C dos talos e folhas de soja comparado a adição desses resíduos em solo sem aplicação de XR (Figura 5 e Tabela 1). Já no experimento em que os resíduos foram adicionados ao solo sem histórico de adição de XR e na presença deste subproduto observou-se redução na liberação de CO₂ em relação ao controle, somente no tratamento com talos de soja na presença de 3.000 kg de XR ha⁻¹. Esse comportamento também foi observado para a mineralização aparente do C dos talos, em que na ausência do XR o valor de mineralização foi de 52,9% e reduziu para 47,8% na presença de 3.000 kg de XR ha⁻¹ (Tabela 1).

Os resultados obtidos indicam a ausência de efeito residual do XR sobre a mineralização do C dos resíduos culturais de soja. Já quando aplicado juntamente com os resíduos na dose de 3.000 kg ha⁻¹, o XR provocou redução na mineralização do C dos talos de soja. Esse resultado demonstra um efeito interativo do XR com os resíduos, levando a uma menor mineralização de C no solo. Comportamento semelhante foi observado por Keith et al. (2011) ao avaliar a mineralização real do C da mistura de biochar + RC de cana. Esses autores verificaram um efeito negativo do biochar sobre a mineralização do C dos resíduos culturais.

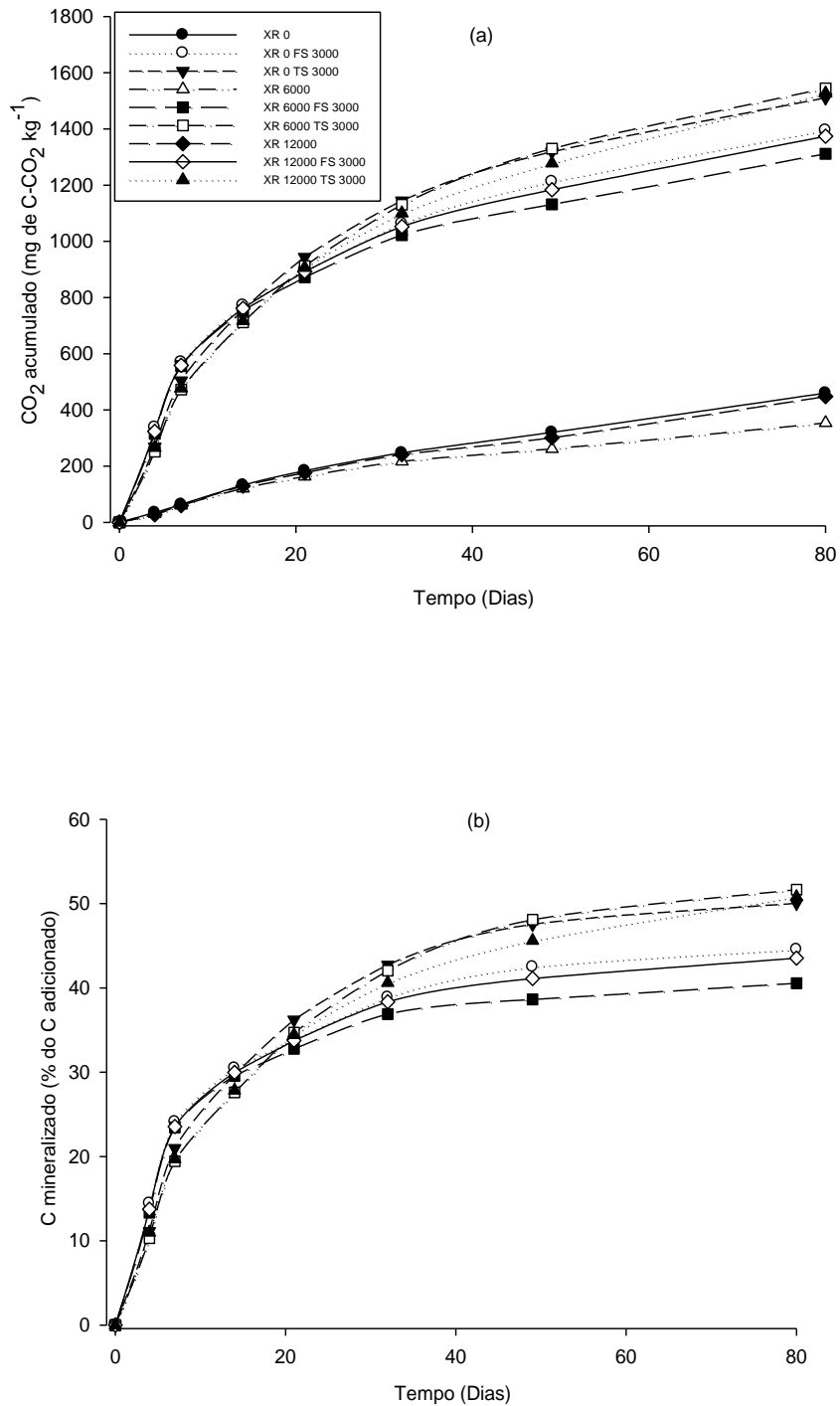


Figura 5 - Liberação de CO₂ (a) e mineralização do C de folhas e talos (b) em solo com (XR6000 e XR12000) e sem (XR0) histórico de aplicação de XR. XR: xisto retortado; FS: folha de soja; TS: talo de soja.

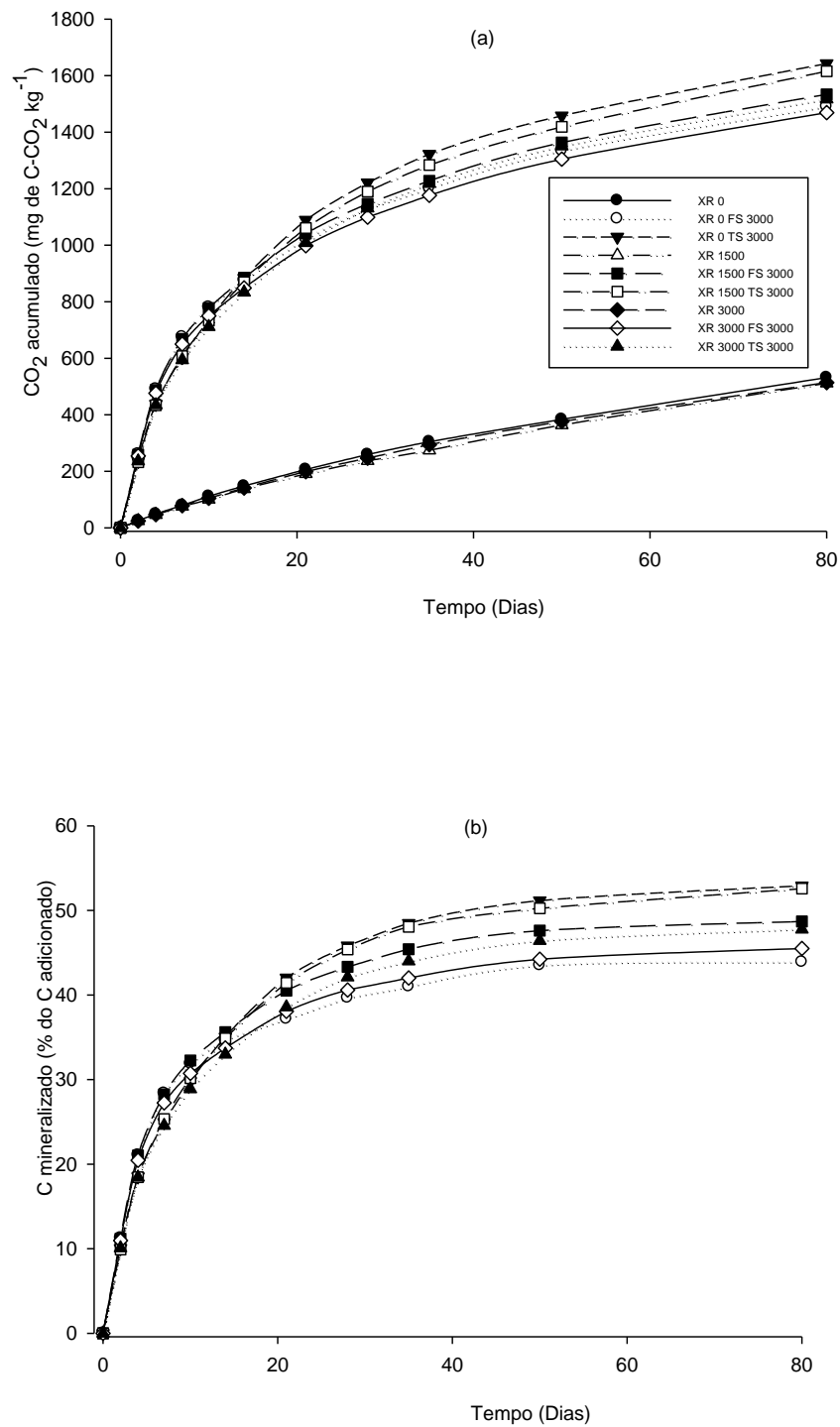


Figura 6 - Liberação de CO₂ (a) e mineralização do C de folhas e talos (b) em solo sem histórico de aplicação de XR nas doses de 0, 1.500 e 3.000 kg ha⁻¹ de XR (XR0, XR1500 e XR3000). XR: xisto retornado; FS: folha de soja; TS: talo de soja.

No presente estudo o fato da mineralização do C dos resíduos ser considerada aparente, não é possível afirmar que essa redução se deva a menor mineralização/retenção do C dos talos no solo pela influência da adição do XR. Isso porque a adição combinada dos resíduos (talos + XR) ao solo pode ter provocado mudança na taxa de decomposição da MOS e dos próprios resíduos devido a adição de um novo substrato ao solo (Kuzyakov et al., 2000). Esse efeito, denominado de “priming” pode ser nulo, positivo ou negativo (Kuzyakov, 2010). No presente estudo parece que a mistura XR + talos tenha provocado “priming” negativo, já que a sua aplicação ao solo provocou uma diminuição da evolução de CO₂ em relação ao tratamento com somente talos. Os resultados de ¹³C nas frações granulométricas do solo poderão esclarecer se a redução na mineralização realmente está ligada a uma maior estabilização do C no solo.

Tabela 2 - Liberação de C-CO₂ (mg kg⁻¹) e C mineralizado (% do C adicionado) de folhas e talos em solo com (Experimento 1) e sem histórico (Experimento 2) de aplicação de XR.

Experimento 1			Experimento 2		
Tratamentos	C-CO ₂	C mineralizado	Tratamentos	C-CO ₂	C mineralizado
XR 0	460c	–	XR 0	532d	–
XR 6000	354d	–	XR 1500	511d	–
XR 12000	448cd	–	XR 3000	514d	–
XR 0 + FS	1.396b	44,6c	XR 0 + FS	1.453c	43,9c
XR 6000 + FS	1.312b	45,6c	XR 1500 + FS	1.534bc	48,7abc
XR 12000 + FS	1.374b	44,1c	XR 3000 + FS	1.469c	45,5c
XR 0 + TS	1.500a	50,3b	XR 0 + TS	1.643a	52,9a
XR 6000 + TS	1.544a	56,7a	XR 1500 + TS	1.615ab	52,6ab
XR 12000 + TS	1.527a	51,4ab	XR 3000 + TS	1.517bc	47,8bc

XR: xisto retornado; XR 0, XR 1500, XR 3000, XR 6000, XR 12000 representam as doses de 0, 1.500, 3.000, 6.000 e 12.000 kg de XR ha⁻¹, respectivamente; FS: folha de soja; TS: talo de soja. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

4.2 Estabilidade de agregados em água

O efeito residual e imediato da adição de XR sobre a estabilidade de agregados na presença de RC pode ser visualizado na Tabela 2. No experimento 1, comparando-se o efeito da adição de resíduos (folhas e talos) em solo sem histórico (XR0) e em solo com histórico de aplicação de XR (XR12000) percebe-se que o solo com histórico não provocou aumento na agregação, resultando no tratamento com talos uma redução no DMG. A partir desses resultados é possível constatar a inexistência de efeito residual do XR sobre a agregação do solo na presença de RC. Já no experimento 2, com solo sem histórico de aplicação de XR, quando a dose de 3.000 kg ha⁻¹ de XR foi combinada com os RC, observou-se respostas distintas entre os tratamentos com folhas e talos. Verifica-se uma redução significativa dos índices e na classe 8 – 4,76 mm quando se combinou o XR com folhas em relação ao tratamento XR0 + folhas. Por outro lado, a combinação de XR com talos proporcionou incremento nos principais valores em comparação com o tratamento somente com talos. Esse resultado demonstra que efeito positivo do XR sobre a agregação em curto prazo é dependente da qualidade dos resíduos culturais adicionados ao solo.

Tabela 3 - Diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado e massa de solo nas classes de agregados em solo com (Experimento 1) e sem histórico (Experimento 2) de aplicação de XR.

Tratamento	DMG (mm)	DMP (mm)	Massa de solo nas classes de agregados (%)				
			8 - 4,76	4,76 - 2	2 - 1	1 - 0,21	<0,21
Experimento 1							
XR0	0,41d	1,09d	10,02d	3,13d	4,53ab	36,24a	46,08b
XR12000	0,28d	0,65d	3,54d	3,64cd	4,16abc	26,80ab	61,85a
XR0 + FS	1,73bc	3,59bc	48,79bc	7,72abc	5,24a	19,02bcd	19,23cd
XR12000 + FS	1,17cd	2,84c	35,09c	10,77a	5,21 a	20,57bc	28,37c
XR0 + TS	3,73a	5,19a	77,28a	5,48bcd	1,86c	7,03d	8,36e
XR12000 + TS	2,51b	4,43ab	62,75ab	9,20ab	2,58bc	9,95cd	15,53de
Experimento 2							
XR0	0,28c	0,61c	3,30c	2,13b	3,82a	32,84a	57,90

Tabela 3 - Continuação...

Tratamento	Massa de solo nas classes de agregados (%)						
	DMG (mm)	DMP (mm)	8 - 4,76	4,76 - 2	2 - 1	1 - 0,21	<0,21
Experimento 2							
XR3000	0,39c	1,00c	8,83c	3,21ab	3,92a	34,02a	50,02a
XR0 + FS	2,39a	4,23a	60,66a	6,00ab	3,56a	15,01b	14,77bc
XR3000 + FS	1,20bc	2,80b	35,93b	6,87a	5,31a	27,63ab	24,26b
XR0 + TS	1,66ab	3,58ab	49,04ab	7,29a	4,06a	19,52ab	20,08bc
XR3000 + TS	2,54a	4,35a	62,80a	5,58ab	3,32a	14,61b	13,69c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Nos dois experimentos, a adição de folhas e talos, proporcionou aumentos significativos nos índices (DMG e DMP) e também em algumas classes de agregados. Esses resultados demonstram a grande contribuição dos RC na estabilidade de agregados e conforme observado por Tang et al. (2011) em uma incubação de 40 dias na qual foram adicionados resíduos de milho. Nesse estudo os autores encontraram efeito positivo da adição de resíduos de milho sobre a estabilidade de agregados.

4.3 Estabilização do C

Os valores de C nas frações $>53 \mu\text{m}$ e $<53 \mu\text{m}$ não foram alterados pela a adição do XR e dos resíduos culturais de soja (Tabela 3). Maior conteúdo de C foi observado na fração $<53 \mu\text{m}$. O fato de não ter sido encontrada diferença significativa entre os teores de C nas frações do solo reforça a dificuldade de medir variações nos teores de C no solo em curto prazo, mesmo logo após a adição de materiais orgânicos no solo. O uso de resíduos enriquecidos com ^{13}C pode ser uma alternativa para isso.

A adição de RC enriquecidos com ^{13}C no solo provocou alteração nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ das frações do solo. A partir dessas alterações foi possível determinar a incorporação do C de talos e folhas de soja nas frações $>53 \mu\text{m}$ e $<53 \mu\text{m}$ do solo. No experimento com histórico de aplicação de XR, observa-se que o XR não promoveu maior retenção de C dos talos e folhas

no solo. Embora a ausência de significância entre tratamentos com e sem XR, verifica-se uma tendência de maior retenção de C no solo onde os resíduos foram adicionados no solo com XR. Tal tendência provocada principalmente pela maior quantidade de C dos resíduos encontrada na fração $>53 \mu\text{m}$.

No experimento realizado com solo sem histórico de aplicação de XR a aplicação conjunta de resíduos e XR promoveu maior retenção de C no solo apenas no tratamento com folhas. Nesse tratamento, o aumento na retenção de C no solo foi 21% (26,1 vs 31,7%) do que comparado ao tratamento com a aplicação isolada das folhas. Novamente esse aumento da retenção do C no solo esteve relacionado ao aumento do C na fração $>53 \mu\text{m}$ (12,3 vs 17,5%). Esses resultados podem explicar em parte a menor mineralização do C das folhas comparada a dos talos (Tabela 1). No entanto são contraditórios aos resultados de mineralização do C dos talos misturados ao XR em que se observou uma redução na mineralização aparente do C dos talos nessa condição. Tal resultado indica que a redução na mineralização aparente do C dos talos não esteve relacionada à retenção do C desses resíduos no solo.

Tabela 4 - Teor de C (g kg^{-1}), $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e C (% do C adicionado) dos resíduos culturais de soja presente nas frações $>53 \mu\text{m}$ e $<53 \mu\text{m}$ em solo com (Experimento 1) e sem histórico (Experimento 2) de aplicação de XR.

Tratamentos	C total		$\delta^{13}\text{C}$		C retido		
	$>53\mu$	$<53\mu$	$>53\mu$	$<53\mu$	$>53\mu$	$<53\mu$	Total
Experimento 1							
XR 0	6,1a	2,56a	-24,6	-22,2	–	–	–
XR 12000	6,0a	2,44a	-24,0	-21,9	–	–	–
XR 0 + FS	5,8a	2,57a	-18,6	-19,1	14,0b	13,8a	27,8ab
XR 12000 + FS	5,7a	2,53a	-17,8	-18,7	16,0ab	14,6a	30,6a
XR 0 + TS	6,1a	2,59a	-19,0	-19,6	13,4b	10,9b	24,3b
XR 12000 + TS	6,1a	2,52a	-16,5	-20,0	19,3a	8,6c	27,9ab
Experimento 2							
XR 0	4,1a	2,21a	-26,0	-22,5	–	–	–
XR 3000	4,5a	2,15a	-25,8	-22,5	–	–	–
XR 0 + FS	4,4a	2,28a	-18,6	-18,7	12,3b	13,8a	26,1b
XR 3000 + FS	4,9a	2,25a	-16,6	-18,5	17,5a	14,3a	31,7a
XR 0 + TS	4,4a	2,38a	-17,8	-20,1	15,8ab	9,1b	24,9b

Tabela 4 - Continuação...

Tratamentos	C total		$\delta^{13}C$		C retido		
	>53 μ	<53 μ	>53 μ	<53 μ	>53 μ	<53 μ	Total
XR 3000 + TS	5,0a	2,30a	-16,8	-19,9	17,4a	9,5b	26,9b

XR: xisto retornado; XR0, XR12000 e XR3000 representam as doses de 0, 12.000 (cumulativa) e 3.000 kg de XR ha⁻¹, respectivamente; FS: folha de soja; TS: talo de soja. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos indicam não haver efeito residual do XR sobre a mineralização e a retenção do C de resíduos culturais no solo. Tal resultado pode estar ligado ao fato de que após a aplicação do XR ao solo, esse através de sua área superficial específica elevada (65 m² g⁻¹) interage com a matriz do solo e a MOS diminuindo sua reatividade e com isso reduz seu poder de estabilização do C recém adicionado ao solo. Com base nisso, pode-se dizer que a melhor forma de avaliação do efeito residual do XR deve ser medido a campo em experimento de longa duração avaliando a retenção de C entre os tratamentos com e sem adição de XR. Quando aplicado conjuntamente com os resíduos ficou evidenciado o efeito imediato do XR sobre a retenção do C das folhas no solo, indicando que esse efeito é dependente da fonte de C adicionada ao solo. Nessa condição, possivelmente os sítios de adsorção do XR estavam livres e tiveram um maior efeito sobre a retenção/estabilização do C no solo. Resultados obtidos por Liang et al. (2010) também verificaram que o biochar, o qual também possui estrutura lamelar, porosidade e elevada área superficial, contribuiu para promoção da estabilização de C recém adicionado no solo.

5 CONCLUSÕES

- 1) Solo com histórico de aplicação de XR não afetou a mineralização e a retenção do C de resíduos culturais adicionados ao solo em condições de laboratório.
- 2) O XR apresentou efeito imediato, reduzindo a mineralização do C de talos e aumentando a retenção do C de folhas adicionadas ao solo em condições de laboratório.

6 PERSPECTIVAS FUTURAS

A partir dos resultados oriundos do presente estudo, foi possível conhecer alguns aspectos que devem ser avaliados em estudos futuros relacionados à adição de xisto retornado sobre a dinâmica do carbono de resíduos culturais no solo:

- 1) A mineralização real do C de RC em experimentos de laboratório.
- 2) O efeito do XR sobre a agregação em curto prazo com resíduos de diferente composição bioquímica.
- 3) O efeito residual do XR a campo em experimento de longa duração avaliando a retenção de C entre os tratamentos com e sem adição de XR.

REFERÊNCIAS

ABIVEN, S. et al. Mineralisation of C and N from root, stem and leaf residues in soil and role of their biochemical quality. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 42, n. 2, p. 19-128, June 2005.

ADDISCOT, T. M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, Dordrecht, v. 46, p. 161-168, 1992.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos culturais de plantas de cobertura solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, jul./ago. 2003.

ATANASIO, G. **Relatório de conclusão de estágio na Petrobras – Six**. 2002. 89 f. Relatório de graduação (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BAY, T. et al. **Caracterização de amostra de solo condicionada com xisto retornado**. 34^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Florianópolis, 2011.

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, jul. 2004.

BERTRAND, I. et al. Can the biochemical features and histology of wheat residues explain their decomposition in soil? **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 281, n. 1-2, p. 291-307, mar. 2006.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CHAVES, et al. Nitrogen mineralization of vegetable root residues and green manures as related to their (bio) chemical composition. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 21, n. 2, p. 161-170, aug. 2004.

CHAVES, J. C. D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 212, p. 53-60, set./out. 2001.

CHAVES, L. H. G.; VASCONCELOS, A. C. F. Alterações de atributos químicos do solo e do crescimento de plantas de milho pela aplicação de xisto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 84-88, 2006.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Eds.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca raton: CRC Lewis, 1996. p. 97-165.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; AMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 197-225.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madisson: ASA/SSA, 1994. p. 3-21.

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **CDROM...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997.

DOUMER, M. E. et al. Atividade microbiana e enzimática em solo após a aplicação de xisto retortado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 11, p. 1538-1546, nov. 2011.

DYNI, J. R. Geology and resources of some world oil-shale deposits. **Oil Shale Journal**, v. 20, p. 193-252, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. 306 p.

GUBIANI, P. I. et al. Física 2008. 2008

IFA. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org/ifa/ifadata/results>>. Acesso em: 02 set. 2013.

JENSEN, L. S. et al. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 273, n. 1-2, p. 307- 326, june 2005.

KEITH, A.; SINGH, B.; SINGH, B. P. Interactive priming of biochar and labile organic matter mineralization in a smectite-rich soil. **Environ. Sci. Technol.**, 2011, v. 45, p. 9611–9618, 2011.

KEMPER, W. D. Aggregate stability. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L. (Org.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 511-519.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L. (Org.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-509.

KUSS, R. C. R. et al. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, jul. 2008.

KUZYAKOV, Y. Priming effects: interactions between living and dead organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 1363-1371, 2010.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 1485-1498, 2000.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

LIANG, B. Q. et al. Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil. **Organic Geochemistry**, v. 41, p. 206-213, 2010.

MENDONZA, H. N. S. et al. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima de palha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 201-207, 2000.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; MEDEIROS, R. A. Rochas geradoras e rochas-reservatório da Bacia do Paraná, faixa de afloramentos, Estado do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 135-162, 2007.

MIOTTO, D. M. M.; MACHADO, N. R. C. F. Utilização de xisto retornado como matéria-prima em síntese de zeólitas. **ActaScientiarum. Technology**, v. 28, n. 1, p. 39-45, jan/jun. 2006.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2002. 626 p.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C. Efeito do uso do xisto em características químicas do solo e nutrição do tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 317-322, abr./jun. 2004.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KORNDORFER, G. H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1 p. 101-108, 2003.

PETROBRAS. Disponível em: <http://www2.petrobras.com.br/minisite/refinarias/petrosix/portugues/oxisto/oxisto_reservas.ap>. Acesso em: 09 out. 2013.

PILLON, C. N. **Nichos e oportunidades para novos insumos agrícolas**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/nichos/index.htm>. Acesso em: 04 jan. 2014.

PIMENTEL, P. M. et al. Caracterização e uso de xisto para adsorção de chumbo (II) em solução. **Cerâmica**. v. 52, p. 194-199, 2006.

REDDY, K. J.; LINDSAY, W. L. The solubility relationships of calcium and magnesium minerals in processed oil shells. **Journal of Environmental Quality**, v. 15, n. 1, p. 1-4, 1986.

REDIN, M. **Composição bioquímica e decomposição da parte aérea e raízes de culturas comerciais e de plantas de cobertura do solo**. 2010. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste: 2002. 86 p.

SALL, S. et al. Separate effects of the biochemical quality and N content of crop residues on C and N dynamics in soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 43, n. 6, p. 797-804, aug. 2007.

SANGSTER, A.; KNIGHT, D.; FARRELL, R.; BEDARD-HAUGHN, A. Repeat-pulse $^{13}\text{CO}_2$ labeling of canola and field pea: implications for soil organic matter studies. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, v. 24, p. 2791–2798, 2010.

SANTOS, M. M.; MATAI, P. H. L. S. A importância da industrialização do xisto brasileiro frente ao cenário energético mundial. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 63, n. 4, p. 673- 678, out./dez. 2010.

SANTOS, J. V. **Caracterização química e espectroscópica de solos de área recuperada após mineração de xisto**. 2009. 102 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

SANTOS, M. M. **Xisto: um estudo de viabilidade econômica para o Brasil**. 2010. 218 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SILVA, A. P. da. **Física do solo (Apostila)**. Piracicaba, 2008. Material extraído do livro “The Nature and Properties of Soils” – Nyle C. Brady, Ray R. Weil. – 13. ed. Editora Prentice Hall.

SILVA, F. A. S. **Assistat 7.7**. UFCG, Campina Grande, 2013.

SOLLINS, P. et al. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, Amsterdam, v. 74, p. 65-105, 1996.

SOUZA, Z. M. et al. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em Latossolos adubados por cinco anos com biofósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 117-123. 2005.

STARK, J. M.; REDENTE, E. F. Plant uptake and cycling of trace elements on retorted oil shale disposal piles. **Journal of Environmental Quality**, v. 19, n. 3, p. 495-501, 1990.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C. A. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Part 2. Madison, American Society of Agronomy, p. 1550-1572. 1956.

SWIFT, R. S. Sequestration of carbon by soil. **Soil Science**, New Brunswick, v. 166, p. 858-871, 2001.

TANG, J. et al. Influence of biological aggregating agents associated with microbial population on soil aggregate stability. **Applied Soil Ecology**, 47:153–159, 2011.

THENG, B. K. G.; TATE, K. R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soil. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. **Dynamics of organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu, University of Hawaii, 1989. p 5-31.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal Soil Science**, Oxford, v. 33, p. 141-163, 1982.

VASCONCELOS, R. F. B. et al. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 309-316, 2010.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

XISTO AGRÍCOLA. **Avaliação da eficiência agrônômica da matriz fertilizante MBR7 na cultura do trigo**. Relatório Técnico. Pelotas, 9 p, 2009. b

XISTO AGRÍCOLA. **Efeito da MBR 12 no desenvolvimento inicial e na produção de frutas de pessegueiro cultivares chimarrita e leonense**. Relatório Técnico. Pelotas, 20 p, 2009. a