

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

**BIOMASSA, ESTOQUES DE CARBONO E GASES DE EFEITO ESTUFA EM  
SISTEMAS DE MANEJO E CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS**

Douglas Adams Weiler  
(Tese)

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

**BIOMASSA, ESTOQUES DE CARBONO E GASES DE EFEITO ESTUFA EM  
SISTEMAS DE MANEJO E CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS**

**DOUGLAS ADAMS WEILER  
Engenheiro Agrônomo (UFSM)  
Mestre em Ciência do Solo (UFSM)**

**Tese apresentada como  
um dos requisitos para a obtenção do  
Grau de Doutor em Ciência do Solo**

Porto Alegre (RS) Brasil  
Fevereiro de 2016

## Página de homologação

## AGRADECIMENTOS

Ao povo brasileiro que financia a universidade pública e gratuita, os projetos de pesquisa e as bolsas de iniciação científica, pós-graduação e de pesquisa.

Ao professor Carlos Gustavo Tornquist, pelos ensinamentos, incentivo, críticas e apoio para realização do doutorado sanduíche.

Ao professor Cimélio Bayer, pelo direcionamento para estudos em modelagem e colaboração no trabalho.

Aos membros da banca de avaliação, professores Sandro Giacomini, Carlos Alberto Bissani e Carlos Eduardo Cerri pela disposição em avaliar e contribuir com o trabalho.

Aos pesquisadores Anderson Santi e Henrique Pereira dos Santos e demais funcionários da Embrapa Trigo pela receptividade, apoio nas atividades de campo e disponibilização das bases de dados dos experimentos.

Aos professores do PPG em Ciência do Solo pelos ensinamentos. Os agradecimentos também se estendem ao secretário Jader, sempre disposto a auxiliar.

A William Parton, Melannie Hartmann e Cynthia Keough pela acolhida na Colorado State University e todo o conhecimento transmitido durante o doutorado sanduíche.

À Cheryl, Ron, Barbara, Karen e John, pela recepção incrível em Fort Collins.

À minha família, pelo apoio total e incondicional.

À Janquieli, minha amada, que dividiu comigo todos momentos desta caminhada e de quem muitas vezes ouvi “*eu não acredito que tu tá mexendo na água do solo de novo!*”.

Ao grupo do setor de Manejo de Solos da UFRGS (2012-2016): Adriano, Anna, Anái, Carla, Cecília, Daiane, Daniela, Diego, Eduardo, Estefânia, Fábio, Fernanda, Fernando, Gabriel, Luana, Lucia, Mathias, Murilo, Luiz Antônio, Otávio, Rafael, Renan, Tatiana, Tiago e Vítor.

Aos colegas do PPG, em especial a Daniel Hanke, Bruna Wink, José Bernardo Borin, Benito Bonfatti e Fernando Arnuti pela grande parceria.

## **BIOMASSA, ESTOQUES DE CARBONO E GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS DE MANEJO E CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS**

Autor: Eng. Agr. MsC Douglas Adams Weiler

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gustavo Tornquist

Co-orientador: Prof. Dr. Cimélio Bayer

### **RESUMO**

Os sistemas de manejo de solo alteram estoques de carbono orgânico do solo (COS) e os fluxos de gases de efeito estufa (GEE) do solo. Modelos biogeoquímicos podem representar estas alterações, e permitem adicionalmente simular o impacto das mudanças climáticas. Os objetivos deste estudo foram calibrar e validar o modelo DayCent, e simular cenários atuais e alternativos de manejo frente as mudanças climáticas previstas para 2100 na região do Planalto do Rio Grande do Sul (RS). O modelo foi calibrado a partir de uma base de dados de um experimento de longa duração, com diferentes sistemas de preparo e de culturas, num Latossolo Vermelho, em área da Embrapa Trigo, em Passo Fundo. A validação do modelo foi realizada por meio da aplicação do modelo em experimento independente também conduzido na mesma região e tipo de solo. A calibração e validação dos dados de GEE foram realizadas com base no monitoramento dos fluxos de GEE durante dois anos no experimento de calibração e 1,5 anos no experimento de validação. Os cenários climáticos futuros B1 e A2 do IPCC foram simulados a partir de dados obtidos do website Climate Wizard. Apesar do DayCent não capturar exatamente toda a variabilidade anual da produção de biomassa observada, a produção média de biomassa e os estoques de COS medidos foram simulados adequadamente. As emissões anuais de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) foram melhor simulados comparados aos fluxos diários de N<sub>2</sub>O. Nos cenários climáticos futuros, a produção de biomassa do trigo e da soja foram favorecidos pelas mudanças climáticas, resultando em incremento do COS. Ervilhaca e sorgo não tiveram o crescimento favorecido e o COS foi mantido no patamar atual no sistema de rotação. A modelagem mostrou que sistemas de cultura necessitam aportar mais C nos cenários climáticos futuros para a manutenção do COS. A introdução de pastagem (*Cynodon sp.*), em rotação com culturas anuais num sistema de integração lavoura-pecuária foi o sistema com maior potencial de sequestrar C no solo, independente do cenário climático. A aplicação do modelo DayCent indicou que as mudanças climáticas devem favorecer as emissões de N<sub>2</sub>O nos atuais sistemas de manejo utilizados no Sul do Brasil. O refinamento da base de dados de entrada poderia melhorar o desempenho do modelo e reduzir o grau de incerteza das simulações.

Tese de doutorado em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (111p.) fevereiro de 2016. Trabalho realizado com suporte financeiro da CAPES e CNPq. Parceria UFRGS-EMBRAPA. Projeto MP1- Dinâmica de gases de efeito estufa e balanço de carbono em sistemas de produção de grãos no Brasil (Código SEG 01.11.01.002.00.00).

# **BIOMASS, CARBON STOCKS AND GREENHOUSE GAS FLUXES UNDER MANAGEMENT SYSTEMS AND FUTURE CLIMATE SCENARIOS**

Author: Eng. Agr. MsC Douglas Adams Weiler

Adviser: Prof. Dr. Carlos Gustavo Tornquist

Co-adviser: Prof. Dr. Cimélio Bayer

## **ABSTRACT**

Soil management systems affects soil organic carbon (SOC) stocks and greenhouse gas fluxes (GHG) from soil. Biogeochemical models can represent these systems, and allow further simulate the impact of climate change. The objectives of this study were to calibrate and validate the DayCent model, and simulate current and alternative management scenarios facing climate changes predicted for 2100 in Plateau region in the Rio Grande do Sul. The model was calibrated based on a database of an experiment conducted for 28 years, with different tillage systems and cultures in an Oxisol, at Embrapa Wheat Research Center, in Passo Fundo. The model validation was performed by application of an independent experimental model also conducted in the same region and soil. The calibration and validation of GHG data were based on the monitoring of greenhouse gas fluxes for two years in the calibration experiment and 1.5 years in the validation experiment. Future climate scenarios B1 and A2 IPCC were simulated based on data obtained from the website Climate Wizard. Despite DayCent did not accurately capture all annual variability of measured biomass production, the average production of biomass and the measured SOC stocks were simulated properly. Annual nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions were better simulated compared to daily N<sub>2</sub>O fluxes. In future climate scenarios, wheat biomass production and soybean were favored by climate change, resulting in an increase of SOC. Vetch and sorghum growth were unaffected and SOC was maintained at the current level, even with the inclusion of corn and soybean in rotation. The modeling exercise showed that culture systems need to increase C inputs to the soil to maintain SOC stocks, especially in future scenarios when soil organic matter decomposition should be favored by rising temperatures. Crop pasture (*Cynodon* sp.) was the system with the greatest potential to soil sequester C, regardless of the climate scenario. In short, this DayCent application model indicated that climate change should favor N<sub>2</sub>O emissions in current management systems used in southern Brazil. The databased refinement could improve the model performance and reduce the uncertainty of the simulations.

PhD Thesis in Soil Science. Graduate Program in Soil Science. Faculty of Agronomy. Federal University of Rio Grande do Sul. Porto Alegre (111p.). February, 2016. Work performed with financial support from CAPES and CNPq. Partnership UFRGS-EMBRAPA. Project MP1-Greenhouse gas dynamics and carbon balance in grain production systems in Brazil (SEG Code 01.11.01.002.00.00).

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
2.1. Modelagem ambiental .....	4
2.2. Modelo DayCent.....	5
2.2.1. Modelagem da matéria orgânica do solo e produtividade de planta com o DayCent .....	7
2.2.2. Modelagem de gases de efeito estufa com o DayCent .....	9
2.3. Simulações de cenários futuros de clima e uso e manejo de solos 12	
<b>3. HIPÓTESES</b> .....	14
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	15
4.1. Local .....	15
4.2. Experimento 1 .....	15
4.3. Experimento 2 .....	16
4.4. Dados de biomassa vegetal, C do solo, CO <sub>2</sub> e N <sub>2</sub> O .....	17
4.5. Inicialização do DayCent.....	17
4.6. Simulação de equilíbrio e período pré-experimental.....	18
4.7. Período experimental .....	19
4.8. Calibração do modelo DayCent.....	19
4.9. Validação do modelo DayCent .....	21
4.10. Análise do desempenho do modelo .....	22
4.11. Cenários futuros de clima e manejo .....	25
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	28
4.1. Calibração do modelo DayCent.....	28
4.1.1. Simulação de equilíbrio e período pré-experimental .....	28
4.1.2. Estoques de C do solo no período experimental .....	31
4.1.3. Adições de biomassa e rendimento de grãos .....	33
4.1.4. Água no solo.....	43
4.1.5. Fluxos de CO <sub>2</sub> .....	46
4.1.6. Fluxos de N <sub>2</sub> O.....	51
4.2. Validação do modelo DayCent .....	57
4.2.1. Produção de biomassa .....	58

4.2.2.	Estoques de C no solo.....	59
4.2.3.	Fluxos de CO <sub>2</sub> .....	60
4.2.4.	Fluxos de N <sub>2</sub> O.....	62
4.3.	Cenários futuros de clima e manejo com o modelo DayCent.....	65
4.3.1.	Produtividade das culturas .....	65
4.3.2.	Estoques de C no solo.....	67
4.3.3.	Fluxos de N <sub>2</sub> O.....	70
5.	CONCLUSÕES .....	74
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
7.	REFERÊNCIAS.....	76
8.	APÊNDICES .....	89



## RELAÇÃO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama simplificado do modelo DayCent. (Adaptado de Del Grosso et al., 2006).....	6
<b>Figura 2.</b> Alterações das temperaturas médias máximas e mínimas anuais, sob os cenários climáticos atual, B1 e A2. ....	26
<b>Figura 3.</b> Alterações das temperaturas médias máximas e mínimas mensais e da distribuição da precipitação mensal sob os cenários climáticos atual, B1 e A2. ....	26
<b>Figura 4.</b> Carbono orgânico do solo e compartimentos de C simulados para o período de equilíbrio na camada 0-20 cm.....	29
<b>Figura 5.</b> Carbono orgânico do solo e compartimentos de C simulados na camada 0-20 cm de solo para o período pré-experimental.....	30
<b>Figura 6.</b> Carbono orgânico do solo simulado e observado $\pm$ desvio padrão na camada 0-20 cm de solo durante o pré-experimento e período experimental em preparo convencional e plantio direto. O tracejado vertical indica o início do experimento. ....	32
<b>Figura 7.</b> Produção anual de biomassa (parte aérea) simulada e observada $\pm$ desvio padrão durante os 28 anos de preparo convencional. A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo); C – ervilhaca-milho (sorgo) –trigo-soja. ....	34
<b>Figura 8.</b> Produção anual de biomassa (parte aérea) simulada e observada $\pm$ desvio padrão durante os 28 anos de plantio direto. A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo); C – ervilhaca-milho (sorgo) –trigo-soja. ....	35
<b>Figura 9.</b> Produção média anual de biomassa (parte aérea) simulada e observada $\pm$ desvio padrão durante os 28 anos de preparo convencional e plantio direto. A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo); C – ervilhaca-milho (sorgo) -trigo-soja.....	37
<b>Figura 10.</b> Produção anual de grãos simulada e observada $\pm$ desvio padrão durante os 28 anos de preparo convencional. A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo); C – ervilhaca-milho (sorgo) -trigo-soja.....	39

<b>Figura 11.</b> Produção anual de grãos simulada e observada $\pm$ desvio padrão durante os 28 anos de plantio direto. A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo); C – ervilhaca-milho (sorgo) -trigo-soja.....	40
<b>Figura 12.</b> Produtividade média de grãos simulada e observadas $\pm$ desvio padrão durante os 28 anos de experimento em preparo convencional e plantio direto. A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo); C – ervilhaca-milho (sorgo) -trigo-soja.....	42
<b>Figura 13.</b> Precipitação e conteúdo de água volumétrico no solo simulado e observado durante o período de avaliação em preparo convencional. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja. .	44
<b>Figura 14.</b> Precipitação e conteúdo de água volumétrico no solo simulado e observado durante o período de avaliação em plantio direto. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja.....	45
<b>Figura 15.</b> Fluxos de CO <sub>2</sub> simulados e medidos $\pm$ desvio padrão durante o período de avaliação nos sistemas de culturas em preparo convencional. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja. ....	48
<b>Figura 16.</b> Fluxos de CO <sub>2</sub> simulados e medidos $\pm$ desvio padrão durante o período de avaliação nos sistemas de culturas em plantio direto. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja.....	49
<b>Figura 17.</b> Fluxos de CO <sub>2</sub> oriundos da respiração heterotrófica e autotrófica simulados pelo DayCent no sistema trigo-soja em preparo convencional. ....	51
<b>Figura 18.</b> Fluxos de N <sub>2</sub> O simulados e observados $\pm$ desvio padrão durante o período de avaliação nos sistemas de culturas em preparo convencional. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja. ....	53
<b>Figura 19.</b> Fluxos de N <sub>2</sub> O simulados e observados $\pm$ desvio padrão durante o período de avaliação nos sistemas de culturas em plantio direto. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja.....	54
<b>Figura 20.</b> Emissões cumulativas de N <sub>2</sub> O simuladas e observadas $\pm$ desvio padrão em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) durante dois anos de avaliação. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja. ....	56
<b>Figura 21.</b> Produção média de biomassa (parte aérea + grãos) simulada e observada $\pm$ desvio padrão entre 1993 e 2014 no Experimento 2 na etapa de validação.....	58
<b>Figura 22.</b> Estoques de C no solo simulado e observado $\pm$ desvio padrão em dois sistemas de culturas do experimento 2 na etapa de validação do modelo. VA – trigo-soja; VB – trigo-soja-ervilhaca-sorgo-aveia-soja.....	59

<b>Figura 23.</b> Fluxos de CO <sub>2</sub> simulados e observados ± desvio padrão em dois sistemas de culturas do experimento 2 na etapa de validação do modelo. VA – trigo-soja-trigo-soja; VB – trigo-soja-ervilhaca-sorgo-aveia-soja.....	61
<b>Figura 24.</b> Fluxos de N <sub>2</sub> O simulados e observados ± desvio padrão em dois sistemas de culturas do Experimento 2 na etapa de validação do modelo. VA – trigo-soja-trigo-soja; VB – trigo-soja-ervilhaca-sorgo-aveia-soja.....	63
<b>Figura 25.</b> Emissão cumulativa de N <sub>2</sub> O simuladas e observadas ± desvio padrão em dois sistemas de culturas do experimento 2 na etapa de validação do modelo. VA – trigo-soja; VB – trigo-soja-ervilhaca-sorgo-aveia-soja.....	65
<b>Figura 26.</b> Carbono orgânico do solo simulado sob diferentes sistemas de culturas, preparo de solo e cenários climáticos. A – trigo-soja, B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo. ....	68
<b>Figura 27.</b> C orgânico do solo simulado sob cenários alternativos de manejo e de clima. C – trigo-soja-ervilhaca-sorgo-ervilhaca-sorgo; D – 2 anos Tifton-trigo-soja-trigo/soja.....	69

## RELAÇÃO DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Atributos do solo medidos e ajustados nos diferentes tratamentos utilizados nas simulações. ....	20
<b>Tabela 2.</b> Parâmetros utilizados no submodelo de crescimento de planta em graus dia. ....	21
<b>Tabela 3.</b> Valores originais (Orig) e utilizados (Util) nos parâmetros Clteff do arquivo <i>Cult. 100</i> para Disk Plow (arado de discos), Disk Harrow (grade) e No Till Drill (plantio direto). ....	21
<b>Tabela 4.</b> Atributos do solo utilizados na etapa de validação do modelo DayCent nos sistemas de culturas sob plantio direto. ....	22
<b>Tabela 5.</b> Cenários alternativos de manejo utilizados nas simulações de cenários futuros (2016-2100). ....	27
<b>Tabela 6.</b> Análise de desempenho do modelo nas simulações de biomassa nos testes coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t. ....	37
<b>Tabela 7.</b> Análise estatística das simulações da produção média anual de biomassa considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t. ....	38
<b>Tabela 8.</b> Análise estatística das simulações de produtividade de grãos considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t. ....	41
<b>Tabela 9.</b> Análise estatística das simulações de produtividade média de grãos considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t. ....	42
<b>Tabela 10.</b> Análise estatística das simulações do conteúdo de água volumétrica no solo considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem	

(EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t. ....	43
<b>Tabela 11.</b> Análise estatística das simulações dos fluxos de CO <sub>2</sub> considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t. ....	47
<b>Tabela 12.</b> Análise estatística das simulações dos fluxos de N <sub>2</sub> O considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t. ....	52
<b>Tabela 13.</b> Análise estatística da produção de biomassa (parte aérea + grãos) considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo, raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t. ....	59
<b>Tabela 14.</b> Análise estatística das simulações dos fluxos de CO <sub>2</sub> considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem, erro relativo (ER), (EM) raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t. ....	60
<b>Tabela 15.</b> Análise estatística das simulações dos fluxos de N <sub>2</sub> O considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t. ....	64
<b>Tabela 16.</b> Produção média de biomassa da parte aérea (matéria seca + grãos) predita sob cenários futuros (2016-2100). ....	66
<b>Tabela 17.</b> Emissões anuais de N <sub>2</sub> O em dois sistemas de preparo de solo e de culturas sob cenários climáticos futuros (2016-2100). ....	71

## RELAÇÃO DE APÊNDICES

<b>Apêndice 1.</b> Escalares mensais utilizados nas simulações do DayCent dos cenários climáticos futuros disponíveis em Climate Wizzard (Girvetz <i>et al.</i> , 2009) para Passo Fundo.....	90
<b>Apêndice 2.</b> Estrutura do arquivo SCH. utilizado na etapa de equilíbrio.....	91
<b>Apêndice 3.</b> Exemplo de estrutura do arquivo SCH. utilizado no sistema trigo/soja em preparo convencional no experimento 1.....	92
<b>Apêndice 4.</b> Exemplo de estrutura do arquivo SCH. utilizado no sistema trigo/soja/ervilhaca/milho em plantio direto. ....	95
<b>Apêndice 5.</b> Exemplo de estrutura do arquivo SCH. utilizado no sistema trigo/soja/ervilhaca/sorgo/aveia/soja em plantio direto no experimento 2. ....	98
<b>Apêndice 6.</b> Parâmetros das culturas no arquivo CROP.100. ....	102
<b>Apêndice 7.</b> Parâmetros de cultivo do arquivo CULT.100. ....	111

## 1. INTRODUÇÃO

O manejo inadequado do solo no Rio Grande do Sul antecedendo os anos 70, associado a sistemas de cultura com baixo aporte de resíduos, resultou em severa degradação dos solos no estado. Práticas conservacionistas foram desenvolvidas para reverter este processo, com destaque para o plantio direto (Mielniczuk et al., 2003). Em razão dos benefícios obtidos a partir do plantio direto, esta prática conservacionista vem sendo difundida em nível nacional e hoje mais de 25 milhões de hectares são cultivados neste sistema de manejo (Derpsch et al., 2010; Friedrich et al., 2012).

A agricultura conservacionista, além de promover melhoria da qualidade do solo, pode contribuir para mitigar as mudanças climáticas através do sequestro de C no solo (Lal, 2004, 2011). No entanto, ainda são limitadas as evidências científicas referentes ao impacto de diferentes sistemas de manejo de solo quanto às emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Uma coalização de esforços de pesquisa em escala global vem sendo coordenada pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC), no âmbito da Convenção de Mudanças Climáticas para quantificar a contribuição de sistemas agrícolas na emissão de GEE. No Brasil, segundo dados do Sistema de Estimativas de Emissão de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2015), as emissões nacionais de C-equivalente vêm reduzindo nos últimos anos, determinadas principalmente pela redução do desmatamento. No entanto, as emissões de GEE oriundas da agropecuária têm tido um crescimento contínuo a partir de 1970. A emissão de GEE referente a diferentes setores da agropecuária vem sendo quantificada no país, como no cultivo de arroz irrigado (Moterle et al., 2013; Bayer et al., 2014), sistemas de lavoura-pecuária e pastagem (Carvalho et al., 2014; Piva et al., 2014; Salton et al., 2014), cana-de-

açúcar (De Figueiredo & La Scala, 2011; Carmo et al., 2013; Siqueira Neto et al., 2015), e sistemas de produção de grãos (Chavez et al., 2009; Gomes et al., 2009; Bayer et al., 2015).

A quantificação das emissões de GEE em larga escala, bem como as principais variáveis que as influenciam, é um processo bastante oneroso, em função da grande variabilidade espacial e temporal do solo. A detecção da variabilidade em nível de campo exige protocolo de amostragem com elevado número de repetições, o que é limitado por razões práticas e financeiras, dificultando as estimativas em nível regional (Beheydt et al., 2007).

Os modelos de simulação podem auxiliar neste sentido, já que permitem a extrapolação dos resultados sem deixar de levar em conta as particularidades de cada local. Os modelos explicitam relações, pois integram o conhecimento já existente sobre as interações entre clima/tempo, solos e plantas, de modo a integrar fatores ambientais e ecológicos com o objetivo de representar a complexa produção de gases no solo.

O modelo DayCent é um dos modelos mais amplamente utilizados na predição de GEE e vem sendo testado em diversos ecossistemas (Del Grosso et al., 2005b; Jarecki et al., 2008; Scheer et al., 2014; De Antoni Migliorati et al., 2015). No Brasil, ainda são poucos os estudos realizados com o DayCent (Lipski, 2013; Schenato, 2013). A aplicação de modelos de simulação, como o DayCent, em sistemas agrícolas brasileiros pode representar grande avanço na quantificação e entendimento das emissões de GEE.

Os modelos biogeoquímicos também são uma importante ferramenta para simular cenários futuros, tendo sido o DayCent aplicado em uma ampla gama de ecossistemas naturais e agroecossistemas. Esta utilização da modelagem de GEE ainda é incipiente no Brasil, apesar da evidente necessidade das políticas agrícolas nacionais incorporarem a proposição de cenários alternativos com vistas a adaptação às mudanças climáticas.

Alterações no clima devem interferir diretamente nas taxas de decomposição da matéria orgânica do solo (Kirschbaum, 1995; Lal, 2004), crescimento de planta (Ainsworth & Long, 2005; Parton et al., 2007) e na dinâmica dos fluxos de GEE (Smith et al., 2009; Abdalla et al., 2010). No entanto, a magnitude das alterações nos sistemas agrícolas precisa ser avaliada em



escala regional para abranger pelo menos as principais regiões e seus sistemas de produção, bem como as previsões regionalizadas de mudanças climáticas.

Partindo da hipótese geral de que o modelo DayCent pode simular a dinâmica de atributos de solo e cultivos em agroecossistemas, este estudo teve como objetivos: 1) calibrar e validar o modelo DayCent para simulação da dinâmica da matéria orgânica, produção de planta e emissão de gases ( $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ); 2) simular os estoques de COS, a produtividade de planta e as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  em cenários atuais e alternativos de manejo sob mudanças climáticas previstas para a região de Passo Fundo, representativa da principal zona de produção de grãos do Rio Grande do Sul.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Modelagem ambiental

Os modelos matemáticos são considerados uma síntese do conhecimento atual e uma simplificação da realidade (Jørgensen & Bendoricchio, 2001). Desenvolvidos a partir dos avanços e acúmulo de informações dos ciclos biogeoquímicos gerados nos últimos anos, os modelos objetivam reproduzir e compreender ecossistemas complexos. A partir do desenvolvimento destes modelos foi possível sistematizar o conhecimento existente sobre processos concomitantes e complementares que ocorrem no solo.

Nos últimos 80 anos, foram desenvolvidos centenas de modelos matemáticos que descrevem processos biogeoquímicos no solo, em escalas espaciais que variam de alguns  $\mu\text{m}$  até km e escalas temporais de poucas horas até séculos (Manzoni & Porporato, 2009). Shaffer et al. (2001) destacam os principais avanços da modelagem nas últimas décadas: no início dos anos 70, grande avanço foi obtido no desenvolvimento de modelos a partir da integração dos ciclos do C e N; nos anos 80, novos modelos foram desenvolvidos com a inclusão de submodelos de crescimento e desenvolvimento de culturas, com o interesse em modelar os sistemas agrícolas; nos últimos 20 anos, houve um expressivo aumento do número de modelos e um refinamento dos modelos existentes, principalmente com o progresso da informática, introdução de novas linguagens de programação e o advento da Internet.

Os modelos atualmente utilizados para simular ecossistemas podem ser classificados quanto a sua complexidade, podendo variar de simples equações a sistemas complexos com várias equações em diferentes escalas de

tempo (Mulligan & Wainwright, 2004). Modelos simples tendem a generalizar e não representar a variabilidade natural dos ecossistemas, enquanto que modelos complexos exigem parametrização detalhada e computação intensiva (Del Grosso, 2008). A escolha do modelo a ser utilizado depende do objetivo do estudo, devendo englobar as variáveis essenciais o contexto do problema a ser resolvido ou descrito (Jørgensen & Bendoricchio, 2001).

A capacidade dos modelos em simular quantitativamente variáveis e interações complexas que ocorrem no solo faz dos modelos uma ferramenta poderosa para articular e explorar hipóteses, dados e fazer predições (Paustian, 2008). Em ecossistemas, modelos podem ser aplicados com diferentes finalidades. De acordo com o apresentado por Jørgensen & Bendoricchio (2001), modelos podem ser utilizados para compreender um sistema complexo, revelar determinadas propriedades do sistema, identificar lacunas no conhecimento, definir prioridades de pesquisa e são úteis para testar hipóteses que podem ser comparadas com observações. Embora os modelos ainda sejam utilizados majoritariamente com fins científicos, gradualmente eles têm sido utilizados para analisar problemas de forma mais aplicada, como qualidade do solo, sistemas de culturas e qualidade do ar (Shaffer et al., 2001).

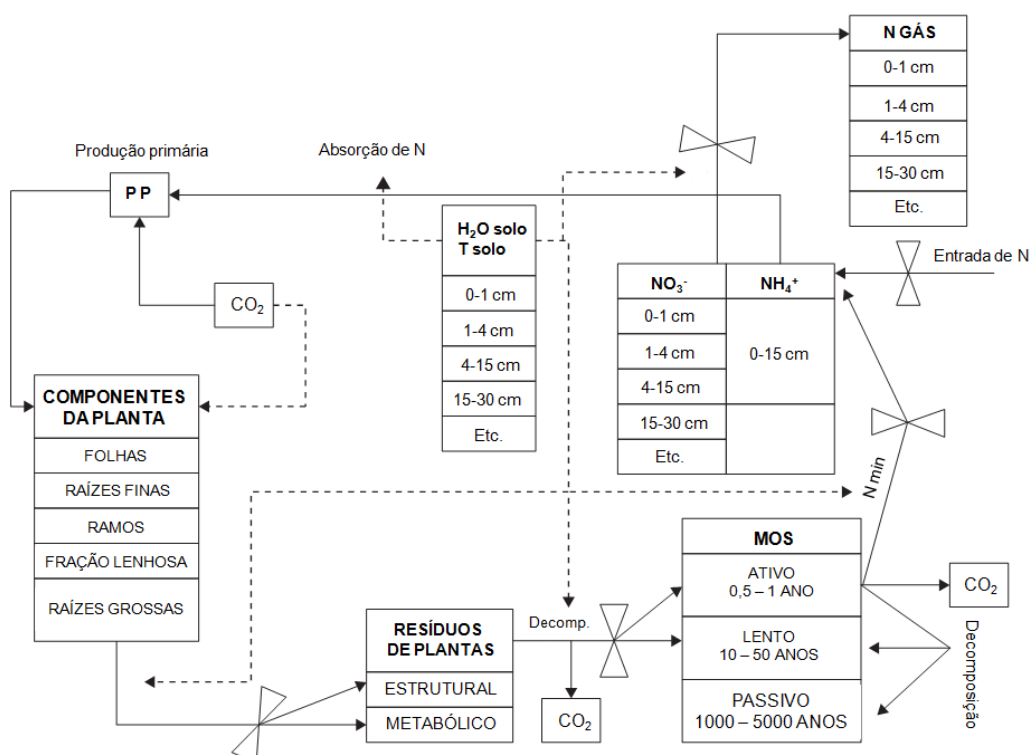
Atualmente existem diferentes modelos sendo testados em agroecossistemas, sendo o Century (Parton et al., 1987; Paustian et al., 1992; Metherell et al., 1993), o DNDC (Li et al., 1992; Lugato et al., 2010; Congreves et al., 2016), o RothC (Coleman & Jenkinson, 1996; Cerri et al., 2007; Senapati et al., 2014) e o DayCent (Parton et al., 1998; Del Grosso et al., 2008; De Antoni Migliorati et al., 2015) os modelos mais amplamente utilizados na representação da dinâmica da matéria orgânica do solo e emissão de gases-traço. Nessa revisão apenas será abordado o modelo DayCent, foco do estudo conduzido.

## **2.2. Modelo DayCent**

O modelo DayCent é uma versão a passo diário do modelo Century, desenvolvida a partir da necessidade de escalas de maior resolução temporal para a simulação de emissões de gases nitrogenados (Parton et al., 1998; Del Grosso et al., 2011). A adoção de modelos a passo diário se justifica em função de que os fluxos de gases-traço a partir do solo variam rapidamente em resposta

a alterações na temperatura e conteúdo de água no solo (Parton et al., 1996). Modelos como o Century, que operam a passo mensal, são boas alternativas para simular a resposta de ecossistemas a mudanças no clima, fatores ambientais e manejo de solo, ou seja, eventos de longo e médio prazo.

O DayCent mantém a concepção e estrutura geral do seu predecessor, o modelo Century, e adicionalmente simula as taxas diárias de evapotranspiração, produção de planta, ciclagem de nutrientes e emissão de gases. O modelo (Figura 1) é composto por submodelos de produtividade de planta, decomposição de plantas e da matéria orgânica, dinâmica da água e da temperatura e fluxos de  $N_2O$  e  $CH_4$  (Del Grosso et al., 2008).



**Figura 1.** Diagrama simplificado do modelo DayCent. (Adaptado de Del Grosso et al., 2006).

A produtividade de planta é controlada pela temperatura e disponibilidade de água e nutrientes. A produtividade primária é alocada em diferentes partes da planta, como folhas, ramos, raízes grossas, raízes finas e fração lenhosa com base no tipo de planta. O modelo simula o crescimento de apenas uma espécie por tempo, e não simula competição entre plantas.

A decomposição da biomassa vegetal é controlada pela disponibilidade de água e temperatura do solo e a qualidade do resíduo (teor de lignina). A maior parte do C é decomposto e perdido como CO<sub>2</sub>, enquanto que uma pequena fração do C é incorporado a matéria orgânica do solo. A matéria orgânica do solo é dividida em 3 compartimentos (ativo, lento e passivo) com base nas taxas de decomposição. Os compartimentos ativo, lento e passivo representam a biomassa microbiana, materiais resistentes à decomposição derivados de plantas e matéria orgânica muito resistente à decomposição protegida química ou fisicamente, respectivamente.

O submodelo da dinâmica da água simula os fluxos diários de água através do dossel de plantas, resíduos e camadas de solo a partir da precipitação ou irrigação. O fluxo saturado de água no solo é simulado em dias com precipitação e/ou irrigação e o fluxo insaturado em dias em que não existe entrada de água suficiente para saturar o perfil de solo. O submodelo de temperatura calcula a difusividade térmica e prediz a temperatura máxima e mínima em cada camada de solo a partir da temperatura do ar.

O fluxo de N<sub>2</sub>O é simulado a partir de representação dos processos de nitrificação e desnitrificação no solo. A nitrificação simulada é dependente da concentração de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, conteúdo de água no solo, temperatura e pH, enquanto que a desnitrificação é função da disponibilidade de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, C lábil, porosidade preenchida por água (PPA) e propriedades físicas do solo relacionadas à textura que influenciam na difusividade de gás no solo. Em PPA abaixo de 50%, a nitrificação é a única responsável pelas emissões de N<sub>2</sub>O, e a desnitrificação incrementa exponencialmente quando PPA é maior que 70%.

A descrição mais detalhada do funcionamento dos submodelos é apresentada em Parton et al. (1998) e Del Grosso et al. (2011).

### **2.2.1. Modelagem da matéria orgânica do solo e produtividade de planta com o DayCent**

O modelo Century, precursor do DayCent, foi desenvolvido com a finalidade de simular a matéria orgânica do solo, produtividade de planta e disponibilidade de nutrientes (Metherell et al., 1993; Del Grosso et al., 2011). A

matéria orgânica do solo é considerada um ponto central do modelo e uma das propriedades do solo mais amplamente simuladas.

Inicialmente, o Century foi desenvolvido com base em informações e estudos relacionados a áreas de pastagens na região central dos Estados Unidos. Parton et al. (1987) verificaram que a textura do solo é a principal controladora da dinâmica da matéria orgânica do solo e que as tendências regionais da matéria orgânica do solo podem ser preditas por quatro variáveis de local: temperatura, umidade, textura do solo e conteúdo de lignina na planta. Parton et al. (1993) demonstraram que o Century é capaz de simular adequadamente os estoques de C e N, os picos de biomassa e a produção de planta, em vários tipos de solo, tanto em clima temperado como tropical.

A dinâmica da matéria orgânica e a produção de planta em sistemas agrícolas também foram simulados com o Century e, posteriormente, com o DayCent. Paustian et al. (1992) utilizaram o modelo Century para simular os estoques de C e N no solo em experimentos de longa duração na Suécia. O modelo representou bem o efeito de diferentes quantidades e qualidades de materiais orgânicos adicionados ao solo sobre a dinâmica da matéria orgânica, indicando que as equações e pressupostos do modelo são adequados para simulação do C no solo. Em um estudo com o DayCent, De Gryze et al. (2010) simularam quatro experimentos na Califórnia sob diferentes sistemas de culturas e de manejo. O modelo demonstrou habilidade de simular o rendimento de diversas culturas, como feijão, milho, algodão, girassol, tomate e trigo, sendo capaz de representar de 86 a 94% da variação dos dados observados. O DayCent também apresentou bom desempenho na simulação dos estoques de C nestes experimentos, representando de 69 a 87% da variação dos dados observados.

Os modelos da “família” Century têm sido amplamente utilizados para simular sistemas agrícolas ao redor do mundo. A dinâmica da matéria orgânica do solo e produção de planta já foram simulados nos Estados Unidos (Del Grosso et al., 2002; Campbell et al., 2014), Canadá (Chang et al., 2013), Itália (Lugato et al., 2006; Lugato et al., 2007), China (Cheng et al., 2014; Cong et al., 2014), Espanha (Álvaro-Fuentes & Paustian, 2011; Álvaro-Fuentes et al., 2012b), Brasil (Tornquist et al., 2009; Bortolon et al., 2011; Brandani et al., 2015), dentre outros. Estes resultados destacam a adaptabilidade e aplicabilidade do

modelo a diversos agroecossistemas. Stehfest et al. (2007) demonstraram que, baseado apenas nos dados de clima, solo e manejo de culturas, o DayCent é capaz de simular os rendimentos de trigo, milho, arroz e soja em escala global. No entanto, os autores reconhecem a grande incerteza em relação a simulações em grandes escalas, mas destacam a importância de simulações deste porte para estudar os impactos das mudanças climáticas no rendimento de culturas em diferentes regiões do mundo.

Simulações dos estoques de C e adições de biomassa pelas culturas em sistemas de produção de grãos com o modelo Century também têm sido realizadas na região Sul do Brasil (Fernandes, 2002; Lopes et al., 2008; Weber, 2010). Bortolon et al. (2009) demonstraram que o Century foi eficiente em simular as adições e estoques de C no solo, embora necessite de parametrização para discriminar o efeito do preparo de solo nos estoques de C em longo prazo. Estudos mais recentes com o DayCent têm evidenciado o potencial do modelo para estudos na Região Sul (Schenato, 2013).

### **2.2.2. Modelagem de gases de efeito estufa com o DayCent**

A emissão de GEE (especialmente  $N_2O$ ,  $CH_4$  e  $CO_2$ ) tem atraído a atenção de pesquisadores em função do forçamento radiativo e dos efeitos químicos na atmosfera (Li, 2000). A emissão dos GEE possui grande variação espacial e temporal, o que torna complexa a sua quantificação em trabalhos de campo em larga escala. Além disso, existem diferentes combinações de sistemas de culturas possíveis de serem adotados pelos produtores rurais, sob diferentes tipos de solo e clima. Desta forma, as simulações por modelos de computador podem ser eficazes para estimar as emissões de GEE além dos limites de tempo e espaço das áreas experimentais (Wang & Chen, 2012), bem como de diversos sistemas de culturas.

Os modelos mais simples utilizados para a predição das emissões de gases podem não ser confiáveis, pois não representam muitos fatores que controlam as emissões de gases, enquanto que modelos complexos requerem muito mais detalhes e são de difícil implementação (Del Grosso et al., 2008). O DayCent é considerado um modelo de média complexidade, pois muitos

processos estão representados e os dados de entrada são de fácil obtenção, sendo relativamente fácil de ser implementado (Del Grosso et al., 2011).

O modelo DayCent já foi utilizado para simular a emissão de gases de efeito estufa em diferentes sistemas agrícolas (Del Grosso et al., 2002; Del Grosso et al., 2009; Abdalla et al., 2010; Chamberlain et al., 2011) e também em condições de laboratório (Xing et al., 2011). No entanto, o modelo DayCent foi desenvolvido e vem sendo testado, na maioria das vezes, em condições de clima temperado, que diferem daquelas verificadas no Brasil.

No Brasil, os estudos que avaliam o desempenho do DayCent na simulação da emissão de gases ainda são incipientes. Schenato (2013) avaliou a habilidade do DayCent em identificar diferenças entre sistemas de preparo de solo e de culturas em relação às emissões de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O e consumo de CH<sub>4</sub>. Os resultados indicaram que o modelo apresentou melhor desempenho na simulação dos fluxos cumulativos, em relação à representação dos fluxos diários, e limitação em simular os fluxos de CO<sub>2</sub> oriundos da respiração autotrófica. Em um estudo no Paraná, Lipski (2013) não obteve êxito estatístico na calibração e validação do modelo para simular as emissões de N<sub>2</sub>O em plantio direto, apesar de o modelo ter mostrado sensibilidade a precipitações e fertilizações nitrogenadas.

No Hemisfério Norte, o DayCent tem sido avaliado quanto a sua capacidade de simular adequadamente emissão de N<sub>2</sub>O e, em menor intensidade, o consumo de CH<sub>4</sub> pelo solo. A habilidade do modelo em prever as emissões de N<sub>2</sub>O já foi testada em diversos ecossistemas, como áreas de produção de grãos (Del Grosso, 2008; Jarecki et al., 2008; Rafique et al., 2013) e de pastagem (Parton et al., 2001; Del Grosso et al., 2002; Abdalla et al., 2010). Predições do consumo de CH<sub>4</sub> têm sido realizadas em menor número, mas com bons resultados (Del Grosso et al., 2000; Del Grosso, 2008). No entanto, a presente versão do DayCent é capaz de simular apenas os influxos de CH<sub>4</sub> do solo, enquanto que frequentemente são observados efluxos de CH<sub>4</sub> em solos agrícolas. Em geral, o modelo prediz razoavelmente as emissões diárias de gases, mas com melhor desempenho em simulações anuais ou sazonais (Del Grosso et al., 2008; Jarecki et al., 2008). As emissões cumulativas são melhor reproduzidas pelo modelo em relação aos fluxos de gases diários devido a



“desencontros” temporais entre os picos de emissão observados e simulados (Parton et al., 2001).

O DayCent também vem sendo utilizado para prever os possíveis impactos da mudança no uso da terra nas emissões de gases em diversos locais do globo. Chamberlain et al. (2011) sugerem que, no Sul dos Estados Unidos, a conversão de área de cultivo de algodão para áreas de pastagem resultaria em redução das emissões de gases de efeito estufa, enquanto que a conversão de pastagens não-manejadas para pastagens manejadas incrementaria as emissões. Davis et al. (2011) estimaram que a substituição do milho por pastagens perenes como fonte de matéria prima para a produção de etanol poderia reduzir as emissões de gases de efeito estufa de 29 a 473%.

Estimativas das emissões de gases de efeito estufa e avaliação de estratégias para mitigar as emissões, em escala regional ou global, também podem ser realizadas com o DayCent. Del Grosso et al. (2009) observaram que a adoção do plantio direto, capaz de sequestrar C no solo, associado com inibidores de nitrificação, poderia reduzir em 50% as emissões de gases de efeito estufa, além de incrementar os rendimentos. Cheng et al. (2014) indicam que a emissão de gases de efeito estufa na China poderia ser minimizada com a redução das taxas de fertilização nitrogenada e adubação orgânica, com adoção de preparo reduzido de solo associado ao retorno de palha para o solo.

O DayCent pode ainda ser utilizado como alternativa à metodologia dos fatores de emissão proposta pelo IPCC. Del Grosso et al. (2005a) relataram melhor desempenho do DayCent nas estimativas das emissões de N<sub>2</sub>O nos Estados Unidos em relação à metodologia do IPCC, pois a avaliação do modelo é mais abrangente. O DayCent considera características de solo, dados climáticos diários, histórico de vegetação e práticas de manejo, como tipo de cultura, adição de fertilizantes e eventos de cultivo, enquanto que a metodologia do IPCC estima as perdas de N baseado somente nas adições de N (Del Grosso et al., 2009).

### **2.3. Simulações de cenários futuros de clima e uso e manejo de solos**

As simulações de cenários futuros em sistemas agrícolas têm dois objetivos principais: avaliar possíveis impactos das práticas de manejo nos sistemas e prever as alterações frente às mudanças climáticas previstas para as próximas décadas. De maneira geral, buscam avaliar a sustentabilidade de práticas agrícolas em longo prazo e identificar sistemas que possam contribuir de forma significativa com a qualidade do solo e do ambiente.

As mudanças climáticas previstas para as próximas décadas devem impactar significativamente os sistemas agrícolas. Em um estudo desenvolvido na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, Tornquist et al. (2009) observaram que o cultivo de grãos em plantio direto durante 60 anos permitiria a recuperação de mais de 80% dos estoques de C originais do solo. A recuperação dos estoques de C do solo poderia ser ainda maior com o incremento dos aportes de biomassa. Estudando sistemas de culturas semelhantes na mesma região, Bortolon et al. (2011) também relataram incrementos nos estoques de C após 65 anos de plantio direto, embora não tenha recuperado os estoques de C da vegetação nativa. Os autores sugeriram que a inclusão do milho nos sistemas de rotação poderia favorecer o incremento de C no solo.

A recuperação dos estoques de COS tem relação direta com as adições de biomassa que, por sua vez, são dependentes de fertilização nitrogenada. Bortolon et al. (2009) observaram potencial redução de 70% dos estoques de C em 165 anos do sistema aveia/milho, em preparo convencional de solo e sem adubação nitrogenada, quando comparado à vegetação nativa. Por outro lado, com a adoção de sistemas conservacionistas com a inclusão de leguminosas de inverno ou adubação nitrogenada seria possível recuperar, e até superar, os estoques de C originais.

A modelagem também é uma ferramenta importante para prever alterações nos agroecossistemas frente aos cenários climáticos futuros. O IPCC desenvolveu no início dos anos 90, cenários climáticos futuros em função do crescimento demográfico e desenvolvimento econômico, tecnológico e ambiental. Estes cenários indicam como a combinação destes fatores deve

alterar o clima global baseado na intensidade das mudanças previstas (IPCC, 2000). Desde então, as previsões de mudanças climáticas resultantes destes cenários de crescimento e desenvolvimento vêm sendo utilizadas nos modelos Century e DayCent para prever o comportamento de sistemas agrícolas frente às mudanças climáticas.

As alterações nos estoques de C do solo em agroecossistemas da Espanha frente às mudanças climáticas previstas foram avaliadas por Álvaro-Fuentes et al. (2012a). Os autores observaram que os solos agrícolas da Espanha podem atuar como um dreno de C atmosférico, mas os cenários climáticos e as práticas de manejo adotadas serão críticas na maximização do sequestro de C. De acordo com as simulações realizadas pelos autores, o aumento na concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera deve favorecer as adições de C ao solo e, no caso do noroeste da Espanha, as taxas de decomposição devem ser limitadas pela baixa disponibilidade hídrica, incrementando os estoques de C no solo. Por outro lado, Pan et al. (2010) observaram que as mudanças climáticas podem reduzir os estoques de C no solo na região central dos Estados Unidos em até 35%, dependendo dos modelos e cenários utilizados para as simulações. Embora a produção de planta deva incrementar com as mudanças climáticas, a maior respiração do solo deve contribuir para a redução dos estoques de C do solo.

O efeito das mudanças climáticas sobre os agroecossistemas ainda é um aspecto pouco estudado e os respectivos impactos são distintos em diferentes locais do globo. Na Itália, Lugato & Berti (2008) observaram que as práticas de manejo interferiram mais expressivamente no balanço de C nos agroecossistemas do que as mudanças climáticas previstas. Práticas como conversão de áreas agrícolas em pastagens e aplicação de esterco como adubação orgânica são as práticas mais promissoras para sequestro de C no solo. Diferentemente, Pan et al. (2010) observaram que, no centro dos Estados Unidos, as projeções dos estoques de C no solo são altamente dependentes das previsões climáticas dos modelos de circulação global. Desta forma, é indispensável que modelos como o DayCent sejam aplicados em diferentes locais do globo de modo a avaliar os impactos das mudanças climáticas em cada região.

### **3. HIPÓTESES**

O modelo DayCent representa adequadamente os impactos de sistemas de preparo de solo e de cultura e identifica as diferenças nos estoques de carbono e nas emissões anuais cumulativas de óxido nitroso em um Latossolo do Planalto do Rio Grande do Sul.

O modelo DayCent simula incrementos na produção de biomassa dos cultivos agrícolas e na respiração heterotrófica, representando adequadamente a dinâmica dos estoques de COS e das emissões de N<sub>2</sub>O.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Local**

O estudo de modelagem utilizou dados oriundos de dois experimentos de longa duração conduzidos no Centro Nacional de Pesquisa em Trigo, na Embrapa Trigo, localizada em Passo Fundo, na região do Planalto do Rio Grande do Sul. A calibração do modelo foi realizada com o conjunto de dados do experimento (Experimento 1) do qual se dispunha de maior quantidade de informações, enquanto que a validação do modelo foi realizada com um conjunto de dados de um segundo experimento (Experimento 2).

### **4.2. Experimento 1**

O Experimento 1 vem sendo conduzido desde 1985, em uma área que encontrava-se sob vegetação de campo natural até 1950 e foi cultivada com trigo e soja nos anos 60 e 70, sob preparo convencional. Precedendo a instalação do experimento, a área foi utilizada como pastagem de gramíneas nativas com alta infestação de ervas daninhas (Santos et al., 2006b). Em novembro de 1985 foi realizada descompactação do solo e aplicação de calcário dolomítico na dose de 7 t ha<sup>-1</sup> e dado início ao experimento. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (Santos et al., 2006a), de textura argilosa e relevo suave a ondulado.

O experimento consiste de quatro sistemas de preparo de solo nas parcelas principais (preparo convencional com arado de discos + grade, preparo convencional com arado de aiveca + grade, cultivo mínimo e plantio direto) e três sistemas de cultura nas sub-parcelas (trigo-soja; trigo-soja-ervilhaca-milho

(sorgo); trigo-soja-aveia preta-soja-ervilhaca-milho (sorgo)), seguindo um delineamento de blocos casualizados, em três repetições. O presente estudo limitou-se apenas a dois sistemas de preparo de solo (plantio direto e preparo convencional com arado de discos) e dois sistemas de cultura (A: trigo-soja; B: trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo)). Um sistema idêntico ao B, apenas defasado no tempo (C: ervilhaca-milho (sorgo)-trigo-soja) foi incluído de forma a aumentar as informações disponíveis daquelas culturas utilizadas no sistema de rotação a cada dois anos (ex.: ervilhaca, sorgo e milho).

Os preparos de solo eram realizados antecedendo a semeadura das culturas de inverno e de verão. A partir de 1987, o preparo de solo com arado de discos (25 cm) e gradagem (10 cm) passou a ser realizado apenas em maio ou junho, antecedendo a semeadura das culturas de inverno. O sistema trigo-soja recebeu em média 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 130 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto que a rotação trigo-soja-ervilhaca-milho ou sorgo recebeu 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 95 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Milho ou sorgo receberam 10 kg N ha<sup>-1</sup> no momento do plantio e a ervilhaca foi a principal fonte de N para as culturas.

### **4.3. Experimento 2**

O Experimento 2, utilizado para validação do modelo, vem sendo conduzido na Embrapa Trigo desde 1980, com sistemas de cultura semelhantes ao Experimento 1 e algumas diferenças em relação ao preparo de solo. O experimento 2 foi conduzido sob preparo convencional de solo até 1990 quando então adotou-se o plantio direto em toda a área. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico húmico (Santos et al., 2006a), de textura argilosa e relevo suave a ondulado.

O experimento consiste de quatro sistemas de cultura para o trigo, delineados em blocos ao acaso com quatro repetições. Dentre estes sistemas de rotação foram selecionados dois para a validação do modelo: VA: trigo-soja; e VB: trigo-soja-ervilhaca-sorgo-aveia-soja.

#### 4.4. Dados de biomassa vegetal, C do solo, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O

O rendimento de grãos das espécies utilizadas nos sistemas de rotação foi quantificado desde o início do Experimento 1 e em alguns anos do Experimento 2, sendo as informações compiladas em relatórios internos da Embrapa e em alguns artigos publicados (Santos et al., 1990; Santos et al., 1999; Sisti et al., 2004; Santos et al., 2006b). A produção de biomassa da parte aérea foi quantificada a partir de índices de colheita médios da região (trigo=0,30; soja=0,47; sorgo=0,45 e milho=0,45) reportados em Sisti et al. (2004). Os estoques de COS em todos os tratamentos do Experimento 1 foram estimados em 1999, e no sistema trigo/soja em 2013. No Experimento 2, os estoques de COS foram determinados em 2011.

Os fluxos de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O foram monitorados durante dois anos (junho de 2013 a julho de 2015) no Experimento 1, e durante um ano e nove meses (dezembro de 2013 a setembro de 2015) no Experimento 2. Os gases foram coletados manualmente (duas a três vezes por semana), entre 9 e 11 horas da manhã, de câmaras estáticas acopladas em bases de metal inseridas no solo. As bases foram removidas somente antecedendo a semeadura e colheita das espécies, para permitir a mecanização do manejo. As amostras foram retiradas das câmaras com auxílio de seringas de polipropileno, injetadas em frascos do tipo *exetainer* e enviadas ao Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Solos da UFRGS. As análises foram realizadas em cromatógrafo gasoso Shimadzu GC 2014. Maiores detalhes a respeito dos procedimentos de coleta e análise são descritos em detalhes em Gomes (2006).

#### 4.5. Inicialização do DayCent

A versão do modelo DayCent utilizada neste estudo foi o DailyDayCent 01/03/2013 (Windows, *timestamp* do arquivo executável=1/10/2013). Dentre as principais modificações nesta versão do modelo destacam-se a adição de parâmetros relacionados à emissão de N<sub>2</sub>O, como a proporção de N perdido na forma de N<sub>2</sub>O em umidade correspondente à capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente, e efeito do espaço poroso ocupado por água na desnitrificação.

O DayCent foi inicializado a partir de um conjunto de dados de entrada: temperaturas máxima e mínima, precipitação diária, caracterização do solo e informações de manejo. A partir destes dados, foram obtidos a produção de biomassa, estoques de C no solo e fluxos CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O.

Os dados meteorológicos para o período de estudo foram obtidos juntamente ao Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Trigo, disponíveis no sítio <http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/app/principal/index.php>. Os principais parâmetros de solo necessários para inicialização do modelo foram obtidos a partir de outros estudos conduzidos no local (Sisti, 2001; Spera, 2009), dos relatórios internos da Embrapa e de amostragem realizada na área em novembro de 2013 (ver detalhes no item 5.2.8). Informações adicionais referentes ao histórico de manejo foram obtidas junto à Embrapa Trigo (Dr. Henrique Pereira dos Santos, informação pessoal).

#### **4.6. Simulação de equilíbrio e período pré-experimental**

A primeira etapa do exercício de modelagem foi estabelecer as condições iniciais de solo, principalmente no que se refere aos estoques e compartimentalização de C. Os valores iniciais de C e N no solo, bem como a distribuição do C nos diferentes compartimentos da MOS, são estimados, preferencialmente, por meio de simulações de períodos maiores que 1000 anos (Metherell et al., 1993; Del Grosso et al., 2011). Estas simulações, também chamadas de “simulações de equilíbrio”, objetivam recriar dados biogeoquímicos referentes às condições iniciais do solo em estudo, que usualmente não estão disponíveis, e assegurar a estabilidade dos compartimentos conceituais de C.

A vegetação pré-experimento no local de estudo foi determinada pela visualização de fotografias áreas da região de estudo, obtidas em 1966, que evidenciaram a ocorrência de um mosaico com fragmentos de campos e mata de araucária típicos da região Sul, além das áreas já sob cultivo, como já reportado por Sisti (2001). Para fins deste estudo, a vegetação pré-experimento foi considerada como campos naturais.

Assim, as condições iniciais do local do experimento foram recriadas considerando dois períodos: (1) campo nativo (0 a 4000 anos) e (2) período pré-experimental (de 1965 a 1985): rotação trigo/soja em preparo convencional, com



rendimentos e produção de biomassa médios estimados para a região nesta época.

#### **4.7. Período experimental**

As simulações do período experimental foram criadas a partir da simulação de equilíbrio e pré-experimento. Os resultados de saída de C do solo (compartimentos ativo, lento e passivo) destas simulações foram utilizados como parâmetros de entrada nas simulações do período experimental.

O período experimental simulado compreende os anos de 1986 até 2016, em dois sistemas de culturas e sob dois sistemas de preparo do solo. As simulações envolvem os sistemas: 1) trigo-soja; 2) trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo) e; 3) ervilhaca-milho (sorgo)-trigo-soja. A calibração do modelo foi realizada nestes três sistemas, conduzidos sob preparo convencional de solo com arado de discos e plantio direto.

As operações de preparo de solo que geralmente ocorreram na mesma semana, ou até no mesmo dia, foram inseridas no arquivo "schedule" espaçadas em 30 dias, preservando as datas de semeadura. Isto porque o modelo considera que quando existem duas operações do tipo *Cult. 100* em um mesmo mês, a segunda operação sobrepõe a anterior no que diz respeito as taxas de decomposição da MOS.

#### **4.8. Calibração do modelo DayCent**

A densidade do solo, a umidade do solo em capacidade de campo e ponto de murcha permanente e a condutividade hidráulica saturada nas camadas 0-10 e 10-20 cm foram determinadas em amostras indeformadas coletadas em 2013. A partir dos valores obtidos nestas determinações foram realizados ajustes nos atributos de solo de modo que o modelo abrangesse a amplitude do conteúdo de água no solo (Tabela 1). A calibração do modelo foi realizada por meio do ajuste de parâmetros, conforme proposto por Del Grosso et al. (2011).

O conteúdo de água no solo foi ajustado com base em uma série de dados de conteúdo de água volumétrica do solo do Experimento 1 referente à

camada 0-10 cm. Embora sejam apresentados os dados medidos e ajustados da camada 10-20 cm na tabela 1, a comparação entre o conteúdo de água volumétrico no solo simulado e observado apresentada no item Resultados e Discussão se refere à camada 0-10 cm.

**Tabela 1.** Atributos do solo medidos e ajustados nos diferentes tratamentos utilizados nas simulações.

Sistema	Camada (cm)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	CC (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	PMP (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	CHS (cm s <sup>-1</sup> )
<i>Valores medidos</i>								
PC	0 – 10	55,0	27,1	19,9	1,28	0,370	0,217	0,00520
	10 – 20	56,2	25,8	19,1	1,33	0,373	0,225	0,00470
PD	0 – 10	55,0	27,1	17,9	1,21	0,368	0,201	0,01150
	10 – 20	55,1	25,8	19,1	1,31	0,366	0,240	0,00340
<i>Valores ajustados</i>								
PC	0 – 10	55,0	27,1	19,9	1,28	0,405	0,190	0,00008
	10 – 20	56,2	25,8	19,1	1,33	0,390	0,205	0,00008
PD	0 – 10	55,0	27,1	17,9	1,21	0,395	0,190	0,00011
	10 – 20	55,1	25,8	19,1	1,31	0,380	0,180	0,00011

PC –preparo convencional; PD – plantio direto; Ds – densidade do solo; CC – umidade de capacidade de campo; PMP – umidade de ponto de murcha permanente; CHS – condutividade hidráulica saturada.

A adição anual de biomassa das plantas foi ajustada mediante o ajuste dos parâmetros de planta. Os parâmetros ajustados e seus respectivos significados são apresentados na Tabela 2. O crescimento de planta foi simulado utilizando o submodelo de crescimento em graus-dia com base em informações obtidas de Martorano (2007), Schons et al. (2009), Walter et al. (2009), Storck et al. (2009) e Junges (2008).

O ajuste do modelo para correta representação dos estoques de C no solo no período experimental foi realizada por meio do ajuste de parâmetros CLTEFF do arquivo *Cult.100* (Tabela 3), que representam o incremento nas taxas de decomposição da matéria orgânica do solo após eventos de aração (Disk Plow), gradagem (Disk Harrow) e semeadura (No Till Drill). Não foram realizadas alterações nos parâmetros *Cteff* do plantio direto.

**Tabela 2.** Parâmetros utilizados no submodelo de crescimento de planta em graus dia.

Parâmetros de planta	Trigo	Soja	Ervilhaca	Milho	Sorgo
PRDX	0,95	0,70	0,55	1,10	0,75
DDEMERG	70	70	100	100	100
DDBASE	1600	1100	300	1000	1150
MNDDHRV	500	500	500	700	500
MXDDHRV	600	600	600	800	600
BASETEMP (1)	0	10	10	10	10
BASETEMP (2)	30	30	30	30	30

PRDX – potencial de produção de biomassa em função da radiação solar; DDEMERG- número de graus dia acumulados necessários para emergência de planta; DDBASE – número de graus dia requeridos para atingir a antese; MNDDHRV e MXDDHRV – número mínimo e máximo de graus dia entre a antese e maturação de planta, respectivamente; BASETEMP (1) e BASETEMP (2) – temperatura mínima e máxima para acúmulo de graus dia durante o crescimento de planta.

**Tabela 3.** Valores originais (Orig) e utilizados (Util) nos parâmetros Clteff do arquivo *Cult. 100* para Disk Plow (arado de discos), Disk Harrow (grade) e No Till Drill (plantio direto).

Parâmetro	Disk Plow		Disk Harrow		No Till Drill	
	Orig	Util	Orig	Util	Orig	Util
CLTEFF (1)	1,6	2,0	1,2	1,2	1,0	1,0
CLTEFF (2)	1,6	2,8	1,2	2,0	1,0	1,0
CLTEFF (3)	1,6	2,8	1,2	2,0	1,0	1,0
CLTEFF (4)	1,6	1,6	1,2	1,2	1,0	1,0

Clteff – multiplicador das taxas de decomposição para os diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo. (1) - ativo; (2) - lento; (3) - passivo; (4) – resíduos culturais (material estrutural).

#### 4.9. Validação do modelo DayCent

A validação do modelo foi realizada aplicando-se a versão calibrada do modelo no Experimento 2 e comparando-se estatisticamente os resultados observados com os gerados pelo modelo. Os testes estatísticos aplicados na etapa de validação foram os mesmos utilizados na avaliação do desempenho do modelo na etapa de calibração e são descritos no item seguinte.

As informações de solo necessárias para implementar as simulações de validação (Tabela 4) foram obtidas a partir de determinações realizadas pela Embrapa e também por meio de planilhas eletrônicas. Os teores de areia, silte e argila e a densidade do solo foram determinados pela Embrapa em 2011. A umidade do solo em capacidade de campo e ponto de murcha permanente e a condutividade hidráulica saturada foram geradas a partir da planilha eletrônica disponibilizada por Saxton & Rawls (2006) e recomendada pelos desenvolvedores do DayCent para quando não se dispõe deste tipo de informação. Os dados climáticos utilizados na etapa de validação foram idênticos aos do experimento de validação, dada a proximidade dos experimentos.

**Tabela 4.** Atributos do solo utilizados na etapa de validação do modelo DayCent nos sistemas de culturas sob plantio direto.

Camada (cm)	Argila	Areia (%)	Silte	Ds g cm <sup>-3</sup>	CC m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	PMP	CHS cm s <sup>-1</sup>
0 – 10	53,5	23,7	19,9	1,13	0,469	0,259	0,00011
10 – 20	53,5	23,7	19,1	1,13	0,469	0,259	0,00011

Ds – densidade do solo; CC – capacidade de campo; PMP – ponto de murcha permanente; CHS – condutividade hidráulica saturada.

Os cenários de manejo do experimento 2 foram elaborados a partir de planilhas eletrônicas fornecidas pela Embrapa Trigo (Pesq. Anderson Santi) que continham descrições das operações de manejo, bem como dados de rendimento de grãos e produção de biomassa. É importante destacar que estas planilhas não apresentavam informações de manejo das culturas no período de 1991-2008. Em alguns anos, as planilhas também não apresentavam dados relativos à produção de biomassa das culturas, sendo estimada a partir dos índices de colheita citados anteriormente.

#### 4.10. Análise do desempenho do modelo

A avaliação da acurácia das simulações em relação as observações e a quantificação do erro nas simulações foi realizada de acordo com os esquemas de comparação quantitativa de dados simulados em relação aos observados demonstrados em Smith et al. (1997) e Wallach (2006). Nas

equações referentes aos testes estatísticos descritos abaixo,  $n$  é o número de comparações (observados x simulados),  $O_i$  são os dados observados,  $S_i$  os dados simulados,  $\bar{O}$  a média dos dados observados,  $\bar{S}$  a média dos dados simulados,  $E_p$  indica o erro padrão nas observações,  $t$  é proveniente da distribuição de Student ( $n-2$ ,  $p < 0,05$ ) e  $m_j$  o número de repetições de cada tratamento.

Um dos testes estatísticos mais comumente utilizados para avaliar a concordância entre os dados simulados e medidos é o coeficiente de correlação ( $r$ ). O valor de  $r$  pode ser determinado, sem a necessidade de repetições das observações, pela seguinte equação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2][\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2]}}$$

Outro teste passível de aplicação quando não existem repetições das observações é a eficiência da modelagem (EF), determinada por:

$$EF = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2]}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

Valores positivos para EF indicam que os valores simulados descrevem uma tendência para os dados observados melhor que a média das observações. Por outro lado, valores negativos indicam que os dados simulados não descrevem os dados observados melhor do que a média das observações.

A raiz quadrada do erro médio (RSME, *root mean square error*), que pode ser calculada mesmo quando não se dispõe de repetições das observações, indica a diferença verificada entre os dados simulados e observados:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2 / N}$$

O viés ou erro relativo entre os valores observados e simulados foram calculados pela seguinte fórmula:

$$E = \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)/O_i$$

Quando a média dos valores simulados subestima os valores observados, o erro relativo é positivo e, inversamente, quando os valores simulados superestimam os valores observados, o erro relativo é negativo. Valores próximos a zero para o erro relativo são desejáveis, pois sugerem melhor ajuste entre os dados simulados e observados.

A diferença média (M), que também indica viés nas simulações, foi calculada pela seguinte fórmula:

$$M = \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)/n$$

Com a estimativa do M, o teste estatístico  $t$  foi utilizado para testar a diferença significativa entre os dados observados e simulados, usando a seguinte equação:

$$t = \frac{M \times \sqrt{n}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i) - (\sum_{i=1}^n (O_i - S_i))^2 / (n - 1)}}$$

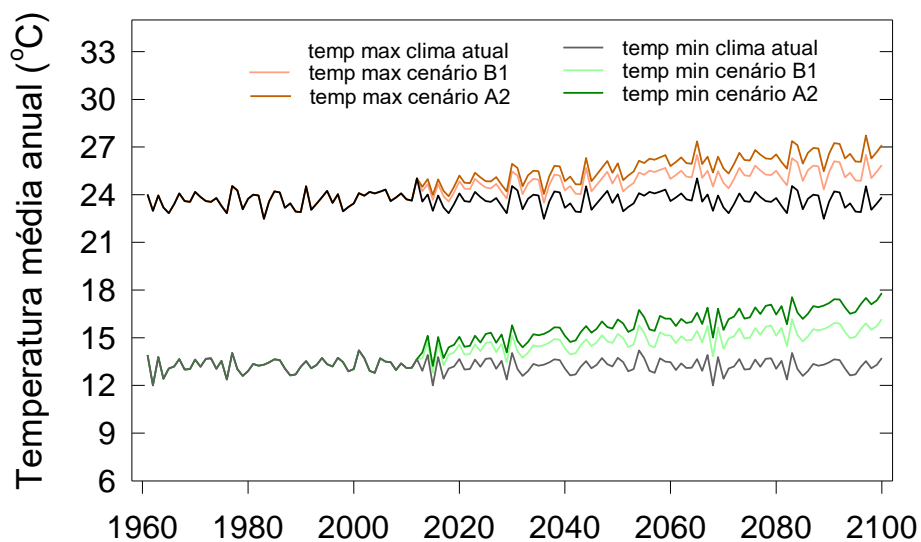
Se os valores de  $t$  determinados são maiores do que os valores do teste  $t$  5%, os valores modelados apresentam viés significativo, subestimando ou superestimando os valores observados.

#### 4.11. Cenários futuros de clima e manejo

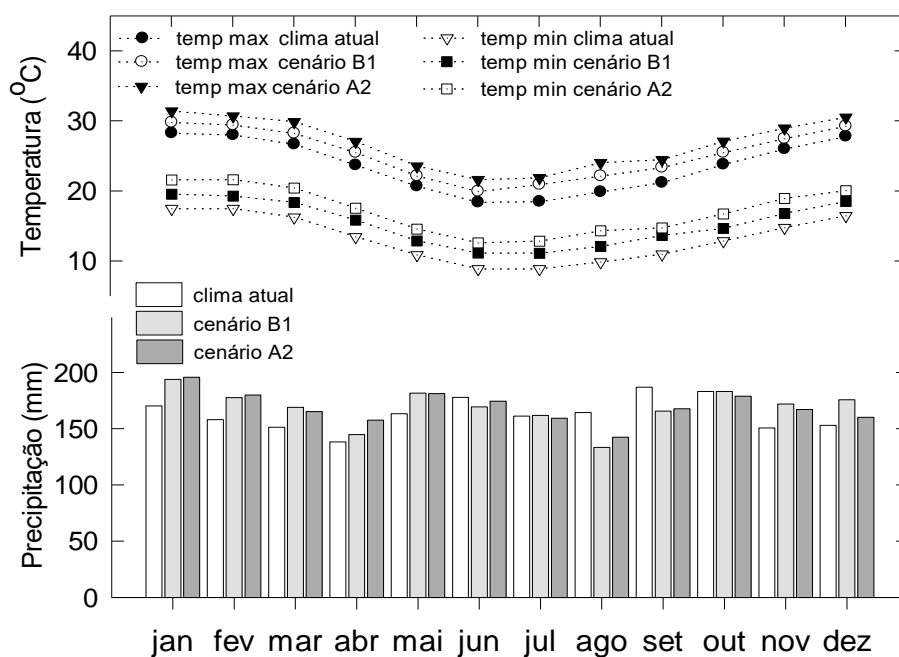
O modelo DayCent foi utilizado na simulação dos cenários futuros com o mesmo ajuste das etapas de calibração e validação, com exceção da parametrização de culturas. O número de graus-dia para que as plantas atingissem o florescimento foi levemente incrementado em 100, de modo a simular a utilização de cultivares adaptadas ao incremento na temperatura.

Os dados climáticos futuros foram obtidos na página eletrônica Climate Wizard, desenvolvida para facilitar o acesso, análise e interpretação das informações sobre mudanças climáticas (Girvetz et al., 2009). Dois diferentes cenários foram avaliados: A2 e B1 (IPCC, 2000, 2013). O cenário A2 estima um aumento de 4,0 e 3,1°C para as temperaturas anuais mínima e máxima, respectivamente, até 2100, e aumento de 4,1% na precipitação anual. Este cenário está baseado em crescentes emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e uma população mundial em 2100 em torno de 15 bilhões habitantes. O cenário B1 prevê aumento de 1,7 e 2,1°C para as temperaturas anuais máxima e mínima, respectivamente, e incremento de 4% na precipitação anual. O cenário B1 prevê redução nas emissões de CO<sub>2</sub> e estabilização da população mundial em torno de 7 bilhões de habitantes em 2100.

As tabelas originais, obtidas no website, forneceram valores médios mensais de temperatura máxima e mínima e precipitação para os intervalos de 2046-2065 e 2081-2100 (Figuras 2 e 3). Como forma de adequar estas previsões para uso dos escalares do DayCent foram estabelecidas tendências lineares para distribuir estas alterações ao longo dos anos, tendo como base o período 1961-1990. O incremento na concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera foi simulado utilizando a função de incremento linear do DayCent com pontos finais de 475 e 700 ppm de CO<sub>2</sub> em 2100.



**Figura 2.** Alterações das temperaturas médias máximas e mínimas anuais, sob os cenários climáticos atual, B1 e A2.



**Figura 3.** Alterações das temperaturas médias máximas e mínimas mensais e da distribuição da precipitação mensal sob os cenários climáticos atual, B1 e A2.



Os atuais sistemas de cultura e de preparo de solo que vêm sendo utilizados (experimento de calibração) foram simulados até 2100, considerando a condução dos sistemas de produção nos moldes atuais.

Adicionalmente, dois cenários alternativos de manejo (Tabela 5) àqueles representados pelos experimentos da Embrapa foram criados à luz das “melhores práticas de manejo”: a ampla evidência dos benefícios dos sistemas de culturas com maior frequência de espécies de grande aporte de resíduos culturais ao solo (Diekow et al., 2005; Amado et al., 2006; Conceição et al., 2013; Ferreira et al., 2013).

O primeiro cenário é similar à proposição de “alta biomassa” (Tornquist et al., 2009), neste caso adicionando o cultivo de sorgo com maior frequência ao sistema de culturas. O sistema de rotação avaliado consiste de 1 verão com plantio de soja e 2 verões com plantio de sorgo. O segundo cenário se refere à inclusão da pastagem perene Tifton (*Cynodon* sp.) durante dois anos em rotação com o cultivo de trigo e soja. O sistema de rotação consistiu no plantio de 2 anos de trigo-soja seguidos de dois anos de pastagem perene.

**Tabela 5.** Cenários alternativos de manejo utilizados nas simulações de cenários futuros (2016-2100).

Sistema de cultura	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
“alta biomassa”	Trigo-soja	Ervilhaca-sorgo	Ervilhaca-sorgo	Trigo-soja
Lavoura-pastagem	Trigo-soja	Trigo-soja	Tifton	Tifton

O Tifton recebeu adubação nitrogenada equivalente a 120 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, divididos em quatro aplicações. A pressão de pastejo na área foi ajustada para aproximadamente 4% de oferta de forragem (5.000 kg MS ha<sup>-1</sup> no verão e 1.500 kg MS ha<sup>-1</sup> no inverno), sendo a remoção de pasto diária próxima a taxa de crescimento da pastagem (Maixner et al., 2009; Marchesan et al., 2013).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

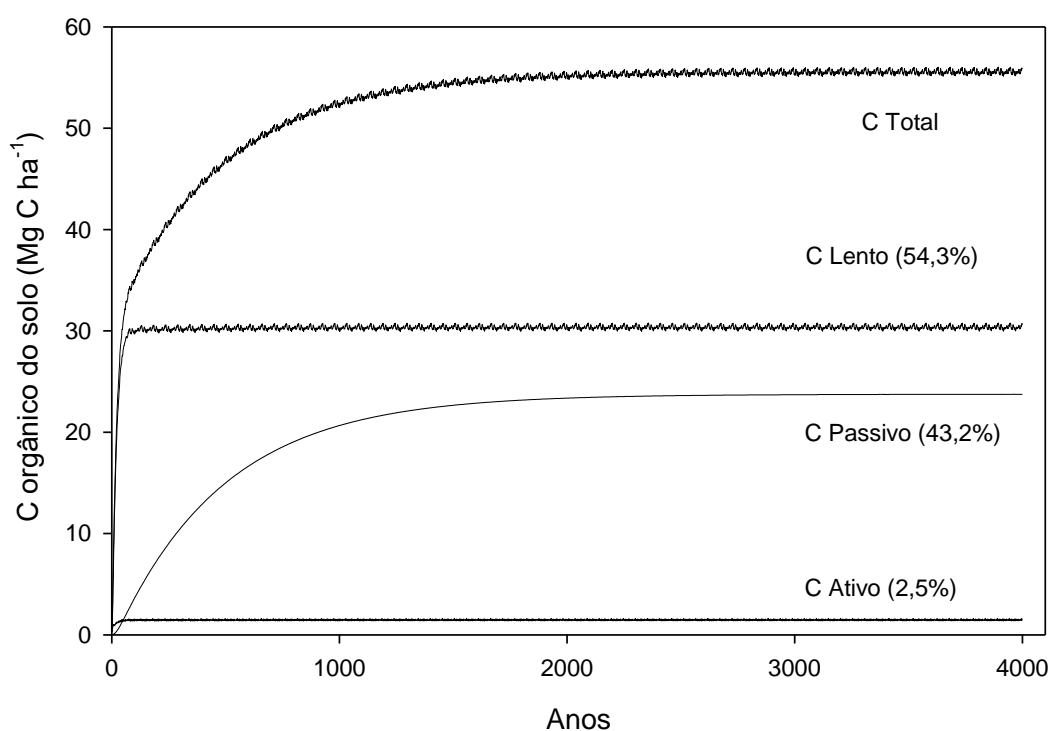
Inicialmente são apresentados os resultados referentes à etapa de calibração do modelo (item 4.1.1 até 4.1.6). Na sequência, os resultados da etapa de validação são apresentados (item 4.2.1 até 4.2.4). O desempenho do modelo na etapa de calibração foi mais extensivamente discutido em função da melhor caracterização dos cenários de manejo e da maior quantidade de informações disponíveis.

### **4.1. Calibração do modelo DayCent**

#### **4.1.1. Simulação de equilíbrio e período pré-experimental**

O modelo DayCent considera uma divisão do C alocado no solo em três compartimentos conceituais (ativo, lento e passivo), os quais diferem quanto as taxas de decomposição. Os três compartimentos de MOS, bem como os estoques de C da área de estudo na simulação de equilíbrio, foram estimados pelo modelo (Figura 4). No período de vegetação nativa, o carbono orgânico do solo (COS) foi estimado em aproximadamente 57 t C ha<sup>-1</sup>.

A simulação de equilíbrio estabeleceu que o compartimento lento alocou a maior quantidade de C no solo (54,3 %), seguido dos compartimentos passivo (43,2 %) e ativo (2,5 %). Os compartimentos ativo, lento e passivo correspondem à biomassa microbiana, resíduos culturais e produtos microbianos resistentes à degradação e ao C estabilizado química e fisicamente, respectivamente. Estes valores encontram-se dentro das proporções indicadas pelos desenvolvedores do modelo Century (Metherell et al., 1993), precursor do modelo DayCent.



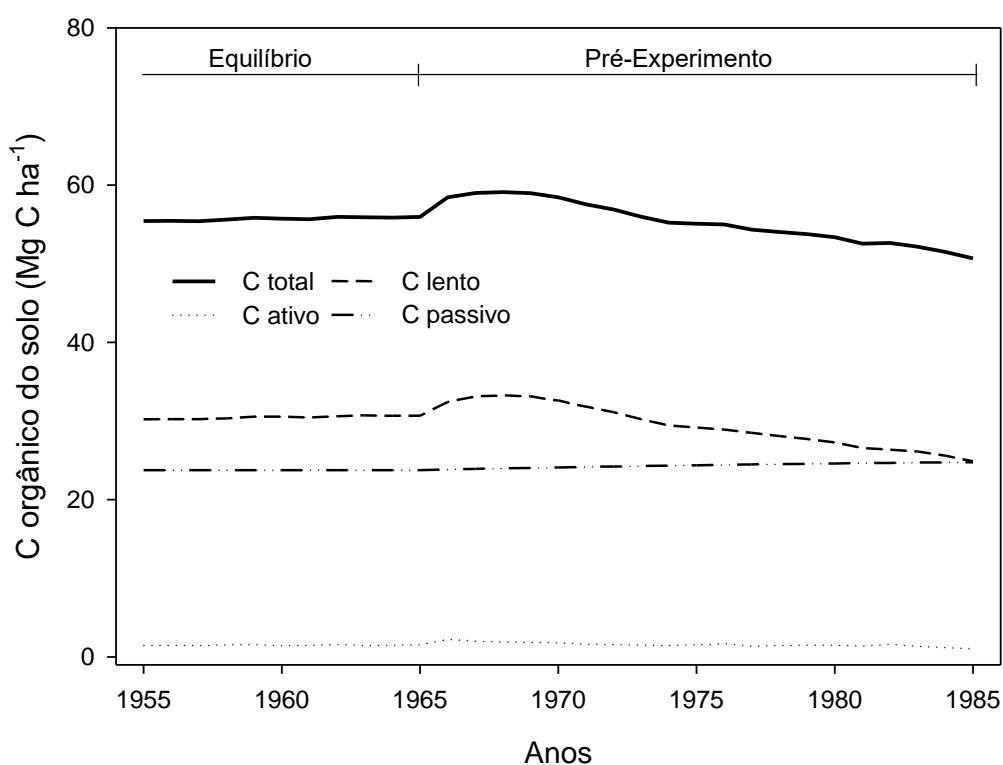
**Figura 4.** Carbono orgânico do solo e compartimentos de C simulados para o período de equilíbrio na camada 0-20 cm.

O período pré-experimental, compreendido entre 1965 e 1985, foi caracterizado pelo cultivo de trigo e soja em preparo convencional de solo. O COS no momento do início do experimento foi estimado em 50 t C ha<sup>-1</sup> (Figura 5). Apesar de não se dispor de informações precisas sobre as perdas quantitativas de COS no período pré-experimental, os estoques estimados no início do experimento foram condizentes com estudos realizados na região (Tornquist et al., 2009; Bortolon et al., 2011; Campos et al., 2011a).

A conversão de campo nativo para culturas anuais resultou em aumento no COS (Figura 5). Este incremento foi determinado pela incorporação da biomassa da vegetação nativa à matéria orgânica do solo após um evento de lavração. Além disso, o cultivo de espécies anuais a partir de 1965 resultou em maior adição anual de biomassa ao solo comparado a vegetação nativa e também favoreceu o aumento do COS. A partir de 1970, o COS reduziu em função das operações de aração e gradagem que favoreceram a decomposição da matéria orgânica do solo.

O compartimento lento foi o principal responsável pelo decréscimo do COS, enquanto que o C dos compartimentos ativo e passivo permaneceu estável

durante a transição da fase de vegetação nativa para o período pré-experimento. A redução dos estoques de C no compartimento lento pode ser atribuída ao início dos eventos de preparo de solo (aração e gradagem), que estimulam as taxas de decomposição desta fração e indiretamente reduzem as transferências de C dos resíduos culturais (C estrutural) e do compartimento ativo para o lento. O compartimento ativo, composto basicamente da biomassa microbiana e seus subprodutos, manteve-se estável em função da adição constante de resíduos culturais, ao passo que a estabilidade do compartimento passivo se deve à proteção física e química da matéria orgânica do solo (Metherell et al., 1993).



**Figura 5.** Carbono orgânico do solo e compartimentos de C simulados na camada 0-20 cm de solo para o período pré-experimental.

As perdas de COS na transição da vegetação nativa para o pré-experimento foram ajustadas de modo a atingir um estoque de 50 Mg C ha<sup>-1</sup> em 1985, quando foi iniciado o experimento. Os resultados da distribuição, bem como as quantidades de C nos diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo ao final do período pré-experimental, foram utilizados como dados de entrada nas simulações do período experimental.

#### 4.1.2. Estoques de C do solo no período experimental

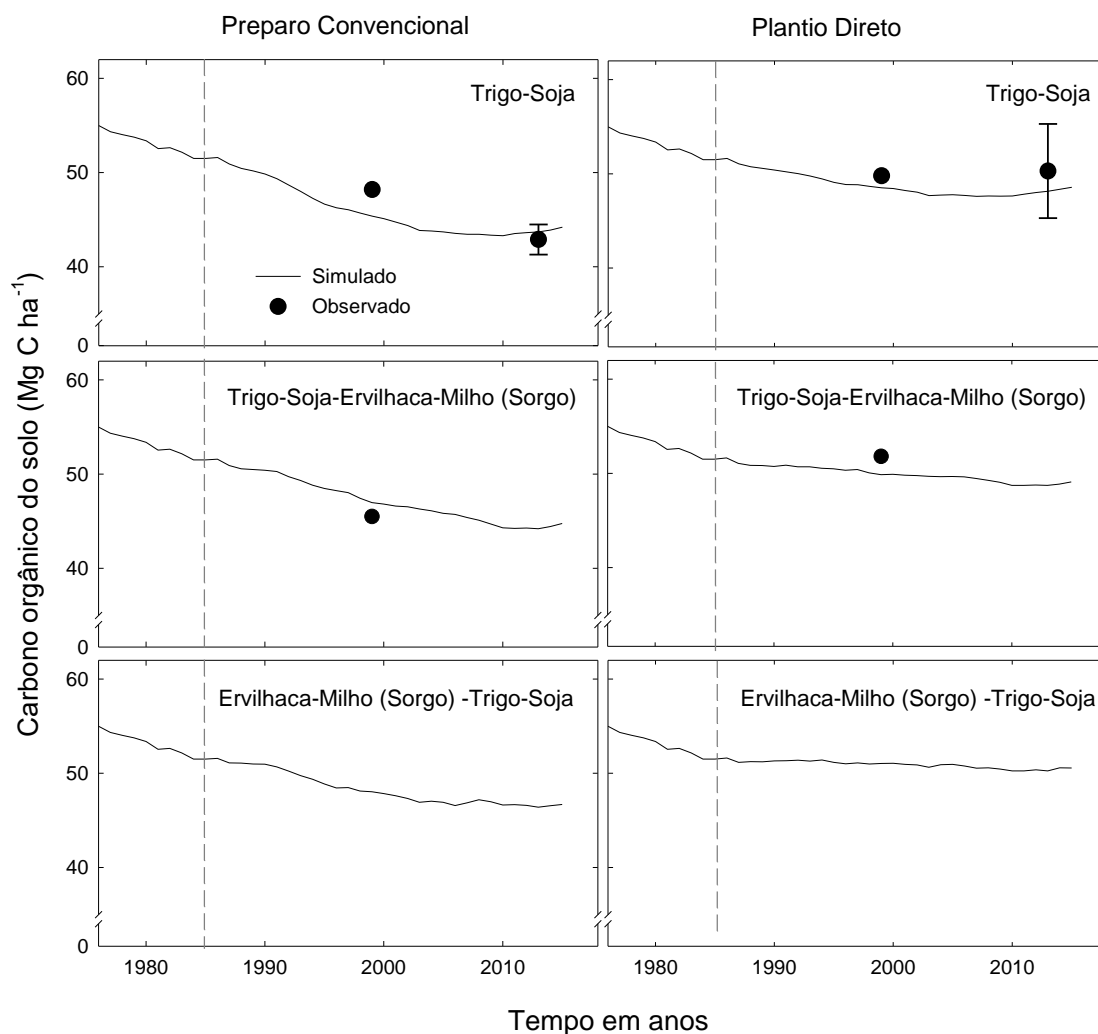
O modelo DayCent já foi testado em diversos locais e mostrou-se capaz de reproduzir as alterações na dinâmica da matéria orgânica em função do manejo de solo (Del Grosso et al., 2008; Chang et al., 2013; Congreves et al., 2015). No presente estudo, os valores observados e simulados não foram comparados estatisticamente devido ao baixo número de coletas realizadas ao longo do experimento.

O DayCent, com os parâmetros *default*, superestimou o COS no preparo convencional de solo ao longo do período experimental quando ajustadas somente as entradas de C no solo via resíduos culturais. Superestimativas do COS no solo na etapa de calibração do modelo também foram observadas por Scheer et al. (2014) e atribuídas aos altos teores de argila do solo. De fato, o modelo assume que em solos com altos teores de argila ocorre maior eficiência na estabilização do C oriundo do compartimento ativo nos compartimentos lento e passivo (Metherell et al., 1993).

O COS simulado para o período experimental foi adequadamente reproduzido após o ajuste dos parâmetros de cultivo (Figura 6). O incremento das taxas de decomposição das frações da matéria orgânica nos parâmetros de cultivo foi necessário, pois somente a adequação da adição anual de biomassa não foi suficiente para representar os estoques de C no solo, especialmente no preparo convencional. Chang et al. (2013) também relatam a necessidade de taxas de decomposição de 1 a 3 vezes superiores no preparo convencional em relação ao plantio direto para representação das diferenças entre os dois sistemas de manejo.

Como forma de reduzir a superestimativa do COS no solo, alguns estudos no Brasil com o modelo Century realizaram alterações em parâmetros fixos do modelo (*fix. 100*), como nas taxas de decomposição da matéria orgânica do solo (Fernandes, 2002; Weber, 2010). Embora testes neste sentido sejam importantes para o desenvolvimento do modelo, estas alterações vão em desacordo com a concepção do modelo e podem reduzir a sua aplicabilidade. Para que o modelo possa ser aplicado em diferentes sistemas de cultivo são recomendadas alterações apenas nos parâmetros de local, como dados de clima, solo, vegetação e manejo (Del Grosso et al., 2011). No presente estudo,

mesmo com alto teor de argila do solo, não foram necessários ajustes nos parâmetros fixos do modelo. Possivelmente, o melhor ajuste da dinâmica da água no solo no DayCent, comparado ao Century utilizado em outros estudos, resultou em melhor representação do processo de decomposição da matéria orgânica do solo.



**Figura 6.** Carbono orgânico do solo simulado e observado  $\pm$  desvio padrão na camada 0-20 cm de solo durante o pré-experimento e período experimental em preparo convencional e plantio direto. O tracejado vertical indica o início do experimento.

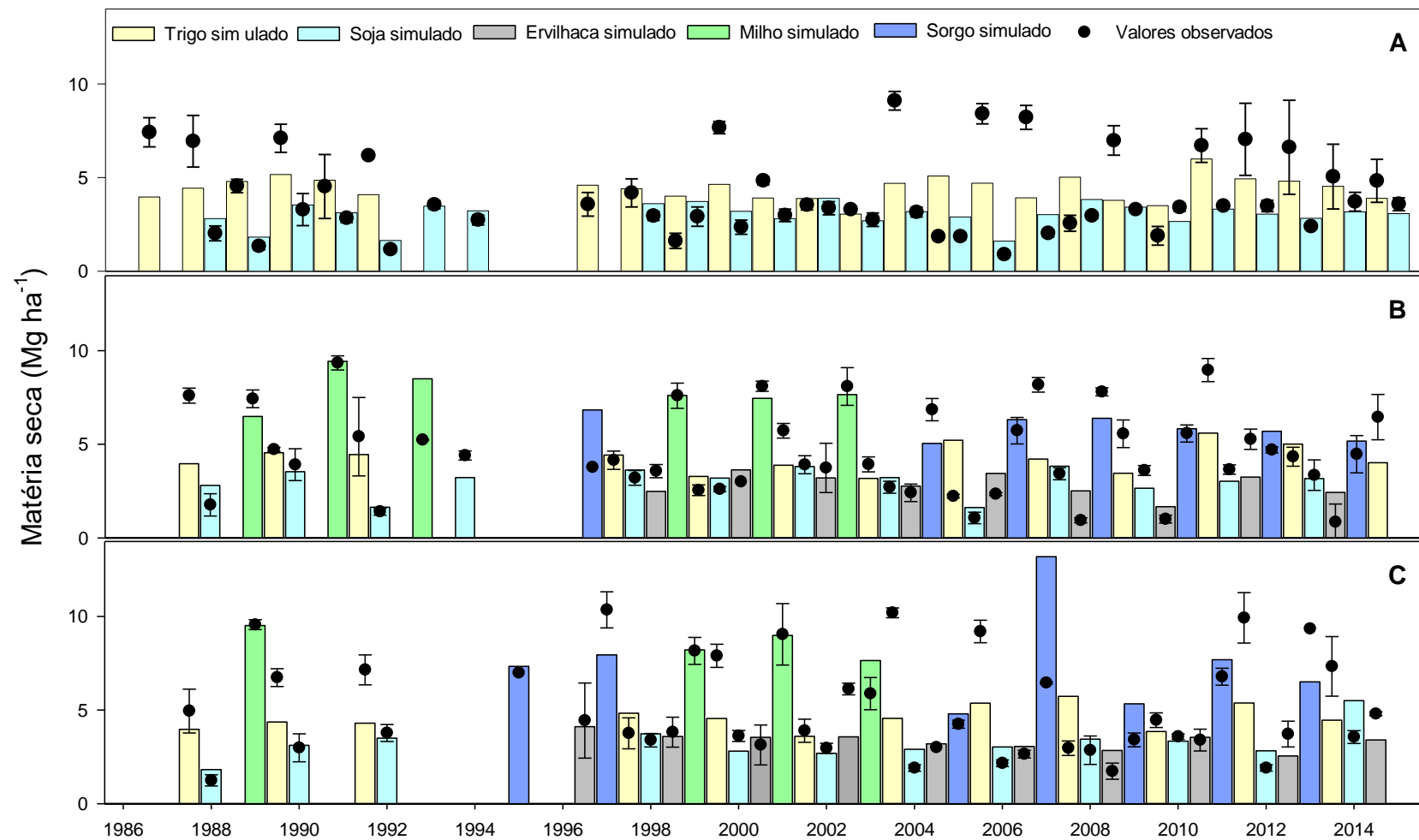
As observações e simulações indicaram maiores perdas de COS no preparo convencional comparado ao plantio direto (Figura 6). A redução no COS no preparo convencional, comparativamente ao plantio direto, provocada pelas operações de aração e gradagem, é reportada em diversos estudos,

independente do sistema de cultura utilizado (Amado et al., 2006; Dieckow et al., 2009; Campos et al., 2011a; Conceição et al., 2013).

As perdas de COS foram maiores no sistema trigo/soja em comparação às perdas de C nos sistemas com inclusão de ervilhaca e milho ou sorgo, possivelmente devido à maior produção de biomassa das gramíneas de verão e manutenção de toda a biomassa da ervilhaca na área (Sisti et al., 2004). O aporte médio anual do sistema trigo/soja foi de 3,60 e 3,96 Mg C ha<sup>-1</sup>, enquanto que no sistema com a gramínea de verão foram de 4,1 e 4,5 Mg C ha<sup>-1</sup> no preparo convencional e plantio direto, respectivamente. Sistemas de culturas necessitam aportar, no mínimo, 4,0 e 9,0 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em plantio direto e preparo convencional, respectivamente, para compensar as perdas de C a partir da decomposição da matéria orgânica (Bayer et al., 2006; Zanatta et al., 2007; Vieira et al., 2009). Considerando o experimento da Embrapa como padrão do que melhor se dispõe em termos manejo de culturas, fica evidente por meio das observações e simulações que somente a adoção do plantio direto não é suficiente para manutenção dos estoques de C no solo. Sistemas com a inclusão da ervilhaca e de uma gramínea de verão (milho ou sorgo) apresentaram produção de biomassa apenas satisfatória para a manutenção do COS. Sob preparo convencional nenhum dos sistemas de culturas foi capaz de suprir o aporte anual mínimo de biomassa necessária para manutenção dos estoques de C do solo.

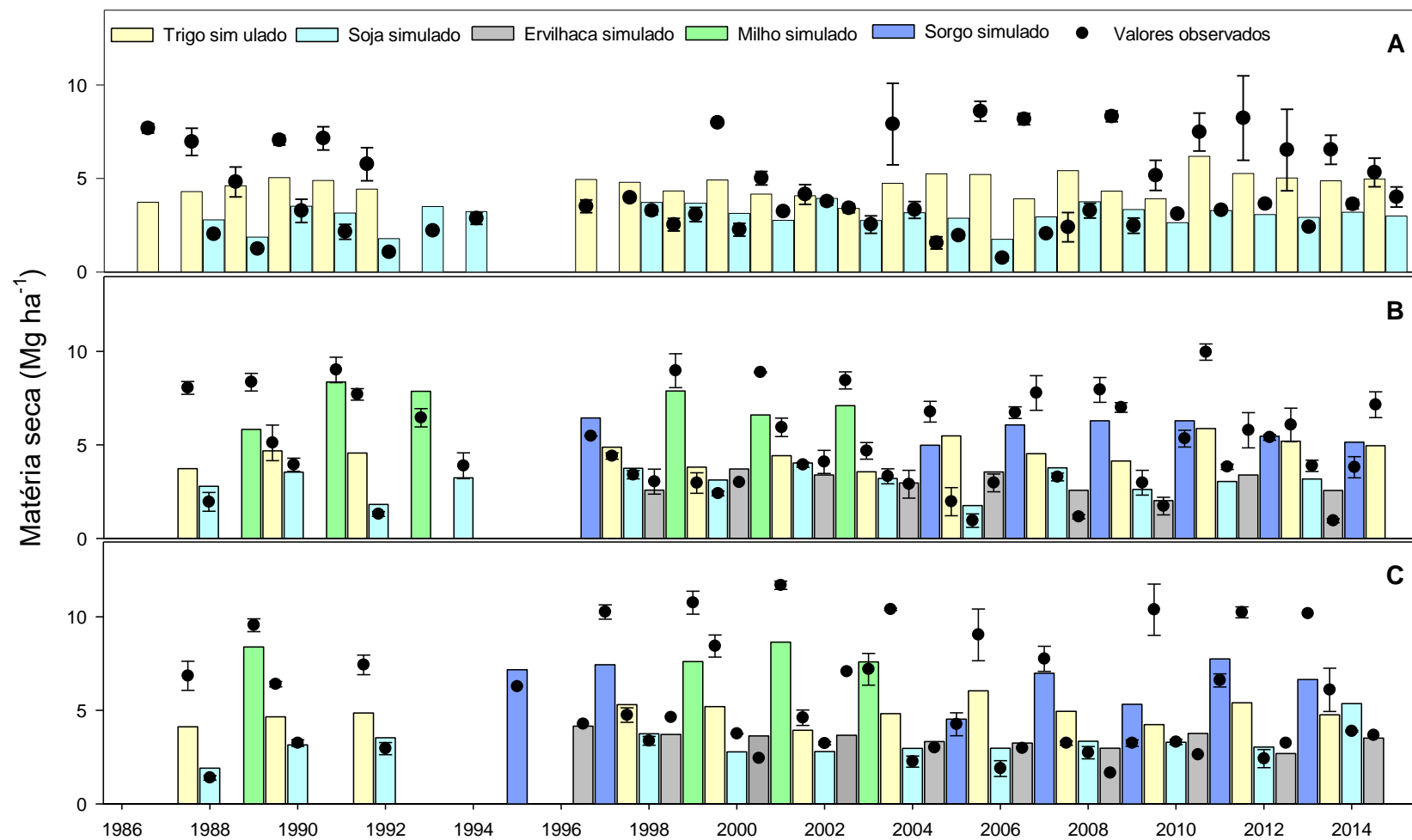
#### **4.1.3. Adições de biomassa e rendimento de grãos**

A comparação ano a ano da adição de biomassa pelas culturas dos sistemas de rotação apresentou algumas diferenças pontuais (Figuras 7 e 8). Estas diferenças são esperadas, porque modelos de ciclos biogeoquímicos, como o DayCent, não têm por objeto simular precisa e detalhadamente a produção vegetal, em comparação a modelos desenvolvidos especificamente com este objetivo, como o DSSAT (Jones et al., 2003; Nassif et al., 2012).



**Figura 7.** Produção anual de biomassa (parte aérea) simulada e observada  $\pm$  desvio padrão durante os 28 anos de preparo convencional. A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo); C – ervilhaca-milho (sorgo) –trigo-soja.





**Figura 8.** Produção anual de biomassa (parte aérea) simulada e observada  $\pm$  desvio padrão durante os 28 anos de plantio direto. A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo); C – ervilhaca-milho (sorgo) –trigo-soja.

Outro aspecto que deve ser considerado é que produção de biomassa e rendimento de grãos utilizadas neste estudo foram estimadas obtidas a partir dos índices de colheita obtidos pela Embrapa Trigo (Sisti, 2001). Ainda deve-se considerar que diferentes cultivares de trigo, soja, milho e sorgo foram utilizadas nos sistemas de rotação durante os 29 anos de experimento, enquanto que a produção vegetal foi modelada considerando apenas cada cultura (genérica), calibrada localmente, o que corresponderia a utilização de apenas uma cultivar. A calibração de diferentes cultivares demandaria informações detalhadas sobre estas, desde o início do experimento, as quais não estavam disponíveis.

O DayCent apresentou desempenho razoável na simulação da produção de biomassa das espécies (Tabela 6). As produções de biomassa simuladas e medidas foram significativamente associadas, com exceção da cultura do trigo. O trigo também apresentou valores negativos para eficiência de modelagem, indicando que os valores simulados não descrevem a tendência dos dados medidos melhor do que a média das observações, e também viés significativo no plantio direto. A produção de biomassa da soja foi superestimada pelo modelo, enquanto que a biomassa do milho/sorgo foi superestimada no preparo convencional e subestimada no plantio direto, mas não existiu viés significativo.

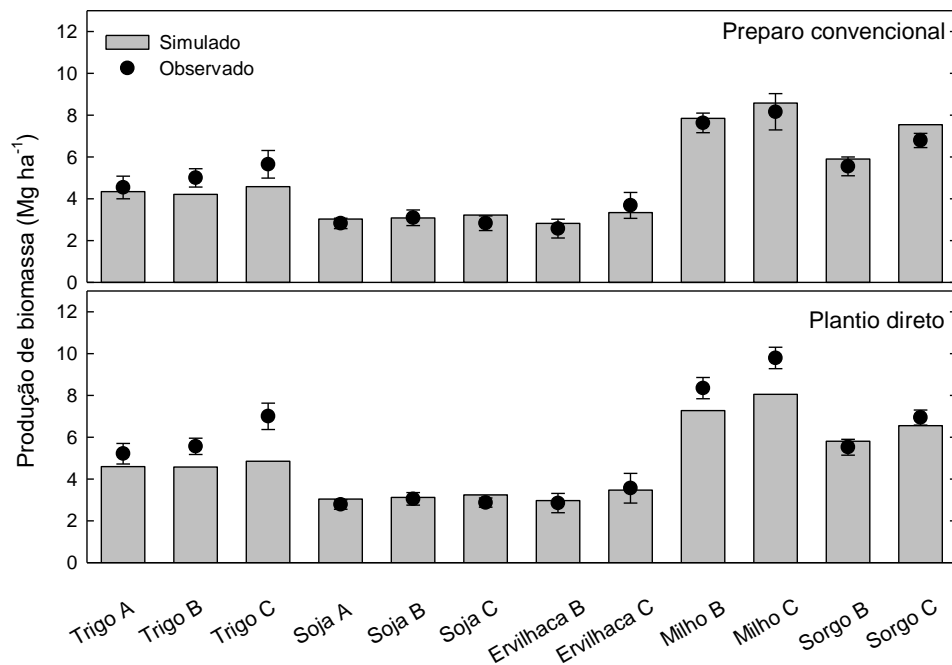
A dificuldade do modelo em representar a variabilidade anual de produção de planta também foi verificada por Schenato (2013). O autor observou coeficiente de correlação de 0,29 ao comparar a produção de massa seca simulada e observada de plantas de cobertura de inverno. Poucos estudos comparam a produção de biomassa e rendimento de grãos ano a ano, uma vez que esta não é a proposta do modelo. No entanto, é fundamental que o modelo represente adequadamente a adição média de C pelas culturas durante o período experimental.

O modelo DayCent simulou de maneira adequada a produção média anual de biomassa da parte aérea das culturas avaliadas nos sistemas de rotação, com pequenas diferenças para os valores observados (Figura 9). A produção de biomassa simulada do trigo foi semelhante nos três sistemas de manejo, apesar de os dados observados indicarem produção levemente superior nos sistemas com a inclusão de ervilhaca e milho.

**Tabela 6.** Análise de desempenho do modelo nas simulações de biomassa nos testes coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t.

Variável	r	EM	ER	RMSE	M	teste t 5%
		--- % ---		--- Mg ha <sup>-1</sup> ---		
Trigo PC	-0,04	-0,20	10,59	2,18	0,52	ns
Trigo PD	-0,15	-0,22	18,42	3,39	1,05	s
Soja PC	0,75*	0,52	-5,15	0,60	-0,15	ns
Soja PD	0,72*	0,46	-6,79	0,64	-0,19	ns
Ervilhaca PC	0,64*	0,35	1,65	1,13	0,05	ns
Ervilhaca PD	0,57*	0,28	-0,40	1,24	-0,01	ns
Milho/Sorgo PC	0,45*	-0,03	-6,26	2,08	-0,43	ns
Milho/Sorgo PD	0,68*	0,36	8,63	1,73	0,64	ns

PC – preparo convencional; PD – plantio direto; \* - indica significância a 5% entre os valores observados e simulados; ns – não significativo; s - significativo



**Figura 9.** Produção média anual de biomassa (parte aérea) simulada e observada  $\pm$  desvio padrão durante os 28 anos de preparo convencional e plantio direto. A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo); C – ervilhaca-milho (sorgo) -trigo-soja.

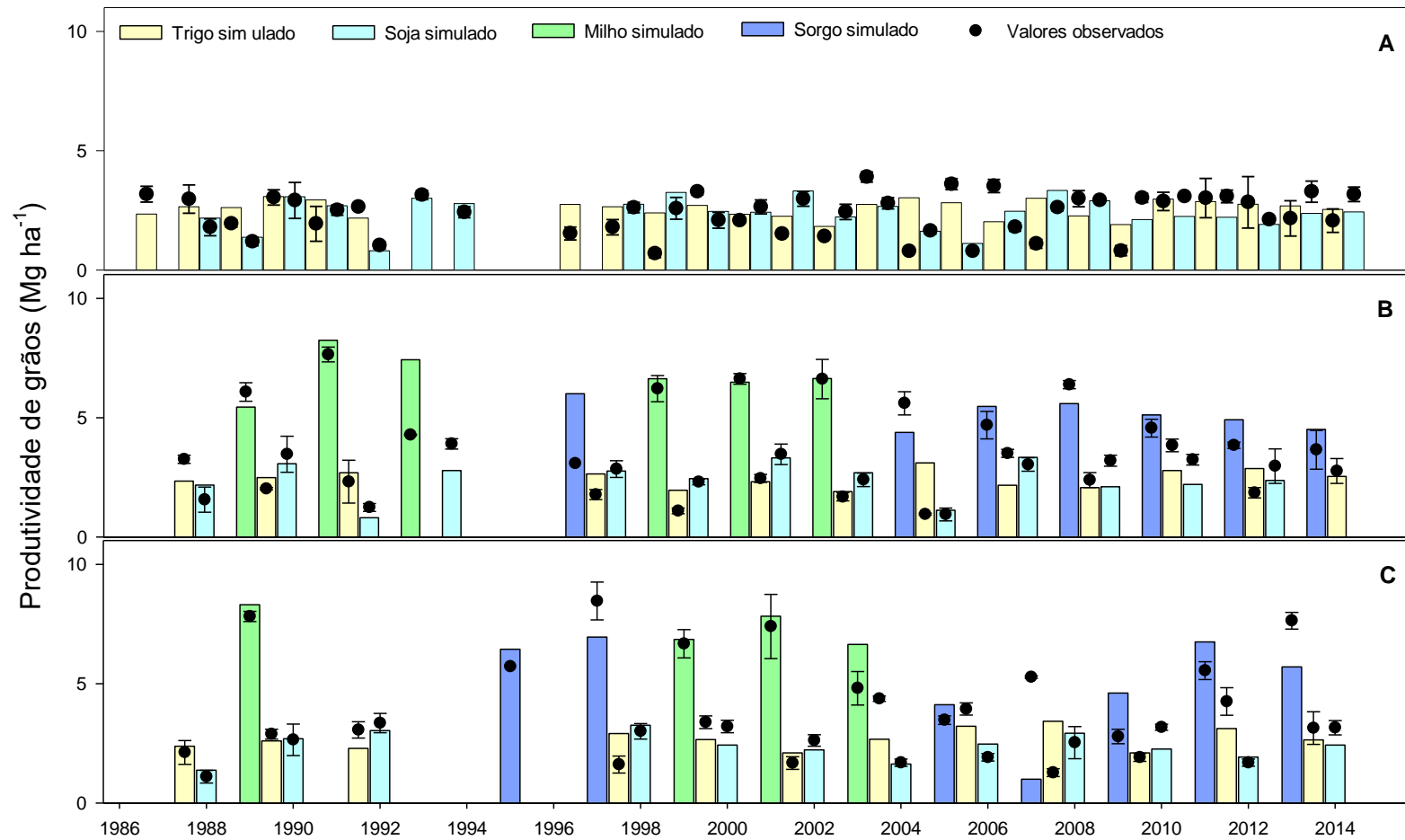
A comparação entre os dados simulados e observados foi significativa e altos valores de eficiência de modelagem obtidos comprovam a concordância entre a produção média de biomassa observada e simulada. O RMSE indicou baixa diferença entre os valores observados e simulados. O modelo superestimou em 0,31% e subestimou em 9,92% a produção de biomassa no preparo convencional e plantio direto, respectivamente (Tabela 7), mas sem viés significativo.

**Tabela 7.** Análise estatística das simulações da produção média anual de biomassa considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t.

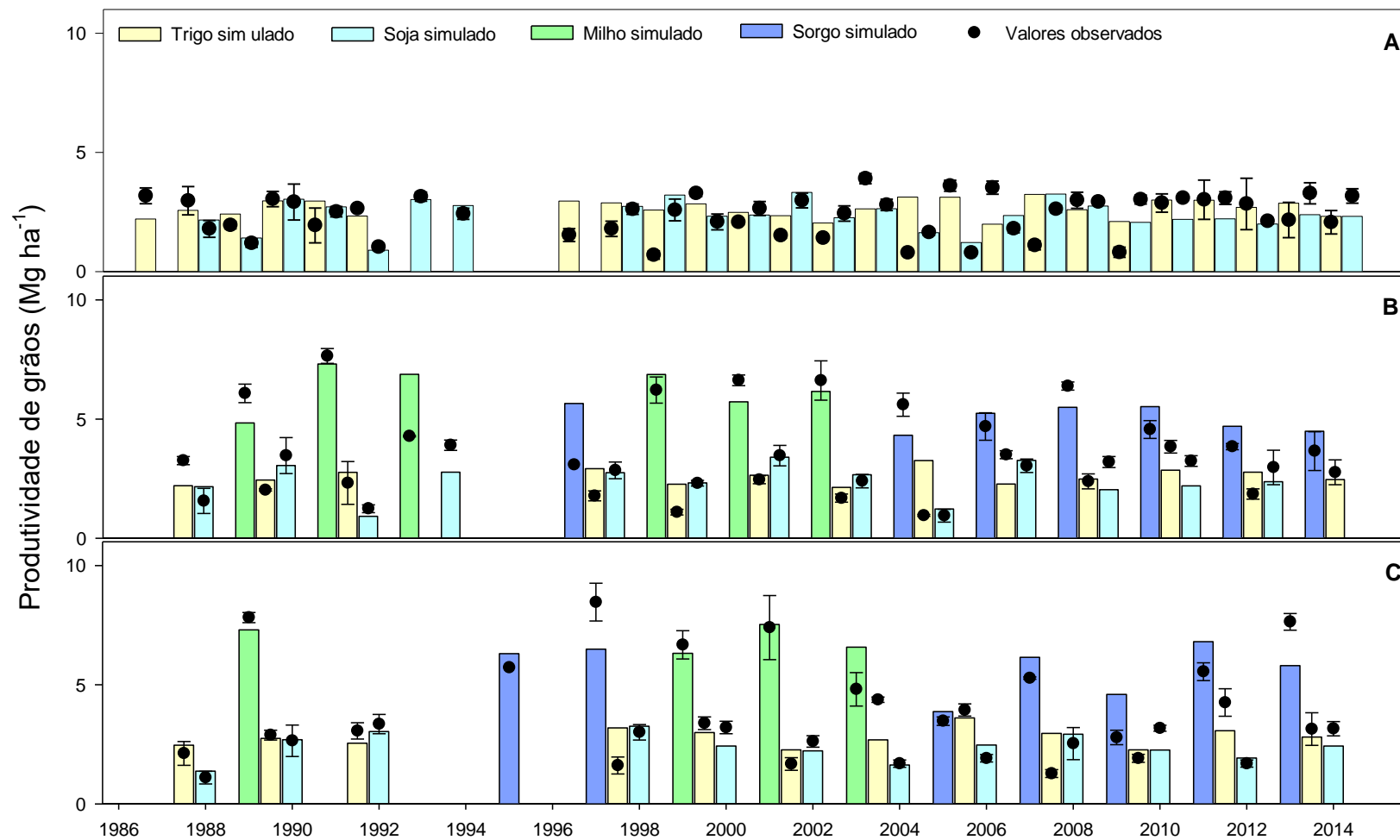
Variável	r	EM	ER	RMSE	M	teste t 5%
		--- % ---		--- Mg ha <sup>-1</sup> ---		
Biomassa PC	0,97*	0,93	-0,21	0,49	-0,01	ns
Biomassa PD	0,97*	0,93	10,22	0,93	0,54	s

PC – preparo convencional; PD – plantio direto; \* - indica significância a 5% entre os valores observados e simulados; ns – não significativo; s - significativo

Os valores de rendimento de grãos apresentaram variação semelhante aos da produção de biomassa, e diferenças pontuais foram observadas na comparação ano a ano (Figuras 10 e 11). As diferenças observadas ano a ano podem ser atribuídas aos mesmos fatores ligados a produção de matéria seca discutidos anteriormente. Hartman et al. (2011), por exemplo, observaram baixos valores de coeficientes de correlação na produtividade do trigo devido à relativa inabilidade do modelo em simular as mudanças ano a ano associadas a clima, doenças e danos provocados por granizo. Campbell et al. (2014), ao verificar coeficientes de correlação relativamente baixos para a produção de grãos de milho, destacam que eventos que afetam o florescimento e enchimento de grãos, por exemplo, não são plenamente contemplados pelo DayCent. Apesar de alguns estudos reportarem certas dificuldade na simulação da produção de planta, Stehfest et al. (2007) demonstraram que o DayCent é capaz de reproduzir os principais efeitos de clima, solo e manejo na produção de planta em nível global.



**Figura 10.** Produção anual de grãos simulada e observada  $\pm$  desvio padrão durante os 28 anos de preparo convencional. A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo); C – ervilhaca-milho (sorgo) -trigo-soja.



**Figura 11.** Produção anual de grãos simulada e observada  $\pm$  desvio padrão durante os 28 anos de plantio direto. A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo); C – ervilhaca-milho (sorgo) -trigo-soja.

A produtividade de grãos simulada foi significativamente associada aos dados observados para a cultura da soja e do milho/sorgo. Valores positivos de eficiência de modelagem indicaram que os valores simulados descreveram a tendência da produtividade de grãos melhor do que a média das observações. Apesar de leves desvios nas estimativas, não existiu viés significativo nas simulações (Tabela 8).

**Tabela 8.** Análise estatística das simulações de produtividade de grãos considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t.

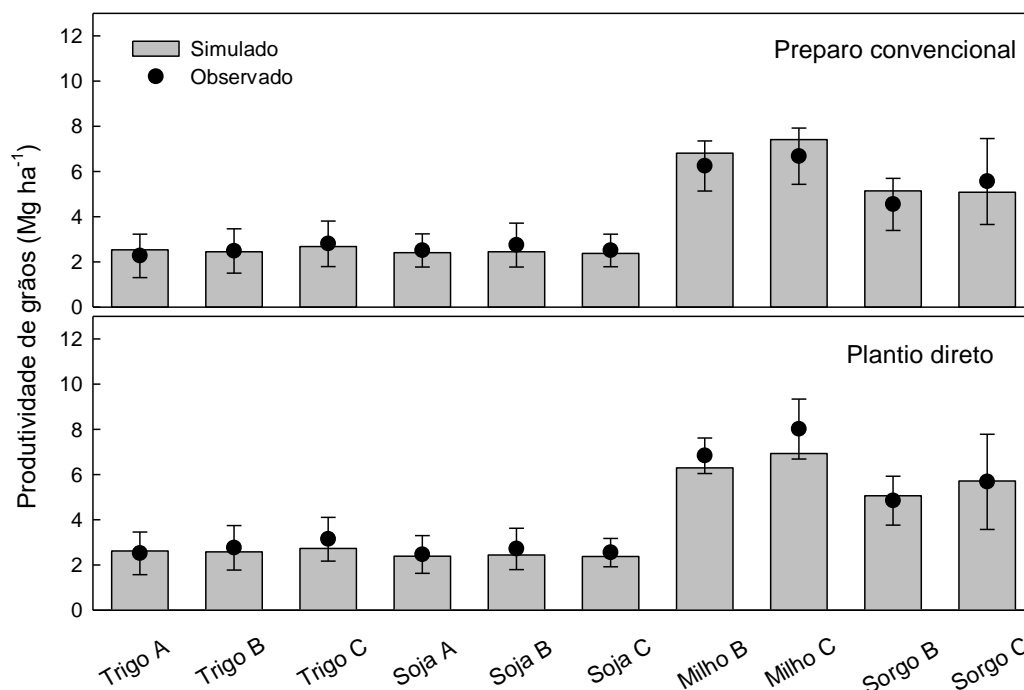
Variável	r	EM	ER	RMSE	M	Teste t (5%)
		--- % ---		--- Mg ha <sup>-1</sup> ---		
Trigo PC	0,19	-0,02	-4,78	0,97	-0,12	ns
Trigo PD	0,08	-0,09	2,41	1,00	0,07	ns
Soja PC	0,75*	0,51	6,00	0,54	0,15	ns
Soja PD	0,69*	0,44	5,64	0,58	0,14	ns
Milho/Sorgo PC	0,52*	0,01	-5,50	1,56	1,56	ns
Milho/Sorgo PD	0,67*	0,41	3,92	1,37	0,24	ns

PC – preparo convencional; PD – plantio direto; \* - indica significância a 5% entre os valores observados e simulados; ns – não significativo; s - significativo

O modelo simulou satisfatoriamente a produtividade média de grãos dos 28 anos de experimento e a produtividade simulada de todas as espécies situou-se no intervalo de desvio padrão dos dados observados (Figura 12). Altos coeficientes de correlação e valores de eficiência de modelagem foram observados entre os valores simulados e observados, indicando que o modelo simulou adequadamente a produtividade média de grãos ao longo do experimento. A produtividade média de grãos foi superestimada em 2,17% e subestimada em 6,09% no preparo convencional e plantio direto, respectivamente, mas não existiu viés significativo nas simulações (Tabela 8).

A produção de biomassa e a produtividade de grãos média nos 28 anos foi levemente superestimada no preparo convencional e subestimada no plantio direto, apesar de não existir viés significativo (Tabelas 7 e 9). Em vista da grande semelhança das propriedades de solo nos dois sistemas de preparo de

solo, é possível inferir que o modelo não contemplou todas as características que tornam o plantio direto mais produtivo na média dos 28 anos comparado ao preparo convencional.



**Figura 12.** Produtividade média de grãos simulada e observadas  $\pm$  desvio padrão durante os 28 anos de experimento em preparo convencional e plantio direto. A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-milho (sorgo); C – ervilhaca-milho (sorgo) -trigo-soja.

**Tabela 9.** Análise estatística das simulações de produtividade média de grãos considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t.

Variável	r	EM	ER	RMSE	M	teste t (5%)
		--- % ---		--- Mg ha <sup>-1</sup> ---		
Grãos PC	0,98*	0,94	-2,85	0,41	-0,11	ns
Grãos PD	0,99*	0,95	5,67	0,43	0,24	ns

PC – preparo convencional; PD – plantio direto; \* - indica significância a 5% entre os valores observados e simulados; ns – não significativo; s - significativo



#### 4.1.4. Água no solo

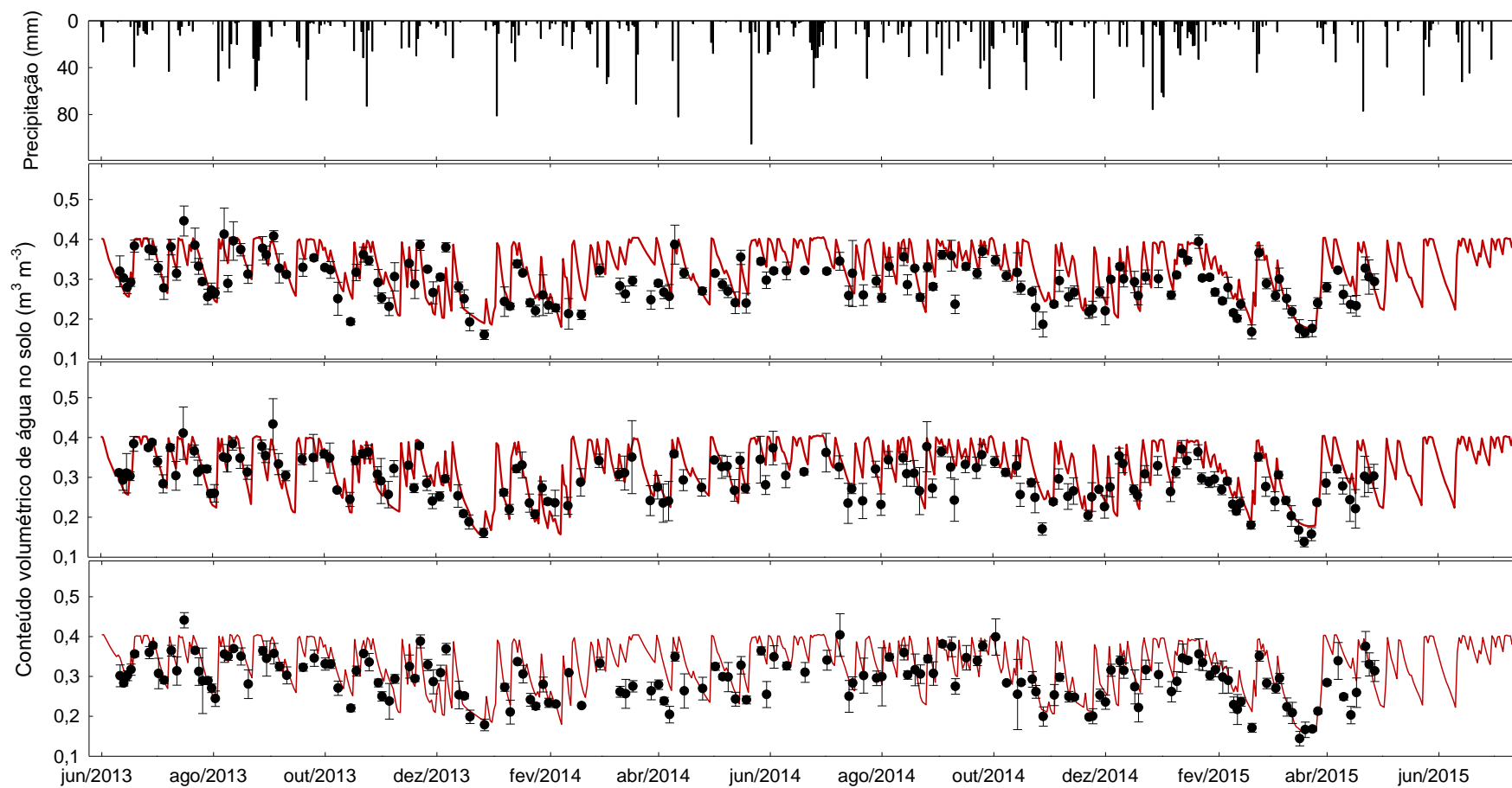
O desempenho do DayCent foi semelhante em todos os tratamentos, simulando adequadamente as variações e trajetórias do conteúdo de água no solo (Figuras 13 e 14). Limitações intrínsecas da representação do ciclo hidrológico pelo modelo, como topografia do terreno e os fluxos laterais de água no solo, podem ser responsáveis por algumas divergências (Del Grosso et al., 2011).

Independente do sistema de culturas e de preparo do solo, os conteúdos volumétricos de água no solo simulado e observado foram positivamente e significativamente correlacionados. Valores positivos de eficiência de modelagem indicaram que o conteúdo de água no solo simulado representa melhor a dinâmica da água no solo do que a média das observações. O ER, RSME e M foram baixos, indicando pequenas diferenças entre o conteúdo de água no solo simulado e observado. Não existiu viés significativo nas simulações (Tabela 10).

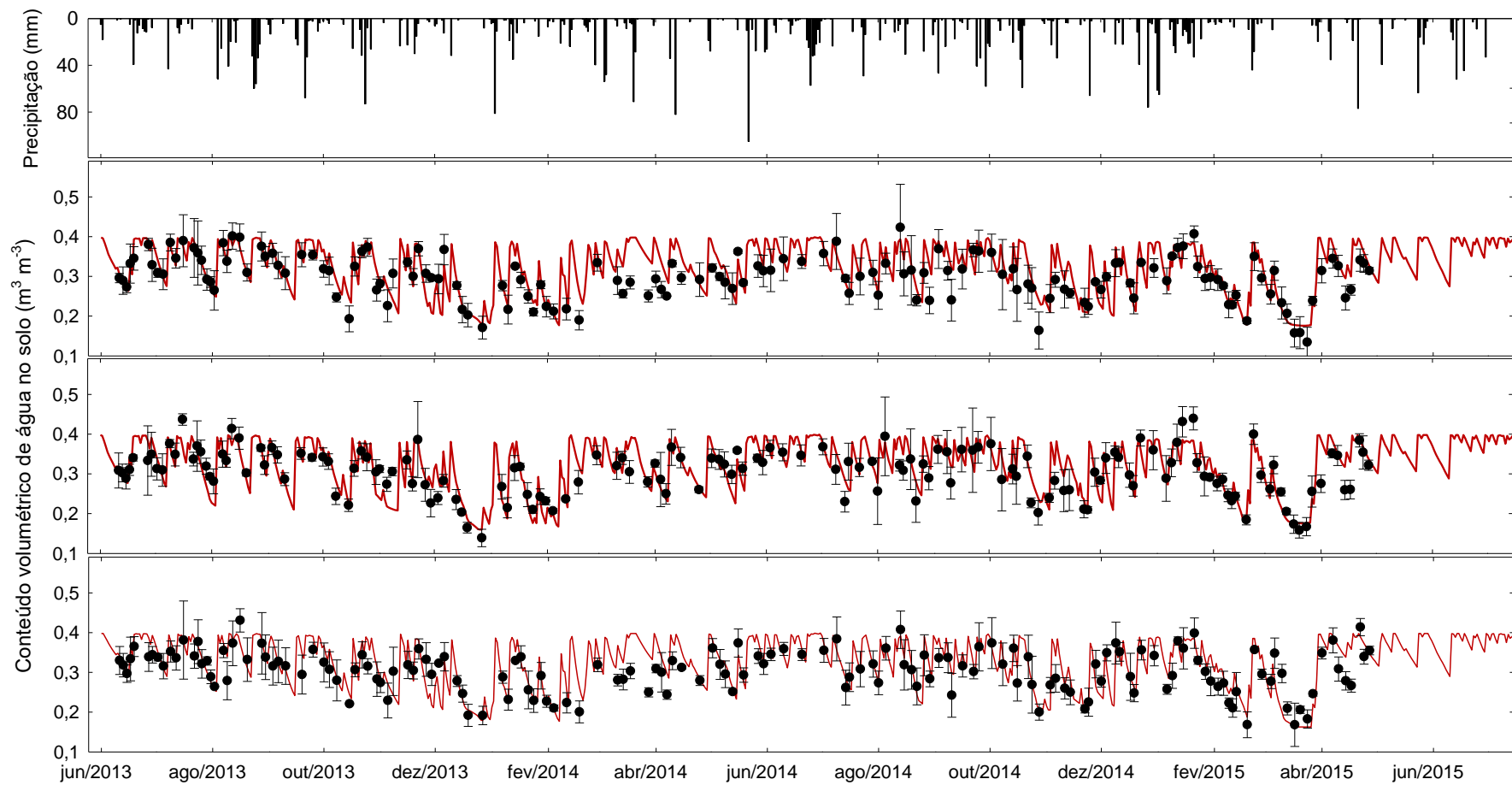
**Tabela 10.** Análise estatística das simulações do conteúdo de água volumétrica no solo considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t.

Variável	r	EM	ER	RMSE	M	teste t (5%)
		--- % ---		--- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ---		
PC A	0,82*	0,40	-8,48	0,04	-0,02	ns
PC B	0,84*	0,54	-5,93	0,04	-0,02	ns
PC C	0,81*	0,38	-8,29	0,04	-0,02	ns
PD A	0,81*	0,57	-4,95	0,04	-0,01	ns
PD B	0,81*	0,59	-2,49	0,04	-0,01	ns
PD C	0,82*	0,52	-4,48	0,04	-0,01	ns

PC – preparo convencional; PD – plantio direto; A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja; \* - indica significância a 5% entre os valores observados e simulados; ns – não significativo; s – significativo.



**Figura 13.** Precipitação e conteúdo de água volumétrico no solo simulado e observado durante o período de avaliação em preparo convencional. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja.



**Figura 14.** Precipitação e conteúdo de água volumétrico no solo simulado e observado durante o período de avaliação em plantio direto. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja.

O DayCent apresentou bom desempenho na simulação do conteúdo de água no solo ( $r^2$  médio = 0,65), semelhante ao reportado por outros autores (Parton et al., 1998; Parton et al., 2001; Rafique et al., 2013). Alguns estudos apontam para algumas dificuldades do modelo na representação do conteúdo de água no solo sob condições específicas, como períodos secos (Jarecki et al., 2008; Scheer et al., 2014) ou com distribuição irregular da neve sobre o solo (Parton et al., 2001). No presente trabalho, não existiram condições limitantes ao funcionamento do submodelo de água no solo e a maior parte dos valores simulados situou-se dentro do desvio padrão das observações.

O ajuste adequado do conteúdo de água no solo é essencial para o bom funcionamento do modelo, pois determina, dentre outros processos, as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo. Em estudos conduzidos anteriormente com o modelo Century (Fernandes, 2002; Weber, 2010), parâmetros fixos foram alterados com o objetivo de melhorar a representação da dinâmica do C no solo ao mesmo tempo que não foi possível avaliar o desempenho do modelo na simulação da dinâmica da água no solo. Neste contexto, é possível pressupor que uma melhoria no ajuste da dinâmica da água no solo pode suprimir as alterações nos parâmetros fixos do modelo.

#### **4.1.5. Fluxos de CO<sub>2</sub>**

O modelo DayCent simulou razoavelmente os fluxos de CO<sub>2</sub>, superestimando os fluxos em diversos períodos do ano (Figuras 15 e 16), especialmente após eventos de preparo de solo (preparo convencional) e colheita. Em ambos os eventos eram esperados aumentos nos fluxos de CO<sub>2</sub>, mas que não foram observados nas determinações de campo.

Pes et al. (2011) observaram que, em Latossolos, o preparo de solo não incrementa os fluxos de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. De acordo com os autores, os maiores fluxos observados após o preparo convencional são determinados primariamente pela decomposição dos resíduos culturais, estimulada pelo maior contato solo-resíduo. No presente estudo, o preparo de solo é realizado até dois meses após a colheita das culturas de verão, quando os resíduos já estão parcialmente decompostos, determinando baixos fluxos de CO<sub>2</sub>. Além disso, no presente experimento, o preparo de solo é realizado em meses frios (maio-

junho), que podem reduzir a produção de CO<sub>2</sub> devido à baixa atividade microbiana. Outros estudos na região também observaram menores fluxos de CO<sub>2</sub> no inverno (Chavez et al., 2009; Campos et al., 2011b).

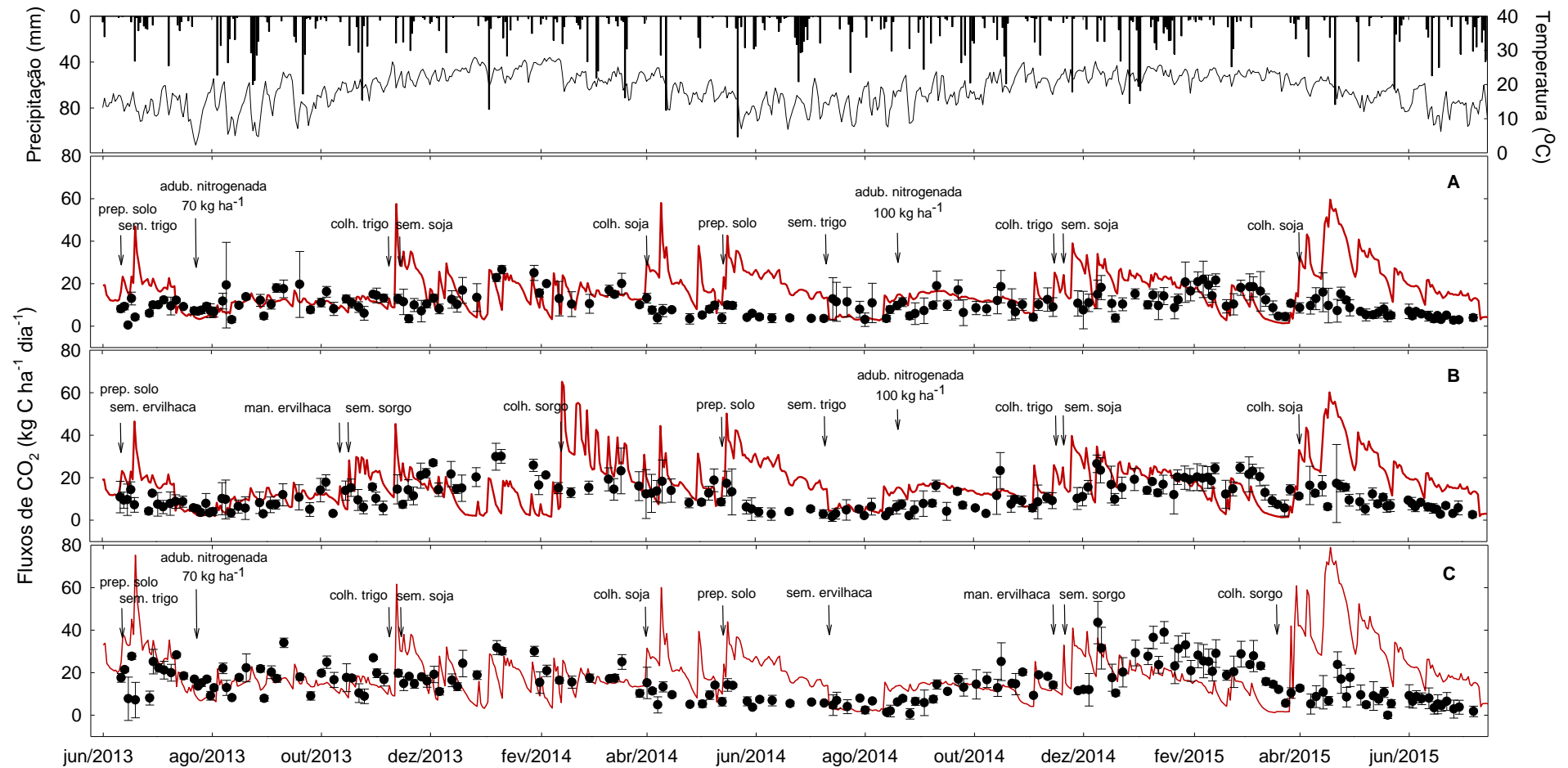
Os dados observados mostraram incrementos nos fluxos de CO<sub>2</sub> após a colheita das espécies, enquanto o modelo indicou altas emissões de CO<sub>2</sub>. O submodelo de decomposição assume que a decomposição é controlada pela quantidade de substrato disponível, ou seja, eventuais superestimativas da produção de biomassa resultam em maiores fluxos de CO<sub>2</sub> após o manejo e colheita das espécies. A discrepância entre os dados observados e simulados é comum em modelos desenvolvidos para aplicações regionais, que demandam equações simples para a representação de processos como a decomposição (Del Grosso et al., 2005b). No momento da escrita do presente trabalho ainda não se dispunha dos dados de produtividade dos anos de 2014 e 2015, o que impede algumas comparações.

As emissões de CO<sub>2</sub> foram superestimadas pelo modelo, especialmente após o preparo de solo e colheita das culturas em todos os tratamentos. A superestimativa média dos fluxos variou de 3,50 a 6,55 kg C ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no PD 2 e PC 1, respectivamente. Apesar do fraco desempenho do modelo nas simulações diárias, não existiu viés significativo nas simulações (Tabela 11).

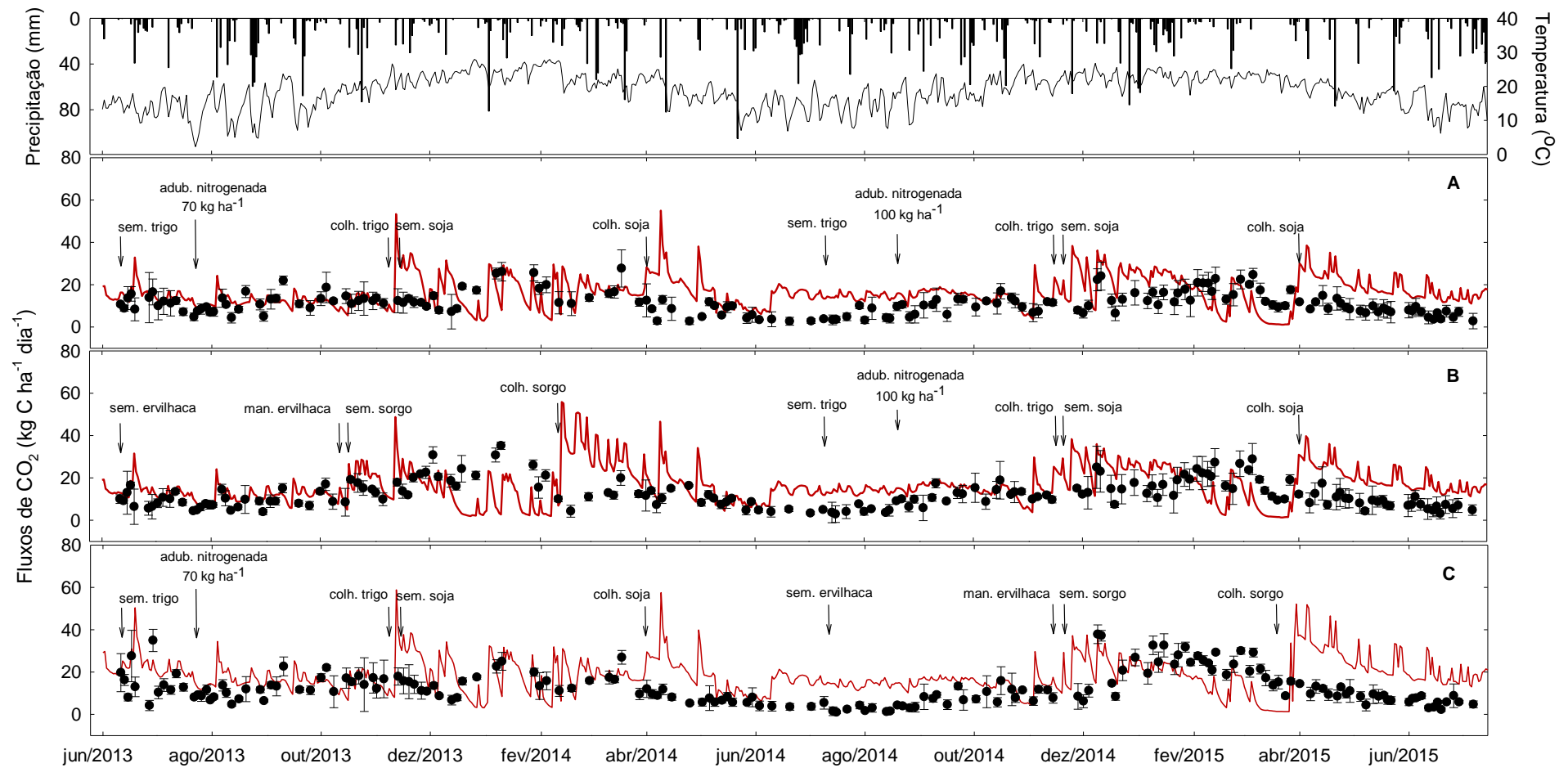
**Tabela 11.** Análise estatística das simulações dos fluxos de CO<sub>2</sub> considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t.

Variável	r	EM	ER	RMSE	M	teste t 5%
		--- % ---		--- kg C ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ---		
PC A	-0,09	-5,87	-64,11	13,31	-6,61	ns
PC B	0,13	-3,06	-48,64	12,87	-5,56	ns
PC C	-0,03	-2,73	-31,78	16,33	-4,77	ns
PD A	0,05	-2,43	-41,65	9,82	-4,69	ns
PD B	0,06	-1,62	-28,73	10,28	-3,50	ns
PD C	0,14	-1,26	-43,59	11,78	-5,49	ns

PC – preparo convencional; PD – plantio direto; A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja; \* - indica significância a 5% entre os valores observados e simulados; ns – não significativo; s – significativo.



**Figura 15.** Fluxos de CO<sub>2</sub> simulados e medidos  $\pm$  desvio padrão durante o período de avaliação nos sistemas de culturas em preparo convencional. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja.



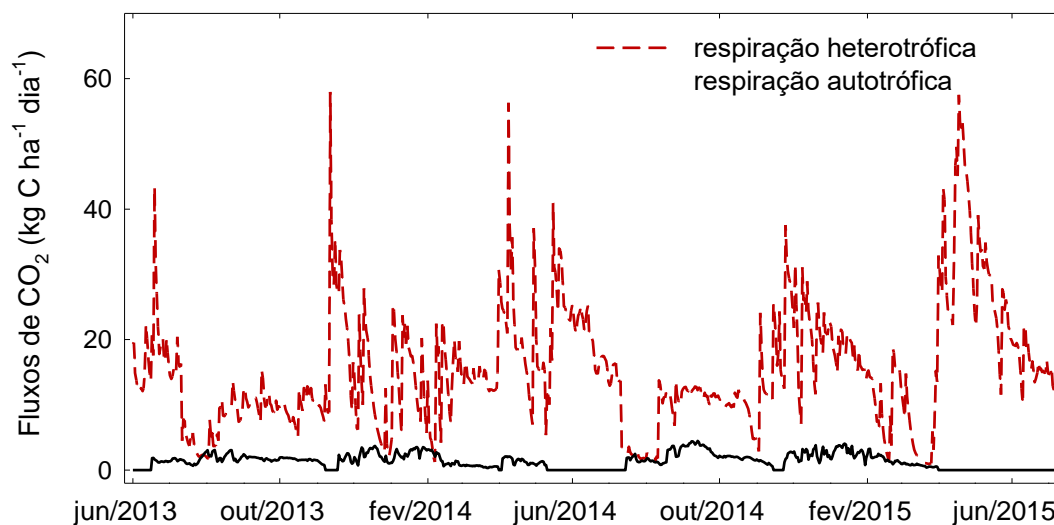
**Figura 16.** Fluxos de CO<sub>2</sub> simulados e medidos  $\pm$  desvio padrão durante o período de avaliação nos sistemas de culturas em plantio direto. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja.

O DayCent subestimou os fluxos de CO<sub>2</sub> entre dezembro de 2013 e fevereiro de 2014, especialmente nas parcelas cultivadas com sorgo (Figuras 15 e 16). Inicialmente, os fluxos de CO<sub>2</sub> simulados reduziram em todos os tratamentos devido a curta estiagem no final de 2013. Mesmo após o reestabelecimento de condições ideais para a respiração heterotrófica, o modelo subestimou os fluxos de CO<sub>2</sub> nas parcelas cultivadas com sorgo, sugerindo que as diferenças entre o simulado e observado se devem à respiração autotrófica (respiração de raízes). As raízes podem contribuir de forma significativa com as emissões de CO<sub>2</sub> do solo (Hanson et al., 2000; Kuzyakov & Larionova, 2005). Contudo, no presente estudo não foi possível identificar a fonte das emissões de CO<sub>2</sub> nas medições de campo e é possível que a respiração autotrófica tenha sido subestimada.

Inicialmente, acreditava-se que a calibração da respiração autotrófica em novas versões do modelo pudesse melhorar o desempenho das simulações dos fluxos de CO<sub>2</sub>, conforme sugerido por Schenato (2013). No entanto, no presente trabalho, optou-se por não realizar alterações nos parâmetros que controlam a respiração autotrófica por 3 motivos: 1) os fluxos de CO<sub>2</sub> foram determinados majoritariamente pela respiração heterotrófica (Figura 17) e alterações na respiração autotrófica não resultariam em melhoria do desempenho do modelo; 2) as medições de campo não permitem identificar as fontes de emissão de CO<sub>2</sub> nem quantificar qual a real contribuição da respiração heterotrófica nos fluxos de CO<sub>2</sub> determinados; 3) existe ainda relativa incerteza quanto contribuição de cada um dos processos nas emissões totais de CO<sub>2</sub> (Kuzyakov, 2006).

Entre junho e agosto de 2014, o DayCent superestimou os fluxos de CO<sub>2</sub> em todos os tratamentos, em um período de alta intensidade de chuvas que inclusive atrasaram o plantio do trigo. A superestimativa dos fluxos de CO<sub>2</sub> resultou da superestimativa do conteúdo de água no solo, pois o modelo assume que as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo incrementam quando a precipitação excede a evapotranspiração (Parton et al., 1987).





**Figura 17.** Fluxos de CO<sub>2</sub> oriundos da respiração heterotrófica e autotrófica simulados pelo DayCent no sistema trigo-soja em preparo convencional.

#### 4.1.6. Fluxos de N<sub>2</sub>O

O DayCent simulou razoavelmente bem a dinâmica das emissões de N<sub>2</sub>O ao longo do período de avaliação (Figuras 18 e 19). Eventualmente, o modelo simulou aumentos nos fluxos de N<sub>2</sub>O que não foram observados nas avaliações de campo. Da mesma forma, o DayCent não simulou todos os picos de emissão observados ao longo das avaliações. Diferenças pontuais na simulação dos fluxos de N<sub>2</sub>O são reportadas em diversos trabalhos (Del Grosso et al., 2001; Parton et al., 2001; Del Grosso et al., 2002) e são atribuídas principalmente à incorreta simulação do conteúdo de água no solo.

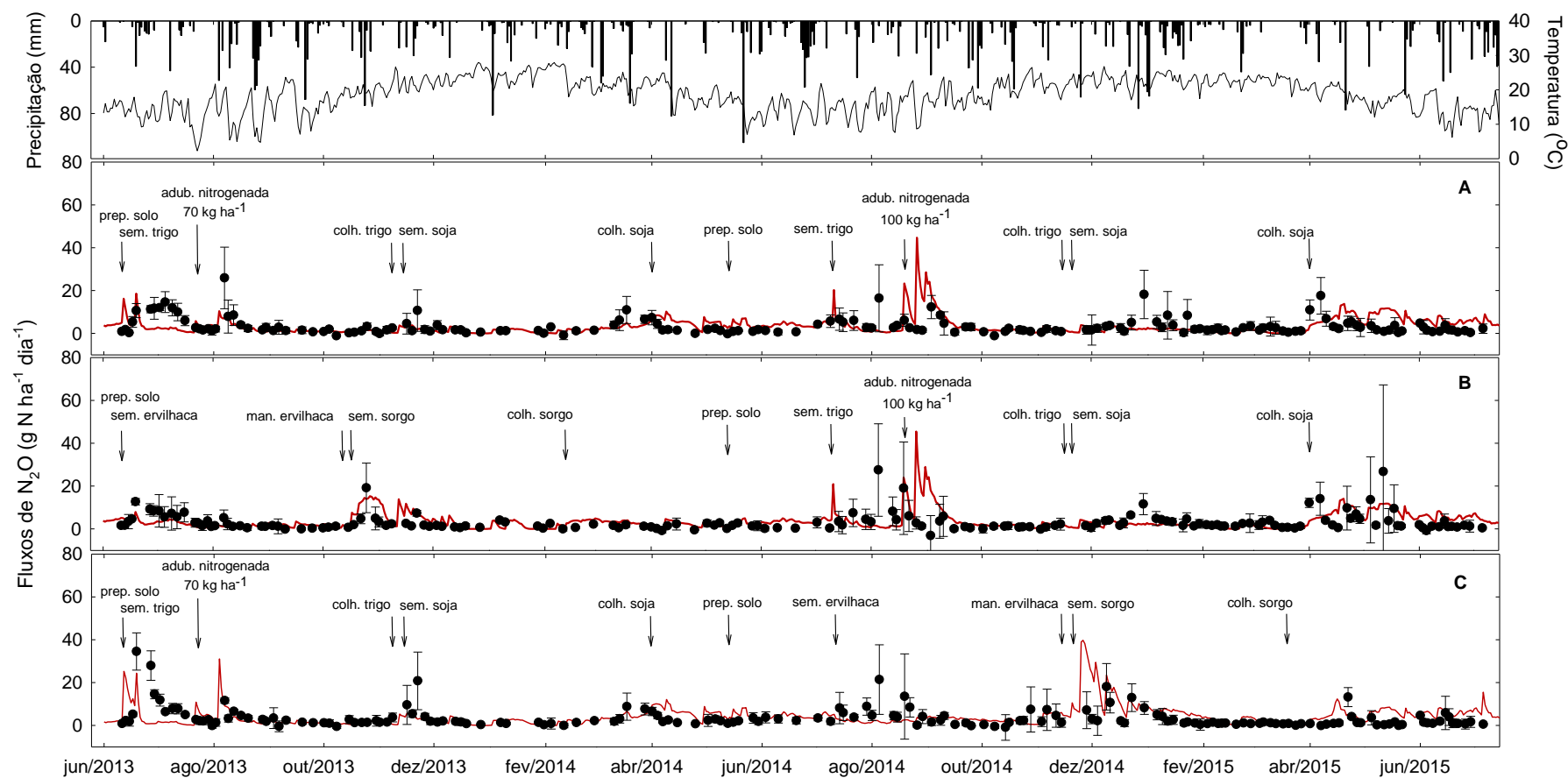
Os fluxos diários de N<sub>2</sub>O simulados e observados apresentaram coeficientes de correlação significativos, mas os valores de r<sup>2</sup> observados foram baixos. A raiz quadrada do erro médio, que representa a diferença média entre os dados simulados e observados, foi de aproximadamente 5,85 no plantio direto e 4,60 g N ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> no preparo convencional. Não existiu viés significativo nas simulações (Tabela 12).

**Tabela 12.** Análise estatística das simulações dos fluxos de N<sub>2</sub>O considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t.

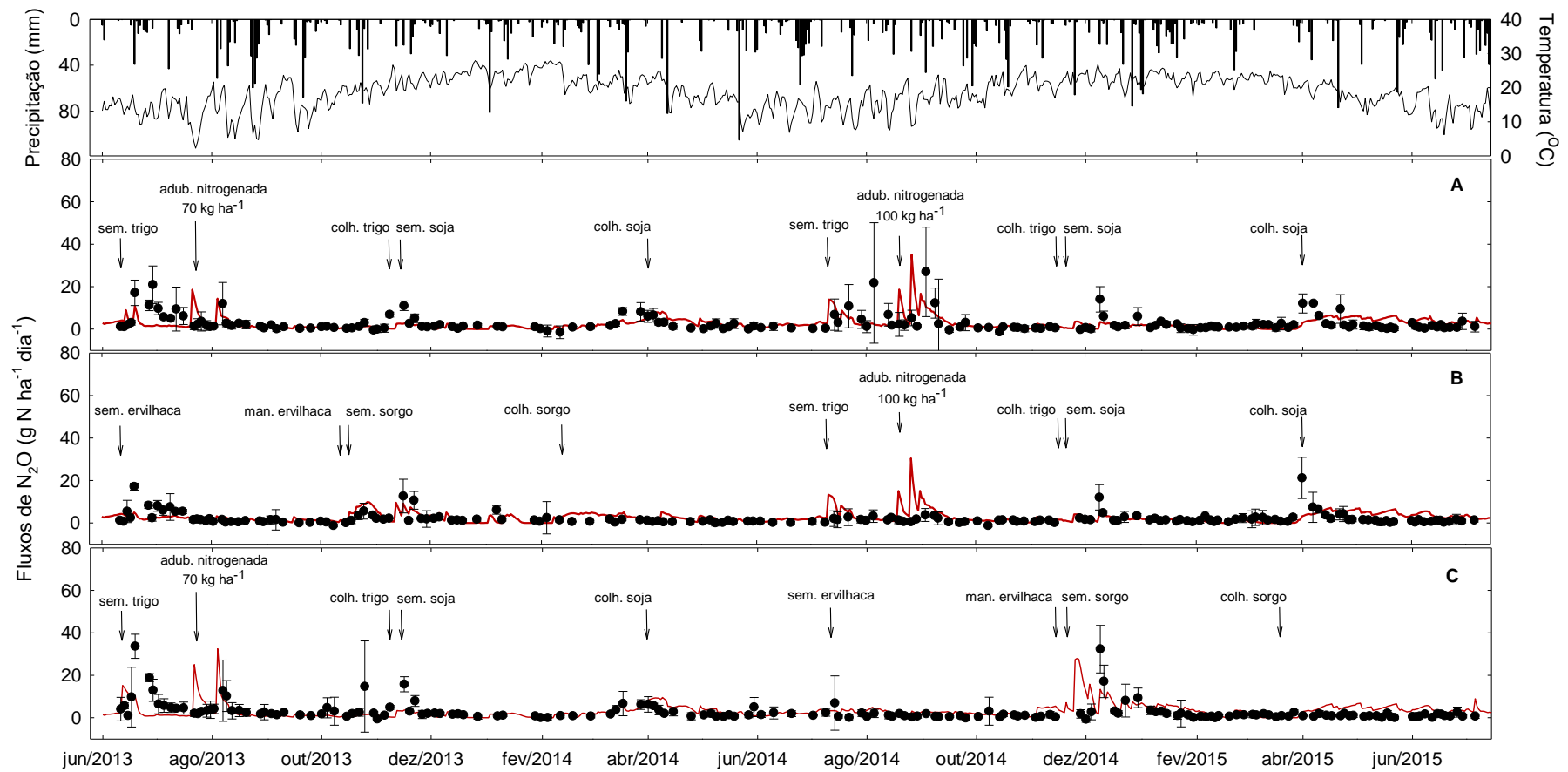
Variável	r	EM	ER	RMSE	M	teste t (5%)
		--- % ---		--- g N ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ---		
PC A	0,14	-1,21	-18,37	5,80	-0,61	ns
PC B	0,27*	-0,81	-30,44	5,64	-0,94	ns
PC C	0,27*	-0,62	-34,34	6,08	-1,19	ns
PD A	0,10	-0,67	-5,37	5,37	-0,83	ns
PD B	0,17*	-0,99	-41,02	3,92	-0,84	ns
PD C	0,27*	-0,26	-28,81	5,09	-0,81	ns

PC – preparo convencional; PD – plantio direto; A – trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja; \* - indica significância a 5% entre os valores observados e simulados; ns – não significativo; s – significativo.

O desempenho de modelos biogeoquímicos na simulação de fluxos de N<sub>2</sub>O para a atmosfera tem sido avaliado por métodos estatísticos quantitativos na maior parte dos estudos e alguns aspectos devem ser levados em conta nestas comparações. Eventuais “desencontros” entre os picos de emissão observados e simulados, ou seja, quando o modelo indica um aumento na emissão de N<sub>2</sub>O que é observado alguns dias após nas avaliações de campo, reduzem o desempenho estatístico do modelo. Parton et al. (2001), por exemplo, verificaram coeficientes de determinação ( $r^2$ ) variando de 0,00 a 0,19 ao avaliar os fluxos diários de N<sub>2</sub>O em cinco pastagens do Colorado. Quando a avaliação foi realizada com base nos fluxos mensais, em que estas inconsistências diárias tem a importância reduzida, os coeficientes de determinação melhoraram consideravelmente, situando-se entre 0,18 e 0,64.



**Figura 18.** Fluxos de  $N_2O$  simulados e observados  $\pm$  desvio padrão durante o período de avaliação nos sistemas de culturas em preparo convencional. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja.



**Figura 19.** Fluxos de  $N_2O$  simulados e observados  $\pm$  desvio padrão durante o período de avaliação nos sistemas de culturas em plantio direto. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja.

Outro ponto a considerar é que a versão do DayCent utilizada não simula o influxo e a redução do  $N_2O$  para  $N_2$  no solo. Assim, em áreas com predomínio de influxos de  $N_2O$ , as emissões cumulativas simuladas e observadas podem diferir substancialmente (Fitton et al., 2014). Embora o processo de redução de  $N_2O$  para  $N_2$  seja experimentalmente observado em outros estudos (Frolking et al., 1998; Campbell et al., 2014; Plaza-Bonilla et al., 2014; Bayer et al., 2015) e também no presente trabalho, não há consenso científico acerca da importância deste fenômeno (Chapuis-Lardy et al., 2007; Schlesinger, 2013).

O DayCent subestimou os fluxos de  $N_2O$  no início das avaliações, após o preparo de solo (preparo convencional) e semeadura do trigo (Figuras 18 e 19). A subestimativa dos fluxos de  $N_2O$  possivelmente se deva à subestimativa da nitrificação no solo, um dos parâmetros mais sensíveis do modelo na simulação dos fluxos de  $N_2O$  (Rafique et al., 2013). Um aspecto que reforça a possibilidade de subestimativa das emissões via nitrificação é o fato de que a PPA neste período situou-se entre 50 e 75%. Bateman & Baggs (2005) sugerem contribuição máxima da nitrificação para as emissões de  $N_2O$  quando a PPA situa-se entre 55 e 65%.

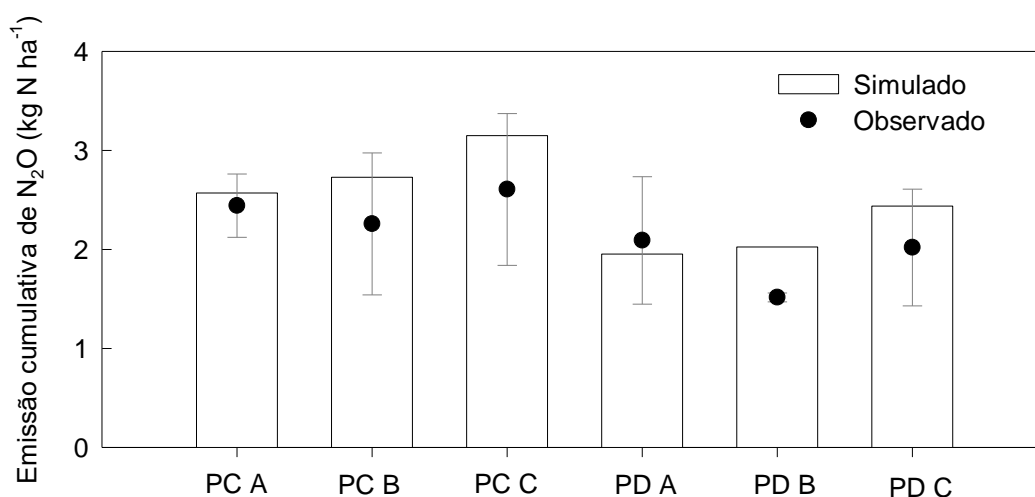
Jantalia et al. (2008) também observaram incremento nos fluxos de  $N_2O$  após a semeadura das espécies, tanto em preparo convencional quanto em plantio direto, devido a um incremento na mineralização do N do solo. Os maiores fluxos de  $N_2O$  foram observados em período com PPA abaixo de 60%, sugerindo que os fluxos foram oriundos majoritariamente da nitrificação.

As maiores emissões de  $N_2O$  ao longo dos dois anos de avaliação, observadas nos dados de campo e simuladas, podem ser atribuídas ao processo de desnitrificação. A combinação de alta PPA, disponibilidade de N e C em determinados períodos favorecem o aumento nas emissões de  $N_2O$  via desnitrificação (Dobbie & Smith, 2003; Bateman & Baggs, 2005; Rochette et al., 2010). O algoritmo do DayCent prediz a emissão de  $N_2O$  via desnitrificação de acordo com a disponibilidade de C e nitrato no solo, com fluxos incrementando exponencialmente com PPA entre 55 e 90% (Parton et al., 2001).

O DayCent indicou um pico de emissão de  $N_2O$  após a aplicação de  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  em setembro de 2014, quando não foram observados incrementos nos fluxos medidos (Figuras 18 e 19). Embora fossem esperados maiores fluxos

neste período, outros estudos também não observaram incremento nas emissões de  $N_2O$  após a fertilização nitrogenada (Dobbie & Smith, 2003; Beheydt et al., 2008; Jantalia et al., 2008; Scheer et al., 2014). Especialmente após a fertilização nitrogenada, outras formas de N, como  $N_2$ , podem ser perdidas e não ser corretamente reproduzidas pelo modelo. O DayCent possui limitações no ajuste do parâmetro  $N_2N_2O_{adjust}$ , ou seja, na relação  $N_2:N_2O$  emitido durante a desnitrificação. Scheer et al. (2014) indicam que o DayCent possui um limite máximo de 23 para a relação  $N_2:N_2O$ , enquanto Weier et al. (1993) demonstraram que sob certas condições de solo (alto PPA e C disponível) esta relação pode ser maior que 400.

O DayCent simulou adequadamente as emissões cumulativas de  $N_2O$  nos sistemas de preparo de solo e sistemas de cultura (Figura 20). Do ponto de vista de utilização do modelo como uma ferramenta para auxiliar nas estimativas de emissão de  $N_2O$  dos sistemas agrícolas, a predição adequada dos fluxos cumulativos é ainda mais importante do que a predição dos fluxos diários. Outros estudos têm demonstrado a habilidade do modelo em simular emissões de  $N_2O$  anuais ou sazonais, mesmo que não represente fielmente os fluxos diários de  $N_2O$  (Parton et al., 2001; Del Grosso et al., 2002; Jarecki et al., 2008; Zhang et al., 2013).



**Figura 20.** Emissões cumulativas de  $N_2O$  simuladas e observadas  $\pm$  desvio padrão em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) durante dois anos de avaliação. A – trigo-soja-trigo-soja; B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo; C – ervilhaca-sorgo-trigo-soja.

O DayCent foi sensível ao método de preparo de solo e indicou maiores emissões cumulativas de  $N_2O$  no preparo convencional (Figura 20). Jantalia et al. (2008) estudando os mesmos sistemas de culturas e local, também observaram emissões cumulativas levemente superiores no preparo convencional, embora não tenham diferido significativamente comparado ao plantio direto. Diferenças entre os sistemas de preparo de solo em relação aos fluxos de  $N_2O$  ainda estão em discussão na literatura, pois alguns estudos sugerem não existir diferenças entre os sistemas de preparo de solo (Menéndez et al., 2008; Bayer et al., 2015) e outros maiores emissões sob plantio direto (Oorts et al., 2007; Rochette et al., 2008) ou no preparo convencional (Liu et al., 2005; Gregorich et al., 2008). De acordo com Rochette (2008), as emissões de  $N_2O$  são maiores em plantio direto somente em solos pobremente aerados e/ou com problemas de drenagem. No presente estudo, as maiores emissões de  $N_2O$  simuladas no preparo convencional devem estar relacionadas a maior densidade nas camadas superficiais do solo comparativamente ao plantio direto.

As emissões cumulativas de  $N_2O$  foram similares entre os sistemas de cultura utilizados e as emissões cumulativas simuladas pelo modelo situaram-se no desvio padrão das observações (Figura 20). Jantalia et al. (2008) não observaram diferenças significativas entre os sistemas de cultura e entre anos avaliados. Os autores atribuíram isso aos baixos valores de PPA observados ao longo do ano, resultantes da boa drenagem dos Latossolos, que impedem a coincidência de eventos (alta PPA e alto nitrato) facilitadores a emissão de  $N_2O$ .

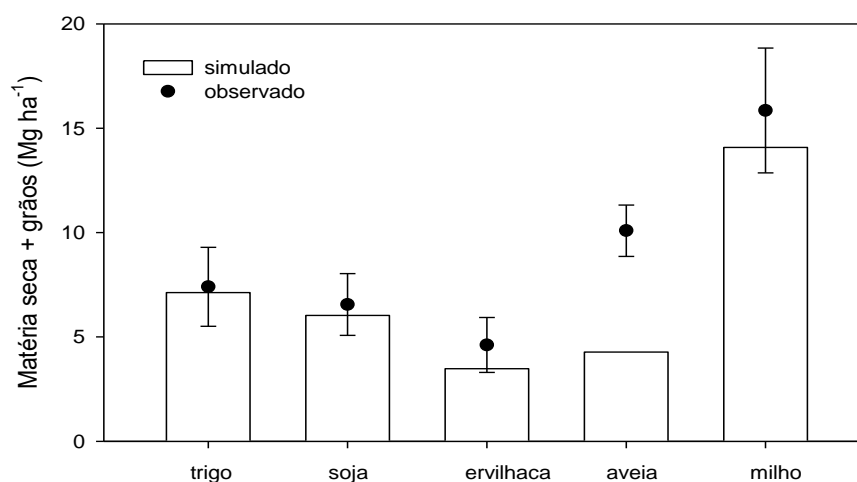
#### **4.2. Validação do modelo DayCent**

A versão calibrada do modelo foi aplicada em um experimento que vem sendo conduzido concomitantemente na Embrapa Trigo, no qual são incluídos os sistemas de culturas trigo/soja (VA); trigo/soja/ervilhaca/sorgo/aveia/soja (VB).

A produção de biomassa, os estoques de C e os fluxos de  $CO_2$  e  $N_2O$  simulados foram comparados com os dados observados no experimento. Esta é crucial para uma robusta extrapolação do modelo, por submetê-lo a uma condição de dados limitados, situação esta que seria usualmente encontrada em estudos de âmbito regional

#### 4.2.1. Produção de biomassa

A produção média de biomassa (matéria seca + grãos) foi bem representada pelo modelo, com exceção da aveia-branca (Figura 21). A cultura da aveia-branca não foi calibrada na etapa anterior e, por isso, utilizada com os parâmetros *default* na etapa de validação. Possivelmente o simples ajuste do PRDX da aveia-branca melhore a concordância entre os valores simulados e observados.



**Figura 21.** Produção média de biomassa (parte aérea + grãos) simulada e observada  $\pm$  desvio padrão entre 1993 e 2014 no Experimento 2 na etapa de validação.

A comparação entre a produção de biomassa das culturas observada e simulada indicou alto coeficiente de correlação e eficiência de modelagem positiva. O modelo subestimou a produção de biomassa em 21,39% (1,90 Mg ha<sup>-1</sup>) e não existiu viés significativo nas simulações (Tabela 13). A baixa concordância entre os valores simulados e observados para a aveia contribuiu para maior erro relativo. A menor quantidade de informações referentes ao experimento de validação, em comparação ao utilizado na calibração do modelo, prejudicou parcialmente o desempenho do modelo. Informações de datas de plantio, manejo de solo, fertilização e colheita são essenciais para simulação adequada da produtividade de planta.



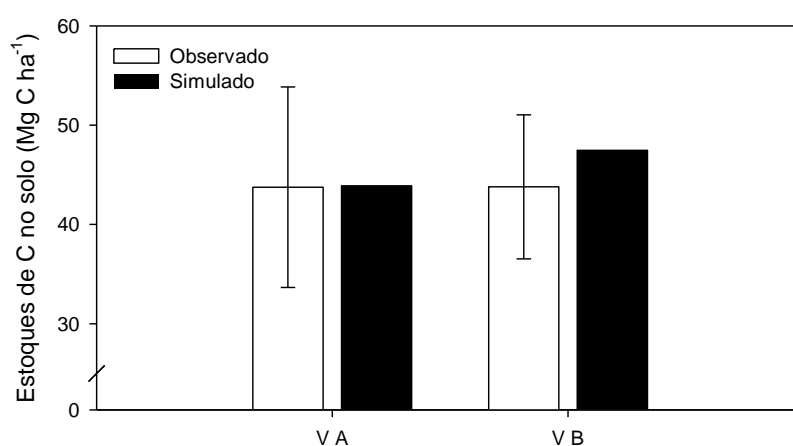
**Tabela 13.** Análise estatística da produção de biomassa (parte aérea + grãos) considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo, raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t.

Variável	r	EM	ER	RMSE	M	teste t (5%)
		--- % ---		--- Mg ha <sup>-1</sup> ---		
Biomassa	0,86	0,49	21,39	2,78	1,90	ns

\* - indica significância a 5% entre os valores observados e simulados; ns – não significativo; s - significativo

#### 4.2.2. Estoques de C no solo

Os estoques de C no experimento 2 não foram sistematicamente amostrados ao longo dos 35 anos de experimento. Em vista disto, não é possível analisar a dinâmica temporal dos estoques de C nestes sistemas nem quantificar estatisticamente o desempenho do modelo. De maneira geral, os estoques de C no solo simulados pelo DayCent situaram-se dentro do desvio padrão das observações e indicaram estoques de C levemente superiores no sistema 2 (Figura 22). Os estoques de C no solo, tanto observados quanto simulados, corroboram com os valores verificados em outros estudos conduzidos na região do Planalto do Rio Grande do Sul (Amado et al., 2006; Tornquist et al., 2009; Bortolon et al., 2011).



**Figura 22.** Estoques de C no solo simulado e observado  $\pm$  desvio padrão em dois sistemas de culturas do experimento 2 na etapa de validação do modelo. VA – trigo-soja; VB – trigo-soja-ervilhaca-sorgo-aveia-soja.

### 4.2.3. Fluxos de CO<sub>2</sub>

O DayCent simulou razoavelmente a dinâmica dos fluxos de CO<sub>2</sub> ao longo de 1,5 ano de avaliação. De maneira semelhante à etapa de calibração, algumas discrepâncias foram observadas entre os valores observados e simulados pelo modelo. Em geral, as principais diferenças foram observadas após a colheita das espécies, quando os fluxos indicados pelo modelo excederam grandemente os fluxos observados (Figura 23).

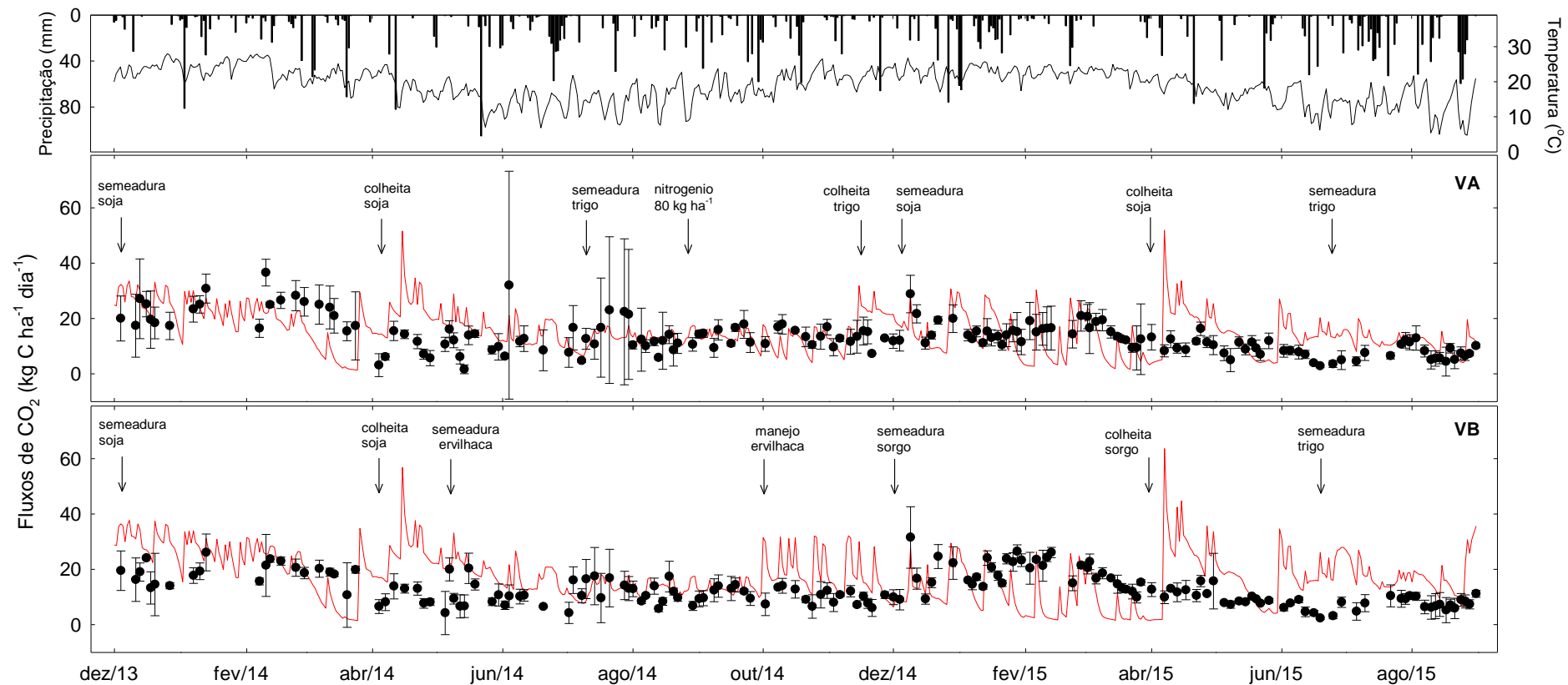
Os fluxos diários de CO<sub>2</sub> simulados foram fracamente correlacionados com os fluxos observados, apesar de significativo na rotação trigo/soja (A), e apresentaram eficiência de modelagem negativa. Os fluxos de CO<sub>2</sub> foram superestimados em 20,30% (1,93 kg C ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) no sistema VA e em 46,84% (4,32 kg C ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) no sistema VB, mas não existiu viés significativo nas simulações (Tabela 14).

A superestimativa dos fluxos de CO<sub>2</sub> pode estar relacionada a representação da dinâmica da água no solo. A umidade do solo na capacidade de campo do Experimento 2, obtida a partir da textura do solo, estimada por Saxton & Rawls (2006), foi consideravelmente maior do que a observada no Experimento 1 (0,469 vs. 0,370). Dada a semelhança entre os solos das duas áreas experimentais, não eram esperadas grandes diferenças em relação a esta propriedade do solo. A maior capacidade de campo estimada a partir das planilhas de Saxton & Rawls (2006) implicou diretamente em maior conteúdo de água no solo.

**Tabela 14.** Análise estatística das simulações dos fluxos de CO<sub>2</sub> considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem, erro relativo (ER), (EM) raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t.

Variável	r	EM	ER	RMSE	M	teste t (5%)
		--- % ---		--- kg C ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ---		
CO <sub>2</sub> - VA	0,26*	-1,03	-20,30	8,82	-1,93	ns
CO <sub>2</sub> - VB	0,01	-3,37	-49,12	12,06	-4,53	ns

VA – trigo-soja; VB – trigo-soja-ervilhaca-sorgo-aveia-soja; \* - indica significância a 5% entre os valores observados e simulados; ns – não significativo; s – significativo..



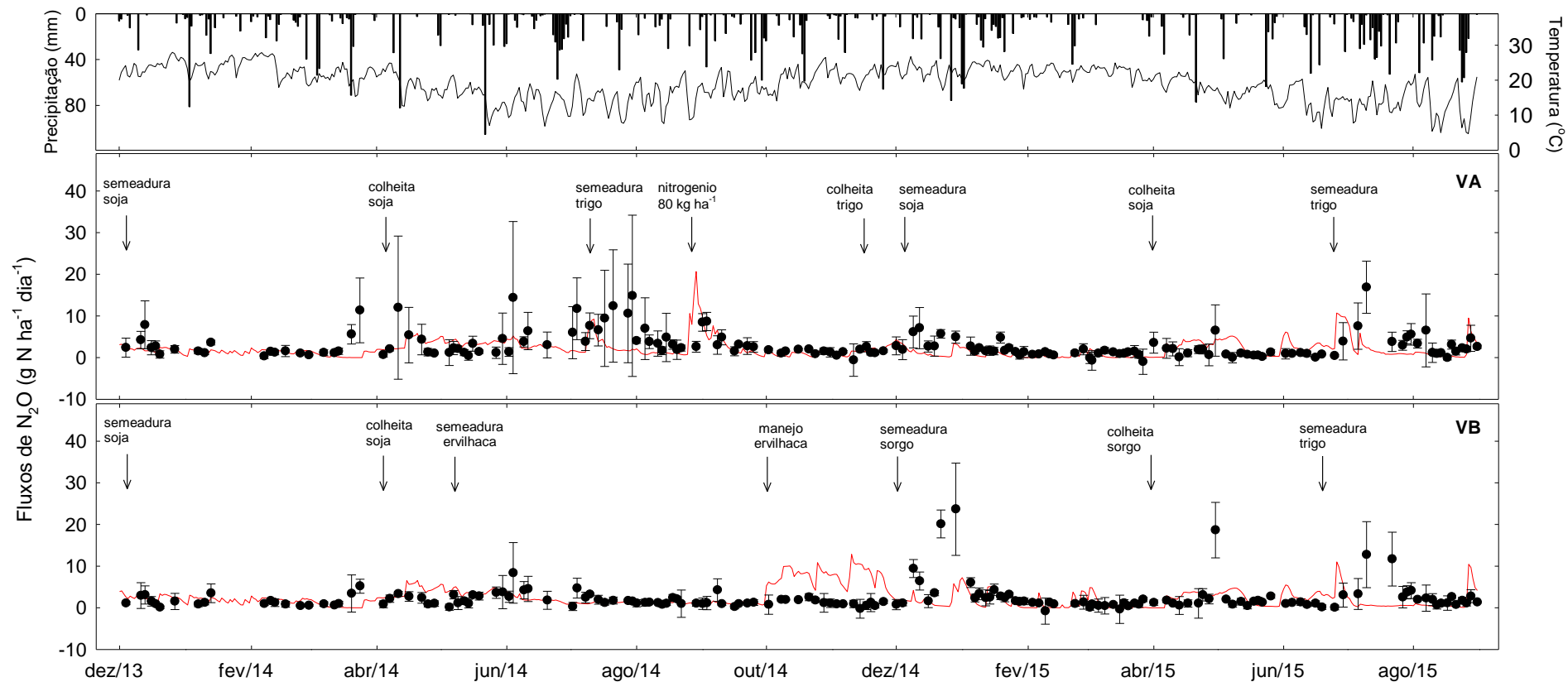
**Figura 23.** Fluxos de CO<sub>2</sub> simulados e observados ± desvio padrão em dois sistemas de culturas do experimento 2 na etapa de validação do modelo. VA – trigo-soja-trigo-soja; VB – trigo-soja-ervilhaca-sorgo-aveia-soja.

Os desenvolvedores do modelo recomendam a obtenção da capacidade de campo, ponto de murcha permanente e condutividade hidráulica saturada a partir das planilhas de Saxton & Rawls (2006) quando não se dispõe destas informações. No entanto, ao comparar os dados de solo determinados a campo e estimados a partir das planilhas é possível identificar diferenças significativas. Sendo a água no solo determinante em diversos processos, é fundamental que a dinâmica da água seja bem representada pelo modelo.

#### **4.2.4. Fluxos de N<sub>2</sub>O**

Os fluxos diários de N<sub>2</sub>O foram pobremente simulados pelo DayCent na etapa de validação (Figura 24). O modelo não representou todos os picos de emissão observados ao longo do experimento, bem como indicou aumento nos fluxos de N<sub>2</sub>O que não foram observados nos dados de campo. De maneira geral, os fluxos de N<sub>2</sub>O foram baixos, com pequenos incrementos após as operações de manejo.

Os fluxos de N<sub>2</sub>O simulados foram significativamente correlacionados com os fluxos observados no sistema trigo/soja, mas o modelo apresentou tendência a subestimar os fluxos de N<sub>2</sub>O neste sistema (Tabela 15). Esta tendência se deve, em parte, aos maiores fluxos de N<sub>2</sub>O observados entre abril e agosto de 2014 que não foram representados pelo modelo. Cabe destacar, no entanto, a grande variabilidade dos dados medidos representada pelas barras de desvio padrão, que confere grande grau de incerteza em relação as medições realizadas neste período. No sistema com rotação de culturas não existiu correlação entre os dados simulados e observados, mas o modelo não apresentou viés significativo nas simulações de N<sub>2</sub>O. O DayCent subestimou em 41,19 % (0,85 g N ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) e superestimou em 17,55 % (0,28 g N ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) os fluxos de N<sub>2</sub>O no sistema VA e VB, respectivamente.



**Figura 24.** Fluxos de N<sub>2</sub>O simulados e observados ± desvio padrão em dois sistemas de culturas do Experimento 2 na etapa de validação do modelo. VA – trigo-soja-trigo-soja; VB – trigo-soja-ervilhaca-sorgo-aveia-soja.

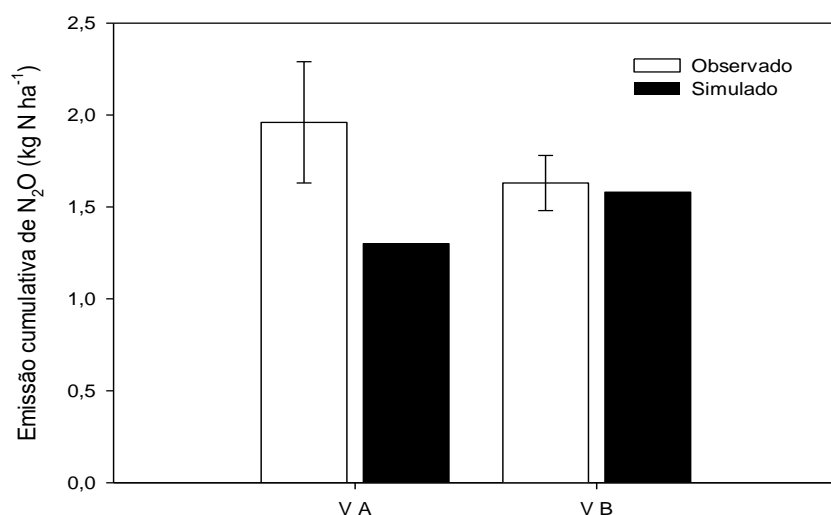
**Tabela 15.** Análise estatística das simulações dos fluxos de N<sub>2</sub>O considerando coeficiente de correlação (r), eficiência da modelagem (EM), erro relativo (ER), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e diferença média (M) com teste t.

Variável	r	EM	ER	RMSE	M	teste t (5%)
		--- % ---		--- g N ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ---		
N <sub>2</sub> O – VA	0,16*	-0,39	41,19	3,60	0,85	s
N <sub>2</sub> O – VB	-0,02	-0,63	-17,55	3,98	-0,28	ns

VA – trigo-soja; VB – trigo-soja-ervilhaca-sorgo-aveia-soja; \* - indica significância a 5% entre os valores observados e simulados; ns – não significativo; s – significativo.

Os fluxos de N<sub>2</sub>O foram superestimados pelo DayCent entre outubro e dezembro de 2014, após o manejo da ervilhaca no VB (Figura 24). A baixa relação C/N da ervilhaca fez com que o modelo simulasse rápida mineralização dos resíduos culturais, resultando em grandes quantidades de N no solo sujeitas a nitrificação e desnitrificação. Associado a isso, o atraso na semeadura do sorgo após o manejo da ervilhaca impediu a sincronia entre a liberação de N dos resíduos culturais da ervilhaca e a absorção de N pelo sorgo. Esperava-se que os resultados observados também demonstrassem estas relações e a ausência de resposta nos fluxos de N<sub>2</sub>O não pode ser explicada com o conjunto de dados disponíveis.

As emissões cumulativas de N<sub>2</sub>O foram razoavelmente bem simuladas pelo DayCent (Figura 25). No sistema trigo/soja (VA), a emissão cumulativa foi subestimada pelo modelo, principalmente em função da não representação dos fluxos de N<sub>2</sub>O entre abril e agosto de 2014. Por outro lado, no sistema VB as emissões cumulativas simuladas foram semelhantes às aquelas observadas nas medições de campo. Isto porque o modelo superestimou as emissões de N<sub>2</sub>O entre o manejo da ervilhaca e a semeadura do sorgo, que foram equiparadas pela não representação de alguns picos de emissão observados em 2015.



**Figura 25.** Emissão cumulativa de N<sub>2</sub>O simuladas e observadas  $\pm$  desvio padrão em dois sistemas de culturas do experimento 2 na etapa de validação do modelo. VA – trigo-soja; VB – trigo-soja-ervilhaca-sorgo-aveia-soja.

### 4.3. Cenários futuros de clima e manejo com o modelo DayCent

#### 4.3.1. Produtividade das culturas

Os cenários futuros indicaram aumento na produtividade de planta do trigo e da soja (Tabela 16), determinados pelas mudanças no regime térmico e hídrico e na concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. A produção de biomassa do trigo incrementou 9 e 15% nos cenários B1 e A2, enquanto que a soja produziu 41 e 69% mais biomassa em relação ao cenário climático atual, respectivamente. O incremento na produção de biomassa pode ser atribuído ao estímulo à fotossíntese, redução da condutância estomática, incremento da eficiência no aproveitamento do N por espécies C3 e crescimento de raízes, aspectos considerados pelo DayCent sob maiores concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera (Metherell et al., 1993). O maior incremento na produtividade da soja se deve à inexistência de limitação de N nesta cultura e ao aumento da precipitação nos meses de verão preditas para os dois cenários climáticos futuros. Além disso, Rogers et al. (2006) sugeriram que o aumento na concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera estimula a fixação biológica em plantas de soja. Os autores observaram que com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> a produção de

biomassa da soja incrementou 16%, sem efeito significativo sobre a concentração de N na planta.

**Tabela 16.** Produção média de biomassa da parte aérea (matéria seca + grãos) predita sob cenários futuros (2016-2100).

Cultura	Cenários Climáticos		
	Clima atual	B1	A2
	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----		
Trigo	6,8 ± 0,8	7,8 ± 0,8	8,0 ± 0,9
Soja	5,4 ± 1,3	7,6 ± 1,8	9,0 ± 2,2
Sorgo	12,0 ± 1,6	13,1 ± 1,5	12,7 ± 1,4
Ervilhaca	3,0 ± 0,6	4,1 ± 0,8	4,0 ± 0,7

O modelo não indicou incremento na produtividade do sorgo no cenário B1, mesmo com maiores concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera e precipitações no verão, e indicou leve redução (4%) no cenário A2 (Tabela 16). Os rendimentos do sorgo foram limitados pela disponibilidade de N no solo devido à manutenção da produção de biomassa da ervilhaca nos patamares atuais, a qual foi prejudicada principalmente pelo incremento nas temperaturas máximas e mínimas dos cenários B1 e A2. Além disso, estudos têm demonstrado que plantas C4 apresentam menor resposta ao incremento de CO<sub>2</sub> na atmosfera quando comparadas a espécies C3 (Ainsworth & Long, 2005). Lugato & Berti (2008) observaram notável redução da produtividade de milho sob diferentes cenários incluindo aumento na concentração de CO<sub>2</sub>, enquanto que as mudanças climáticas foram favoráveis e incrementaram a produtividade de planta do trigo. Lee et al. (2011) reportaram que as mudanças climáticas previstas para os cenários B1 e A2 no vale central da Califórnia devem reduzir a produtividade do trigo e milho, mas que parte desta redução deve ser contrabalanceada pelo aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

O efeito da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera em plantas ainda é relativamente controverso. Wand et al. (1999) observaram incremento de 33 e 44% na produção total de biomassa e de 33 e 25% na assimilação de C em plantas C4 e C3, respectivamente. De acordo com estes autores, espécies C3



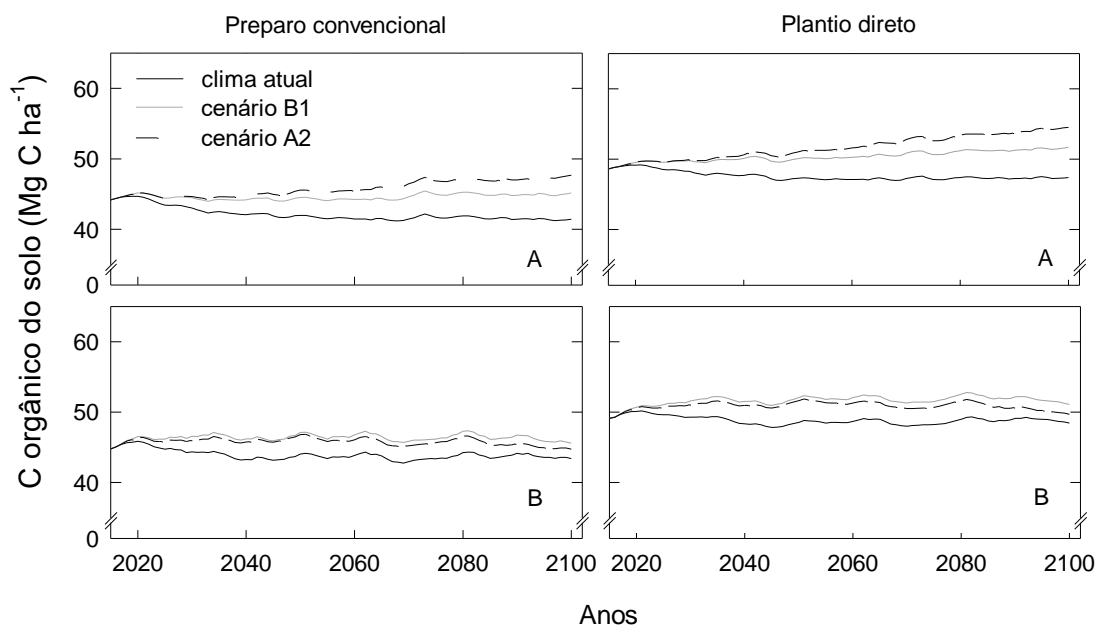
tendem a perfilhar mais enquanto que as espécies C4 tendem a apresentar maior área foliar. Ainsworth & Long (2005) reportaram que o incremento na taxa fotossintética é três vezes maior em plantas C3 quando comparadas a plantas C4 e que algumas espécies C4 não apresentam resposta ao incremento de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Em função das aparentes contradições, os resultados do efeito da “fertilização de CO<sub>2</sub>” no crescimento das plantas devem ser analisados com cuidado, uma vez que foram gerados a partir de um número limitado de experimentos e provavelmente estejam superestimados (Ainsworth et al., 2008).

#### 4.3.2. Estoques de C no solo

O estoque de COS é resultado do balanço entre adições de C pelos resíduos culturais e perdas de C via respiração heterotrófica. Conforme discutido no capítulo anterior, o sistema trigo/soja não foi capaz de aportar a quantidade mínima de biomassa necessária para contrabalancear as perdas de C do solo pela respiração heterotrófica, resultando em redução do COS. Sob o cenário climático atual, considerando a manutenção das práticas de manejo, o DayCent indicou um decréscimo no COS no sistema trigo/soja tanto em plantio direto quanto em preparo convencional, com tendência a estabilização a partir de 2050 (Figura 26).

Nos cenários B1 e A2, o modelo predisse incremento no COS no sistema trigo/soja e manutenção ou leve incremento no trigo/soja/ervilhaca/sorgo (Figura 26). O incremento do COS no sistema trigo/soja sob os cenários B1 e A2 foi suportado pela alta produção de biomassa, pois o submodelo de matéria orgânica do solo é baseado em uma cinética de primeira ordem que implica em relação direta entre C adicionado e o COS. Assim, o modelo não considera a possibilidade de saturação de C no solo, como sugerido em outros estudos (Six et al., 2002; Stewart et al., 2007). Lugato & Berti (2008) destacaram a importância em considerar esta característica do modelo e a possibilidade de superestimativa do COS em condições de saturação de C no solo, especialmente em simulações de longo prazo. No sistema trigo/soja/ervilhaca/sorgo, os ganhos de produtividade primária do trigo e soja foram suficientes apenas para compensar as perdas pela respiração heterotrófica e incrementar levemente o COS, devido a menor frequência com que trigo e soja são cultivados neste sistema.

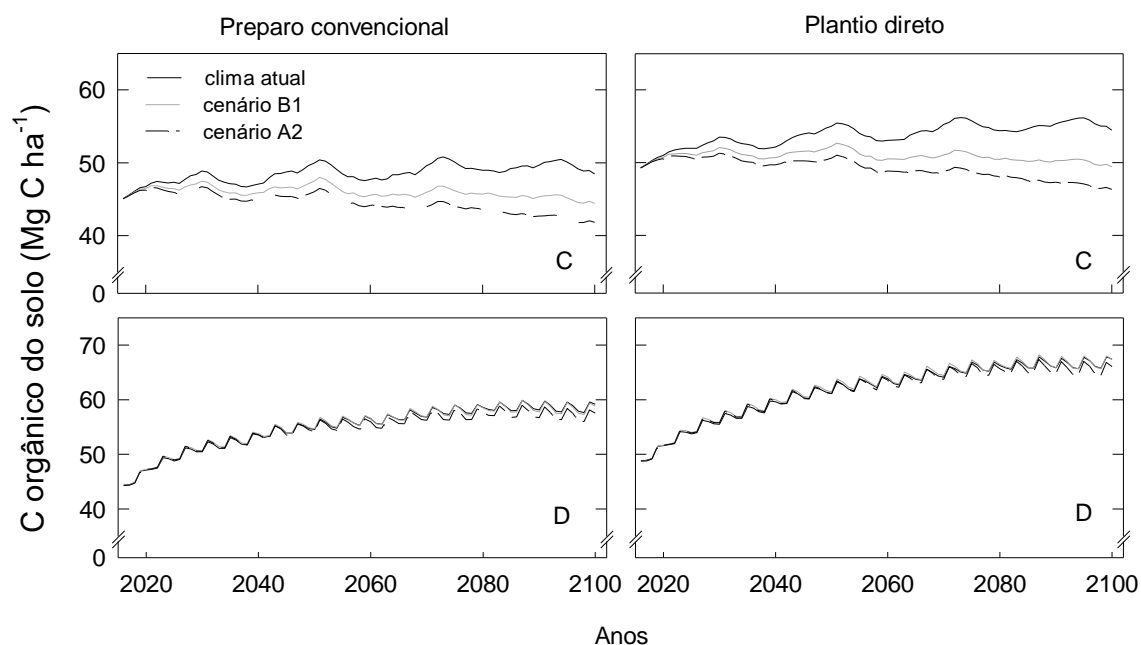
Os cenários B1 e A2 indicaram aumento nas temperaturas mínimas e máximas bem como aumento das chuvas nos meses mais quentes do ano, que favoreceram a respiração heterotrófica do solo. Por isso, mesmo com maior adição de C via resíduos culturais sob estes cenários climáticos, em alguns sistemas de culturas (ex: trigo/soja/ervilhaca/milho) não houveram grandes diferenças no COS em 2100. Similarmente, Álvaro-Fuentes & Paustian (2011) demonstraram a relação de dependência entre COS e a produção de biomassa e respiração heterotrófica. Os autores observaram que a conversão de áreas não irrigadas para irrigadas reduziu a capacidade do solo em sequestrar C. A maior disponibilidade hídrica favoreceu a produção de biomassa, mas também resultou em maior decomposição da matéria orgânica do solo. Smith et al. (2009), em um estudo realizado com o modelo Century, observaram que as mudanças climáticas no leste do Canadá devem incrementar a adição de C no solo via resíduos culturais do trigo entre 10 e 13%, ao passo que as taxas de decomposição do C do solo devem aumentar entre 20 e 29%, reduzindo os estoques de C do solo.



**Figura 26.** Carbono orgânico do solo simulado sob diferentes sistemas de culturas, preparo de solo e cenários climáticos. A – trigo-soja, B – trigo-soja-ervilhaca-sorgo.

O cultivo mais frequente de sorgo no sistema de rotação favoreceu o incremento dos estoques de C no solo apenas sob o cenário climático atual (Figura 27). A maior quantidade de C adicionado neste sistema durante 85 anos incrementou o COS em 9 e 10% no preparo convencional e plantio direto, respectivamente. Tornquist et al. (2009) reportaram, em solo com teores similares de argila, incremento de 14% no COS com maior frequência de cultivo de milho em um horizonte de 45 anos (2005-2050). Possivelmente, o maior incremento no COS estimado pelos autores resulta das maiores doses de N aplicadas e da inclusão de aveia no sistema de rotação.

Sob os cenários B1 e A2 o modelo indicou leve redução no C do solo (média de 1,5%) quando o sorgo foi cultivado com maior frequência em comparação ao cenário climático atual. Os resultados das simulações com DayCent indicaram que cultivar sorgo com maior frequência sob os cenários B1 e A2 não resulta em maior COS, devido a não resposta da produtividade de biomassa do sorgo e o favorecimento da respiração heterotrófica, como mencionado anteriormente.



**Figura 27.** C orgânico do solo simulado sob cenários alternativos de manejo e de clima. C – trigo-soja-ervilhaca-sorgo-ervilhaca-sorgo; D – 2 anos Tifton-trigo-soja-trigo/soja.

A adoção de sistemas de lavoura-pecuária, com presença de pastagem perene, resultou nos maiores incrementos de COS dentre os sistemas alternativos avaliados. Em geral, o incremento de C no solo nestes sistemas está associado com maiores adições de C pelas raízes e parte aérea e a não perturbação do solo (Guo & Gifford, 2002; Carvalho et al., 2010; Salton et al., 2014). Os estoques de C no solo tenderam a atingir um novo equilíbrio 80 anos após a conversão do sistema exclusivamente agrícola para um sistema integrado de lavoura-pecuária.

O incremento do C do solo no sistema lavoura-pecuária foi determinado principalmente pelo incremento do compartimento lento e pequeno incremento no compartimento passivo do submodelo de matéria orgânica do solo. Estes compartimentos são conceituais, o que impede comparações diretas com observações de campo. Estudos que observaram incremento no C do solo após a adoção de sistemas integrados de lavoura-pecuária reportam incrementos no carbono orgânico particulado, fração considerada mais sensível ao manejo em curto prazo (Franzluebbers & Stuedemann, 2002; Terra et al., 2006; Silveira et al., 2013). Salvo et al. (2014) observaram que, embora o C orgânico particulado seja mineralizado, uma porção do C é incorporada a fração mineral do solo, conferindo maior tempo de meia-vida no solo a esta fração.

Pequenas diferenças foram observadas no C do solo nos cenários futuros, sugerindo que o incremento na produção de biomassa sob os cenários B1 e A2 foi suficiente para compensar as maiores perdas de C do solo nestes cenários. É importante notar que, apesar do Tifton ser uma espécie C4 como o sorgo, a fertilização nitrogenada não limitou o crescimento do Tifton e o incremento no C do solo.

#### **4.3.3. Fluxos de N<sub>2</sub>O**

O DayCent indicou incremento nas emissões anuais de N<sub>2</sub>O sob os cenários B1 e A2 em todos os sistemas (Tabela 17). O modelo predisse incremento médio anual das emissões de N<sub>2</sub>O de 30% para o cenário B1 e 47% para o cenário A2. As emissões de N<sub>2</sub>O pela nitrificação e desnitrificação foram favorecidas pelo incremento na temperatura média e das precipitações nos meses de verão. O DayCent considera que as taxas de nitrificação e

desnitrificação incrementam exponencialmente com a temperatura do solo e PPA, respectivamente (Parton et al., 1996; Del Grosso et al., 2011). Além disso, maior temperatura e umidade favorecem a mineralização da matéria orgânica e aumentam a disponibilidade de N no solo que, não sendo absorvido pelas plantas, resulta em emissão de N<sub>2</sub>O (Del Grosso & Parton, 2012). O efeito de alterações no regime de temperatura e precipitação em sistema milho/soja em Iowa foi avaliado por Rafique et al. (2013). Utilizando o modelo DayCent, os autores observaram que subtraindo 40% da precipitação dos meses mais secos e redistribuindo nos meses mais úmidos do ano, associado ao incremento médio de 2 °C, os fluxos de N<sub>2</sub>O incrementaram entre 16 e 29% nos meses mais úmidos. Estes resultados destacam a importância de se considerar as alterações mensais de temperatura e precipitação em simulações de cenários futuros, principalmente em processos sensíveis a estas alterações como a nitrificação e desnitrificação.

**Tabela 17.** Emissões anuais de N<sub>2</sub>O em dois sistemas de preparo de solo e de culturas sob cenários climáticos futuros (2016-2100).

	Cenário Climático		
	<u>Cenário atual</u>	<u>B1</u>	<u>A2</u>
	--- kg N-N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ---		
Preparo Convencional			
T-S	0,99 ± 0,14	1,31 ± 0,20	1,55 ± 0,29
T-S-E-So	1,27 ± 0,19	1,71 ± 0,24	1,82 ± 0,24
T-S-E-So-E-So	1,63 ± 0,34	1,76 ± 0,35	1,79 ± 0,33
2 anos T-S – 2 anos Tifton	1,34 ± 0,38	1,61 ± 0,60	1,74 ± 0,71
Plantio Direto			
T-S	0,70 ± 0,11	0,95 ± 0,18	1,15 ± 0,26
T-S-E-So	0,94 ± 0,15	1,27 ± 0,22	1,38 ± 0,23
T-S-E-So-E-So	1,19 ± 0,25	1,34 ± 0,26	1,40 ± 0,25
2 anos T-S – 2 anos Tifton	0,99 ± 0,24	1,22 ± 0,39	1,34 ± 0,49

T – trigo; S – soja; E – ervilhaca; So – sorgo.

Independentemente do cenário futuro ou do sistema de cultura, o DayCent indicou maiores emissões anuais de  $N_2O$  no preparo convencional comparativamente ao plantio direto (Tabela 17). Conforme discutido anteriormente, a maior densidade do solo no preparo convencional comparativamente ao plantio direto deve ter favorecido as emissões de  $N_2O$ . O DayCent mostrou também que as alterações climáticas devem impactar de forma semelhante nas emissões de  $N_2O$  nos dois sistemas de preparo de solo.

O DayCent indicou tendência de maiores emissões acumuladas de  $N_2O$  no sistema trigo/soja/ervilhaca/sorgo comparado ao sistema trigo/soja, independente do cenário climático futuro (Tabela 17). Jantalia et al. (2008), em estudo de dois anos no mesmo local, não observaram fluxos de  $N_2O$  significativos que pudessem indicar diferenças entre os sistemas, mas destacam que as emissões de  $N_2O$  dependem da coincidência de eventos, como alta PPA e N mineral. Simulações de longo prazo (ex. 2016-2100) que representem a variabilidade anual dos sistemas podem auxiliar na identificação destes padrões, por vezes não observados em estudos relativamente curtos.

O sistema de cultura com dois anos de cultivo de sorgo resultou em maiores emissões de  $N_2O$ , comparado aos sistemas trigo/soja e trigo/soja/ervilhaca/sorgo (Tabela 17). O cultivo da ervilhaca no inverno, em função da alta qualidade dos resíduos culturais, favoreceu as emissões de  $N_2O$  por três razões: fornecendo N facilmente mineralizável, aumentando o C disponível para desnitrificação e incrementando o consumo de  $O_2$  disponível durante a decomposição dos resíduos culturais criando zonas de anaerobiose (Velthof et al., 2002). Contudo é importante notar que o sorgo não recebe fertilização mineral, com exceção de  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$  aplicados na semeadura. Possivelmente a fertilização mineral no sorgo em quantidade similar à fixada pela ervilhaca resultaria em emissões similares de  $N_2O$ . Bayer et al. (2015) observaram que, ao fornecer  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  para o milho via uréia e resíduos culturais da ervilhaca, as emissões de  $N_2O$  observadas na fertilização mineral foram o dobro do que na leguminosa. Contudo, é importante destacar as condições favoráveis a emissão de  $N_2O$  no momento da segunda aplicação de N ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) no estudo supracitado.

As simulações com o DayCent indicaram tendência de maiores emissões anuais de  $N_2O$  em sistemas de integração lavoura-pecuária

comparado aos sistemas atuais de cultivo de grãos e inferiores à rotação com dois anos de sorgo (Tabela 17). Estes resultados corroboram com Piva et al. (2014) que observaram maiores emissões em sistemas lavoura-pecuária comparados ao cultivo contínuo de grãos, devido principalmente à fertilização nitrogenada na pastagem. Embora sistemas integrados de lavoura-pecuária possam emitir mais  $N_2O$ , as emissões podem ser contrabalanceadas pelo sequestro de C promovido pela pastagem (Salton et al., 2014). No presente estudo, as simulações indicaram maiores emissões de  $N_2O$  no sistema lavoura-pecuária comparado aos sistemas de cultivo contínuo de grãos, mas os estoques de C simulados foram expressivamente superiores na integração lavoura-pecuária.

## **5. CONCLUSÕES**

O DayCent foi detalhadamente calibrado com dados de experimento de longo prazo e posteriormente testado com dados um experimento independente, com diferentes sistemas de cultura. Nesta condição, o modelo reproduziu razoavelmente a produção de biomassa, COS e fluxos de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O, de maneira similar a outros estudos disponíveis na literatura. Assim, considerando as incertezas inerentes aos dados levantados a campo, o modelo foi capaz de reproduzir padrões gerais dos sistemas de produção como aqueles da região do Planalto do RS, embora não capturando toda a variabilidade observada nos estudos de campo. A produção de biomassa média anual e os fluxos cumulativos anuais de N<sub>2</sub>O foram bem representados pelo modelo. A obtenção de dados ainda mais refinados pode contribuir para o avanço na calibração e melhoria do desempenho do modelo DayCent na região Sul do Brasil.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho não esgotou as possibilidades de parametrização do modelo DayCent e, a partir de um refinamento da base de dados, novos estudos podem ser realizados para testar de forma mais específica o desempenho do modelo. A calibração “automatizada” do modelo, por exemplo, utilizando softwares específicos como o PEST (Parameter Estimation), se apresenta como uma alternativa para melhorar o desempenho do modelo. Estes softwares permitem testar uma infinidade de combinações de parâmetros de forma a assegurar a melhor calibração do modelo.

Espera-se que, avançando na calibração do modelo, o DayCent possa ser utilizado para simulação regionais. No Brasil, os estudos em modelagem ainda são incipientes e este é o primeiro trabalho de que se tem conhecimento que simula sistemas de produção em diferentes cenários climáticos futuros para a região Sul. O DayCent indicou que as plantas utilizadas nos sistemas de culturas devem responder de forma diferenciada às mudanças climáticas. O crescimento do trigo e da soja foram favorecidos, enquanto que o crescimento da ervilhaca e do sorgo não foram afetados pelas mudanças climáticas e o COS permaneceu constante no sistema de rotação de culturas. Sistemas de culturas necessitam aportar maior quantidade de C para manutenção do COS nos cenários climáticos futuros, que favorecem a decomposição da matéria orgânica do solo. Os cenários climáticos futuros testados no presente estudo favoreceram as emissões de N<sub>2</sub>O em todos os sistemas de culturas e de manejo de solo avaliados.

## 7. REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. et al. Testing DayCent and DNDC model simulations of N<sub>2</sub>O fluxes and assessing the impacts of climate change on the gas flux and biomass production from a humid pasture. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 44, n. 25, p. 2961-2970, 2010.

AINSWORTH, E.A.; LONG, S.P. What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>. **New Phytologist**, Cambridge, v. 165, n. 2, p. 351-372, 2005.

AINSWORTH, E.A. et al. FACE-ing the facts: inconsistencies and interdependence among field, chamber and modeling studies of elevated [CO<sub>2</sub>] impacts on crop yield and food supply. **New Phytologist**, Cambridge, v. 179, n. 1, p. 5-9, 2008.

ÁLVARO-FUENTES, J.; PAUSTIAN, K. Potential soil carbon sequestration in a semiarid Mediterranean agroecosystem under climate change: Quantifying management and climate effects. **Plant and Soil**, The Hague, v. 338, n. 1-2, p. 261-272, 2011.

ÁLVARO-FUENTES, J.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K. Climate change effects on organic carbon storage in agricultural soils of northeastern Spain. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 155, p. 87-94, 2012a.

ÁLVARO-FUENTES, J. et al. Modelling tillage and nitrogen fertilization effects on soil organic carbon dynamics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 120, p. 32-39, 2012b.

AMADO, T.J.C. et al. Potential of Carbon Accumulation in No-Till Soils with Intensive Use and Cover Crops in Southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 35, n. 4, p. 1599-1607, 2006.

BATEMAN, E.J.; BAGGS, E.M. Contributions of nitrification and denitrification to N<sub>2</sub>O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 41, n. 6, p. 379-388, 2005.

BAYER, C. et al. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n. 1–2, p. 217-226, 2006.

BAYER, C. et al. Soil nitrous oxide emissions as affected by long-term tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 146, Part B, p. 213-222, 2015.

BAYER, C., et al. Yield-scaled greenhouse gas emissions from flood irrigated rice under long-term conventional tillage and no-till systems in a Humid Subtropical climate. **Field Crops Research**, Oxford, v. 162, p. 60-69, 2014.

BEHEYDT, D. et al. N<sub>2</sub>O emission from conventional and minimum-tilled soils. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 44, n. 6, p. 863-873, 2008.

BEHEYDT, D. et al. Validation of DNDC for 22 long-term N<sub>2</sub>O field emission measurements. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 41, n. 29, p. 6196-6211, 2007.

BORTOLON, E.S.O. et al. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1635-1646, 2009.

BORTOLON, E.S.O. et al. Validation of the Century model to estimate the impact of agriculture on soil organic carbon in Southern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 167–168, p. 156-166, 2011.

BRANDANI, C.B. et al. Simulation of management and soil interactions impacting SOC dynamics in sugarcane using the CENTURY Model. **GCB Bioenergy**, Oxford, v. 7, n. 4, p. 646-657, 2015.

CAMPBELL, E. et al. Assessing the Soil Carbon, Biomass Production, and Nitrous Oxide Emission Impact of Corn Stover Management for Bioenergy Feedstock Production Using DAYCENT. **BioEnergy Research**, New York, v. 7, n. 2, p. 491-502, 2014.

CAMPOS, B.-H.C.D. et al. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 805-817, 2011a.

CAMPOS, B.-H.C.D. et al. Long-term C-CO<sub>2</sub> emissions and carbon crop residue mineralization in an oxisol under different tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 819-832, 2011b.

CARMO, J.B.D. et al. Infield greenhouse gas emissions from sugarcane soils in Brazil: effects from synthetic and organic fertilizer application and crop trash accumulation. **Global Change Biology Bioenergy**, Oxford, v. 5, n. 3, p. 267-280, 2013.

CARVALHO, J.L.N. et al. Crop-pasture rotation: A strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 183, p. 167-175, 2014.

CARVALHO, J.L.N. et al. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 175-186, 2010.

CERRI, C.E.P. et al. Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from the Brazilian Amazon with RothC and Century models. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 122, n. 1, p. 46-57, 2007.

CHAMBERLAIN, J.F.; MILLER, S.A.; FREDERICK, J.R. Using DAYCENT to quantify on-farm GHG emissions and N dynamics of land use conversion to N-managed switchgrass in the Southern U.S. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 141, n. 3-4, p. 332-341, 2011.

CHANG, K.-H. et al. Using DayCENT to Simulate Carbon Dynamics in Conventional and No-Till Agriculture. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 77, n. 3, p. 941-950, 2013.

CHAPUIS-LARDY, L. et al. Soils, a sink for N<sub>2</sub>O? A review. **Global Change Biology**, Oxford, v. 13, n. 1, p. 1-17, 2007.

CHAVEZ, L.F. et al. Carbon dioxide efflux in a rhodic hapludox as affected by tillage systems in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 325-334, 2009.

CHENG, K. et al. Simulating greenhouse gas mitigation potentials for Chinese Croplands using the DAYCENT ecosystem model. **Global Change Biology**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 948-62, 2014.

COLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. RothC-26.3 - A Model for the turnover of carbon in soil. In: POWLSON, D., et al. (Ed.). **Evaluation of Soil Organic Matter Models**. Berlin: Springer, 1996. p.237-246.

CONCEIÇÃO, P.C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 129, p. 40-47, 2013.

CONG, R. et al. Evaluation of the CENTURY Model Using Long-Term Fertilization Trials under Corn-Wheat Cropping Systems in the Typical Croplands of China. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 9, n. 4, p. e95142, 2014.

CONGREVES, K.A. et al. Predicting ammonia volatilization after field application of swine slurry: DNDC model development. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 219, n. 179-189, 2016.

CONGREVES, K.A. et al. Measuring and Modeling the Long-Term Impact of Crop Management on Soil Carbon Sequestration in the Semiarid Canadian Prairies. **Agronomy Journal**, Madison, v. 107, n. 3, p. 1141-1154, 2015.

DAVIS, S.C. et al. Impact of second-generation biofuel agriculture on greenhouse-gas emissions in the corn-growing regions of the US. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 10, n. 2, p. 69-74, 2011.

DE ANTONI MIGLIORATI, M. et al. Legumes or nitrification inhibitors to reduce N<sub>2</sub>O emissions from subtropical cereal cropping systems in Oxisols? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 213, n. 228-240, 2015.

DE FIGUEIREDO, E.B.; LA SCALA, N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 141, n. 1-2, p. 77-85, 2011.

DE GRYZE, S. et al. Simulating greenhouse gas budgets of four California cropping systems under conventional and alternative management. **Ecological Applications**, Tempe, v. 20, n. 7, p. 1805-1819, 2010.

DEL GROSSO, S. et al. Simulated effects of dryland cropping intensification on soil organic matter and greenhouse gas exchanges using the DAYCENT ecosystem model. **Environmental Pollution**, London, v. 116, n. S75-S83, 2002.

DEL GROSSO, S.J.; PARTON, W.J. Climate change increases soil nitrous oxide emissions. **New Phytologist**, Cambridge, v. 196, n. 2, p. 327-328, 2012.

DEL GROSSO, S.J.; HALVORSON, A.D.; PARTON, W.J. Testing DAYCENT model simulations of corn yields and nitrous oxide emissions in irrigated tillage systems in Colorado. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, n. 4, p. 1383-1389, 2008.

DEL GROSSO, S.J. et al. DAYCENT model analysis of past and contemporary soil N<sub>2</sub>O and net greenhouse gas flux for major crops in the USA. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 9-24, 2005a.

DEL GROSSO, S.J. et al. Special Features of the DayCent Modeling Package and Additional Procedures for Parameterization, Calibration, Validation, and Applications. In: AHUJA, L. R. M., L. (Ed.). **Methods of Introducing System Models into Agricultural Research**, Madison, 2011. p.155-176.

DEL GROSSO, S.J. et al. Modeling soil CO<sub>2</sub> emissions from ecosystems. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 73, n. 1, p. 71-91, 2005b.

DEL GROSSO, S.J. et al. Global scale DAYCENT model analysis of greenhouse gas emissions and mitigation strategies for cropped soils. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 67, n. 1-2, p. 44-50, 2009.

DEL GROSSO, S.J. et al. Chapter 16 - Simulated effects of land use, soil texture, and precipitation on N gas emissions using DAYCENT. In: HATFIELD, R. F. F. L. (Ed.). **Nitrogen in the Environment: Sources, Problems and Management**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p.413-431.

DEL GROSSO, S.J. et al. General CH<sub>4</sub> oxidation model and comparisons of CH<sub>4</sub> Oxidation in natural and managed systems. **Global Biogeochemical Cycles**, London, v. 14, n. 4, p. 999-1019, 2000.

DEL GROSSO, S.J. et al. DAYCENT Simulated Effects of Land Use and Climate on County Level N Loss Vectors in the USA. In: FOLLETT, J. L. H. R. F. (Ed.). **Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management**. Amsterdam: Academic Press/Elsevier. 2008. p.571-595.

DERPSCH, R. et al. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Roseville, v. 3, n. 1, p. 1-25, 2010.

DIECKOW, J. et al. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, n. 2, p. 240-249, 2009.

DIEKOW, J. et al. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 87-95, 2005.

DOBBIE, K.E.; SMITH, K.A. Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain: the impact of soil water-filled pore space and other controlling variables. **Global Change Biology**, Oxford, v. 9, n. 2, p. 204-218, 2003.

FERNANDES, F.F. **Uso do modelo CENTURY no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul**. 2002. 159 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FERREIRA, A.D.O. et al. Soil carbon stratification affected by long-term tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 133, p. 65-74, 2013.

FITTON, N. et al. The challenge of modelling nitrogen management at the field scale: simulation and sensitivity analysis of N<sub>2</sub>O fluxes across nine experimental sites using DailyDayCent. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 9, n. 9, p. 095003, 2014.

FRANZLUEBBERS, A.J.; STUEDEMANN, J.A. Particulate and non-particulate fractions of soil organic carbon under pastures in the Southern Piedmont USA. **Environmental Pollution**, London, v. 116, Supplement 1, p. S53-S62, 2002.

FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R.; KASSAM, A. Overview of the global spread of conservation agriculture. **Field Actions Science Reports. The journal of field actions**, [On-line], n. Special Issue 6, 2012.

FROLKING, S.E. et al. Comparison of N<sub>2</sub>O emissions from soils at three temperate agricultural sites: simulations of year-round measurements by four models. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 52, n. 2-3, p. 77-105, 1998.

GOMES, J. **Emissão de gases de efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 2006. 126 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do

Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GOMES, J. et al. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 106, n. 1, p. 36-44, 2009.

GREGORICH, E.G. et al. Tillage effects on N<sub>2</sub>O emission from soils under corn and soybeans in Eastern Canada. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 88, n. 2, p. 153-161, 2008.

GUO, L.B.; GIFFORD, R.M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology**, Oxford, v. 8, n. 4, p. 345-360, 2002.

HANSON, P.J. et al. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 48, n. 1, p. 115-146, 2000.

HARTMAN, M.D. et al. Impact of historical land-use changes on greenhouse gas exchange in the U.S. Great Plains, 1883-2003. **Ecological Applications**, Tempe, v. 21, n. 4, p. 1105-19, 2011.

IPCC. **Special Reports on Emissions Scenarios** - Emissions Scenarios. Cambridge, United Kingdom, 2000.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2013.

JANTALIA, C. et al. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 82, n. 2, p. 161-173, 2008.

JARECKI, M.K. et al. Comparison of DAYCENT-Simulated and Measured Nitrous Oxide Emissions from a Corn Field. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, n. 5, p. 1685-1690, 2008.

JØRGENSEN, S.E.; BENDORICCHIO, G. **Fundamentals of ecological modelling**. 3rd ed. Amsterdam, New York: Elsevier, 2001. xii, 530 p. (Developments in environmental modelling)

JUNGES, A.H. **Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento de grãos de trigo no Rio Grande do Sul**. 2008. 137f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

KIRSCHBAUM, M.U.F. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 27, n. 6, p. 753-760, 1995.

KUZYAKOV, Y. Sources of CO<sub>2</sub> efflux from soil and review of partitioning methods. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 38, n. 3, p. 425-448, 2006.

KUZYAKOV, Y.; LARIONOVA, A.A. Root and rhizomicrobial respiration: A review of approaches to estimate respiration by autotrophic and heterotrophic organisms in soil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 168, n. 4, p. 503-520, 2005.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1-2, p. 1-22, 2004.

LAL, R. Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. **Food Policy**, Guildford, v. 36, Supplement 1, p. S33-S39, 2011.

LEE, J.; GRYZE, S.; SIX, J. Effect of climate change on field crop production in California's Central Valley. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 109, n. 1, p. 335-353, 2011.

LI, C.; FROLKING, S.; FROLKING, T.A. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 2. Model applications. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Washington, v. 97, n. D9, p. 9777-9783, 1992.

LI, C.S. Modeling trace gas emissions from agricultural ecosystems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 58, n. 1-3, p. 259-276, 2000.

LI, C.S. Quantifying greenhouse gas emissions from soils: Scientific basis and modeling approach. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokio, v. 53, n. 4, p. 344-352, 2007.

LIPSKI, B. **Uso do modelo DayCent para simulação de fluxos de N<sub>2</sub>O em Latossolo do subtropical brasileiro**. 2013. 51f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LIU, X.J. et al. Tillage and Nitrogen Application Effects on Nitrous and Nitric Oxide Emissions from Irrigated Corn Fields. **Plant and Soil**, The Hague, v. 276, n. 1-2, p. 235-249, 2005.

LOPES, F. et al. Simulação da dinâmica do carbono do solo numa microbacia rural pelo modelo Century. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 6, p. 745-753, 2008.

LUGATO, E.; BERTI, A. Potential carbon sequestration in a cultivated soil under different climate change scenarios: A modelling approach for evaluating promising management practices in north-east Italy. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 128, n. 1-2, p. 97-103, 2008.

LUGATO, E.; BERTI, A.; GIARDINI, L. Soil organic carbon (SOC) dynamics with and without residue incorporation in relation to different nitrogen fertilisation rates. **Geoderma**, Amsterdam, v. 135, p. 315-321, 2006.



LUGATO, E.; PAUSTIAN, K.; GIARDINI, L. Modelling soil organic carbon dynamics in two long-term experiments of north-eastern Italy. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 120, n. 2–4, p. 423-432, 2007.

LUGATO, E. et al. Application of DNDC biogeochemistry model to estimate greenhouse gas emissions from Italian agricultural areas at high spatial resolution. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 139, n. 4, p. 546-556, 2010.

MAIXNER, A.R. et al. Desempenho animal e produtividade de pastagens tropicais no noroeste do Rio Grande do Sul. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 927-934, 2009.

MANZONI, S.; PORPORATO, A. Soil carbon and nitrogen mineralization: Theory and models across scales. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 41, n. 7, p. 1355-1379, 2009.

MARCHESAN, R. et al. Produção e composição química-bromatológica de Tifton 85 (*Cynodon dactylon* L. Pers) sob pastejo contínuo no período hibernar. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, jul-ago, p. 1933-1942, 2013.

MARTORANO, L.G. **Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT**. 2007. 170 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MENÉNDEZ, S. et al. Long-term effect of tillage, crop rotation and N fertilization to wheat on gaseous emissions under rainfed Mediterranean conditions. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 4, p. 559-569, 2008.

METHERELL, A.K. et al. **CENTURY Soil Organic Matter Model Environment, Technical documentation, Agroecosystem Version 4.0**. Fort Collins, CO: USDA - ARS, 1993.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, 2003. p.209-248.

MOTERLE, D.F. et al. Methane efflux in rice paddy field under different irrigation managements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 431-437, 2013.

MULLIGAN, M.; WAINWRIGHT, J. Modelling and Model Building. In: WAINWRIGHT, J.; MULLIGAN, M. (Ed.). **Environmental Modelling - Finding Simplicity in Complexity**. London, UK: John Wiley & Sons. 2004. p.432.

OORTS, K. et al. Determinants of annual fluxes of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1–2, p. 133-148, 2007.

PAN, Z. et al. Uncertainty in future soil carbon trends at a central U.S. site under an ensemble of GCM scenario climates. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 221, n. 5, p. 876-881, 2010.

PARKIN, T.B.; VENTEREA, R. Chamber-Based Trace Gas Fluxes Measurements. In: USDA-ARS GRACEnet Project Protocols. Washington, 2010. Cap. 3

PARTON, W. et al. Generalized model for N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O production from nitrification and denitrification. **Global Biogeochemical Cycles**, London, v. 10, n. 3, p. 401-412, 1996.

PARTON, W. et al. Generalized model for NO<sub>x</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from soils. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Washington, v. 106, n. D15, p. 17403-17419, 2001.

PARTON, W. et al. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. **Global Biogeochemical Cycles**, London, v. 7, n. 4, p. 785-809, 1993.

PARTON, W.J. et al. Analysis of Factors Controlling Soil Organic Matter Levels in Great Plains Grasslands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 5, p. 1173-1179, 1987.

PARTON, W.J. et al. DAYCENT and its land surface submodel: description and testing. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 19, n. 1-4, p. 35-48, 1998.

PARTON, W.J. et al. Projected ecosystem impact of the Prairie Heating and CO<sub>2</sub> Enrichment experiment. **New Phytologist**, Cambridge, v. 174, n. 4, p. 823-834, 2007.

PAUSTIAN, K. Computer Modeling. In: CHESWORTH, W. (Ed.). **Encyclopedia of Soil Science**. Netherlands: Springer, 2008. p.153-159.

PAUSTIAN, K.; PARTON, W.J.; PERSSON, J. Modeling soil organic-matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 2, p. 476-488, 1992.

PES, L.Z. et al. The primary sources of carbon loss during the crop-establishment period in a subtropical Oxisol under contrasting tillage systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 163-171, 2011.

PIVA, J.T. et al. Soil gaseous N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions and carbon pool due to integrated crop-livestock in a subtropical Ferralsol. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 87-93, 2014.

PLAZA-BONILLA, D. et al. Tillage and nitrogen fertilization effects on nitrous oxide yield-scaled emissions in a rainfed Mediterranean area. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 189, p. 43-52, 2014.

RAFIQUE, R. et al. Nitrous Oxide Emissions from Cropland: a Procedure for Calibrating the DayCent Biogeochemical Model Using Inverse Modelling. **Water, Air, & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 224, n. 9, p. 1-15, 2013.

ROCHETTE, P. No-till only increases N<sub>2</sub>O emissions in poorly-aerated soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 101, n. 1–2, p. 97-100, 2008.

ROCHETTE, P. et al. Nitrous Oxide Emissions Respond Differently to No-Till in a Loam and a Heavy Clay Soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, n. 5, p. 1363-1369, 2008.

ROCHETTE, P. et al. N<sub>2</sub>O emissions from an irrigated and non-irrigated organic soil in eastern Canada as influenced by N fertilizer addition. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 61, n. 2, p. 186-196, 2010.

ROGERS, A. et al. Increased C availability at elevated carbon dioxide concentration improves N assimilation in a legume. **Plant, Cell & Environment**, v. 29, n. 8, p. 1651-1658, 2006.

SALTON, J.C. et al. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 70-79, 2014.

SALVO, L.; HERNÁNDEZ, J.; ERNST, O. Soil organic carbon dynamics under different tillage systems in rotations with perennial pastures. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 135, p. 41-48, 2014.

SANTOS, H.G.D. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa em Solos. 2006a. 306 p.

SANTOS, H.P.D.; REIS, E.M.; PEREIRA, L.R. Efeitos no rendimento de grãos e nas doenças do sistema radicular do trigo de 1980 a 1987. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 11, p. 1627-1635, 1990.

SANTOS, H.P.D.; AMBROSI, I.; LHAMBY, J.C.B. Análise de risco em quatro sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, em Passo Fundo, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 519-526, 1999.

SANTOS, H.P.D.; LHAMBY, J.C.B.; SPERA, S.T. Rendimento de grãos de soja em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 21-29, 2006b.

SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p. 1569-1578, 2006.

SCHEER, C. et al. Modeling nitrous oxide emissions from irrigated agriculture: testing DayCent with high-frequency measurements. **Ecological Applications**, Tempe, v. 24, n. 3, p. 528-38, 2014.

SCHENATO, R.B. **Simulação de fluxos de gases de efeito estufa em sistemas de manejo do solo no Sul do Brasil**. 2013. 138 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SCHONS, A. et al. Arranjos de plantas de mandioca e milho em cultivo solteiro e consorciado: crescimento, desenvolvimento e produtividade. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 155-167, 2009.

SEEG (Coord.). **Documento Síntese: análise das emissões de GEE no Brasil (1970-2013) e suas implicações para políticas públicas**. São Paulo: Observatório do Clima, 2015.

SENAPATI, N. et al. Modelling soil organic carbon storage with RothC in irrigated Vertisols under cotton cropping systems in the sub-tropics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 143, n. 38-49, 2014.

SHAFFER, M.J.; MA, L.; HANSEN, S. **Modeling carbon and nitrogen dynamics for soil management**. Boca Raton: Lewis Publishers. 2001. 651 p.

SILVEIRA, M.L. et al. Short-term effects of grazing intensity and nitrogen fertilization on soil organic carbon pools under perennial grass pastures in the southeastern USA. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 58, p. 42-49, 2013.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Direct N<sub>2</sub>O emission factors for synthetic N-fertilizer and organic residues applied on sugarcane for bioethanol production in Central-Southern Brazil. **Global Change Biology Bioenergy**, Oxford, 2015.

SISTI, C.P.J. **Influência de sistemas de preparo do solo e manejo de culturas sobre o estoque de carbono e nitrogênio do solo em diferentes condições agrícolas**. 2001. 150 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2001.

SISTI, C.P.J. et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SIX, J. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 241, n. 2, p. 155-176, 2002.

SMITH, P. et al. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. **Geoderma**, Amsterdam, v. 81, n. 1-2, p. 153-225, 1997.

SMITH, W. et al. Potential impact of climate change on carbon in agricultural soils in Canada 2000–2099. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 93, n. 3-4, p. 319-333, 2009.

SPERA, S.T. **Atributos físicos e químicos de um Latossolo e produtividade de culturas, em função de manejo de solo e de rotação de culturas**. 2009. 228 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo - RS, 2009.

STEHFEST, E. et al. Simulation of global crop production with the ecosystem model DayCent. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 209, n. 2–4, p. 203-219, 2007.

STEWART, C. et al. Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 86, n. 1, p. 19-31, 2007.

STORCK, L., et al. Duração do subperíodo semeadura-florescimento, crescimento e produtividade de grãos de milho em condições climáticas contrastantes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, n. 1, p. 27-39, 2009.

TERRA, J.A. et al. Soil use intensity impact on total and particulate soil organic matter in no-till crop-pasture rotations under direct grazing. In: HORN, R. et al. (Ed.). **Soil Management for Sustainability**. Reiskirchen: Catena Verlag. 2006. p.233-241.

TORNQUIST, C.G.; MIELNICZUK, J.; CERRI, C.E.P. Modeling soil organic carbon dynamics in Oxisols of Ibirubá (Brazil) with the Century Model. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 1, p. 33-43, 2009.

VELTHOF, G.; KUIKMAN, P.; OENEMA, O. Nitrous oxide emission from soils amended with crop residues. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 62, n. 3, p. 249-261, 2002.

VIEIRA, F.C.B., et al. Building Up Organic Matter in a Subtropical Paleudult under Legume Cover-Crop-Based Rotations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 5, p. 1699-1706, 2009.

WALLACH, D. Evaluation crop models. In: WALLACH, D. M.; D. JONES, J. W. (Ed.) **Working with Dynamic Crop Models - Evaluation, Analysis, Parametrization, and Applications**. Amterdam, 2006. 463 p.

WALTER, L.C. et al. Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo de cultivares de trigo e sua associação com a emissão de folhas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 2320-2326, 2009.

WAND, S.J.E. et al. Responses of wild C4 and C3 grass (Poaceae) species to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration: a meta-analytic test of current theories and perceptions. **Global Change Biology**, Oxford, v. 5, n. 6, p. 723-741, 1999.

WANG, G.S.; CHEN, S.L. A review on parameterization and uncertainty in modeling greenhouse gas emissions from soil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 170, n. 206-216, 2012.

WEBER, M.A. **Parametrização e validação do ciclo do carbono e do nitrogênio do modelo Century 4.5 com experimentos de longa duração em um Argissolo do Sul do Brasil**. 2010. 169 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

WEIER, K.L. et al. Denitrification and the Dinitrogen/Nitrous Oxide Ratio as Affected by Soil Water, Available Carbon, and Nitrate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n. 1, p. 66-72, 1993.

XING, H.T. et al. Modelling nitrous oxide and carbon dioxide emission from soil in an incubation experiment. **Geoderma**, Amsterdam, v. 167-68, n. 328-339, 2011.

ZANATTA, J.A. et al. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 510-519, 2007.

ZHANG, Y. et al. Simulation of Nitrous Oxide Emissions and Estimation of Global Warming Potential in Turfgrass Systems Using the DAYCENT Model. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 42, n. 4, p. 1100-1108, 2013.

## 8. APÊNDICES

**Apêndice 1.** Escalares mensais utilizados nas simulações do DayCent dos cenários climáticos futuros disponíveis em Climate Wizzard (Girvetz *et al.*, 2009) para Passo Fundo.

Mês	--- Cenário B1---						--- Cenário A2 ---					
	2046-2066			2081-2100			2046-2066			2081-2100		
	max <sup>1</sup>	min <sup>2</sup>	prec <sup>3</sup>	max	min	prec	max	min	prec	max	min	prec
Janeiro	1,5	1,7	- 0,9	1,5	2,1	+ 13,8	2,1	2,3	+ 6,0	3,1	4,1	+ 15,0
Fevereiro	1,5	1,6	+ 8,7	1,4	1,8	+ 12,8	1,7	2,0	0,0	2,7	4,1	+ 13,8
Março	1,2	1,5	- 2,0	1,6	2,1	+ 11,7	1,9	2,3	+ 7,8	3,2	4,2	+ 9,1
Abril	1,3	2,0	+ 6,6	1,8	2,4	+ 4,7	1,9	2,5	+ 6,2	3,4	4,1	+ 14,1
Mai	1,4	1,7	+ 8,0	1,5	2,0	+ 11,2	1,6	2,1	+ 7,4	2,9	3,7	+ 11,0
Junho	1,3	1,5	- 19,6	1,6	2,3	- 4,7	1,2	1,9	+ 3,4	3,2	3,7	- 1,9
Julho	1,8	2,0	- 12,3	2,4	2,3	+ 0,4	1,1	1,6	+ 0,2	3,4	4,0	- 1,2
Agostot	1,8	1,7	- 14,5	2,3	2,2	- 18,8	2,7	2,7	- 10,1	4,2	4,5	- 13,4
Setembro	2,0	2,2	- 11,1	2,2	2,7	- 11,5	2,0	2,4	- 10,0	3,3	3,8	- 10,3
Outubro	1,2	1,5	+ 4,7	1,7	1,8	0,0	1,6	2,3	+ 8,7	3,3	3,9	- 2,3
Novembro	1,8	1,9	+ 5,8	1,5	2,0	+ 14,1	1,8	2,3	+ 5,1	3,0	4,1	+ 10,8
Dezembro	1,3	1,6	+ 0,8	1,5	2,0	+ 15,0	1,7	2,2	- 2,4	2,7	3,6	+ 4,8
Médias	1,5	1,7	- 2,1	1,7	2,1	+ 4,0	1,8	2,2	+ 1,8	3,2	4,0	+ 4,1



**Apêndice 2.** Estrutura do arquivo SCH. utilizado na etapa de equilíbrio.

```

#1 EQUIL
1      starting year          0001 002 FRST
4000   Last year             0001 060 GRAZ GM_M
equil_soil.100 Site file name
0      Labeling type         0001 201 LAST
-1     Labeling year         0001 232 FRST
-1     Microcosm             0001 359 LAST
-1     CO2 Systems           0002 001 CROP CNPF
-1     pH Shift              0002 002 FRST
-1     Soil warming          0002 060 GRAZ GM_M
0      N input scalar option  0002 201 LAST
0      OMAD input scalar option 0002 232 FRST
0      Climate scalar option  0002 359 LAST
1      Initial system        0003 001 CROP CNPF
CNPF   Initial Crop         0003 002 FRST
       Initial Tree         0003 079 GRAZ GM_M
                                0003 201 LAST
Year Month Option            0003 232 FRST
1      Block #  Campo Nativo 0003 359 LAST
4000   Last year             0004 001 CROP CNPF
5      Repeats # years       0004 002 FRST
1      Output starting year   0004 079 GRAZ GM_M
1      Output Month          0004 201 LAST
12     Output interval       0004 232 FRST
F      Weather choice        0004 359 LAST
equil.wth
0001 001 CROP CNPF

                                0005 001 CROP CNPF
                                0005 002 FRST
                                0005 079 GRAZ GM_M
                                0005 201 LAST
                                0005 232 FRST
                                0005 354 LAST
                                -999 -999 X

```

**Apêndice 3.** Exemplo de estrutura do arquivo SCH. utilizado no sistema trigo/soja em preparo convencional no experimento 1.

#101 CT --> trigo/soja	0003 150 LAST	0007 121 CULT DSKPL
1986 starting year	0003 152 CULT DSKPL	0007 161 CULT DISKH
2015 Last year	0003 167 CULT DISKH	0007 162 CROP W3
convtill.100 Site file name	0003 168 CROP W3	0007 162 PLTM
0 Labeling type	0003 169 PLTM	0007 163 FERT N1.2
-1 Labeling year	0003 170 FERT N1	0007 192 CULT ADDEC
-1 Microcosm	0003 223 CULT ADDEC	0007 252 FERT N5
-1 CO2 Systems	0003 228 FERT N5	0007 330 HARV G
-1 pH Shift	0003 312 HARV G	0007 330 LAST
-1 Soil warming	0003 312 LAST	0007 334 CULT NOTIL
0 N input scalar	0003 320 CULT NOTIL	0007 334 CROP SYBN
option	0003 320 CROP SYBN	0007 334 PLTM
0 OMAD input scalar	0003 320 PLTM	0008 091 HARV G
option	0004 130 HARV G	0008 091 LAST
0 Climate scalar	0004 131 LAST	0008 121 CULT DSKPL
option	0004 131 CULT DSKPL	0008 152 CULT DISKH
1 Initial system	0004 135 CULT DISKH	0008 161 CROP W3
CNPF Initial Crop	0004 150 CROP W3	0008 162 PLTM
Initial Tree	0004 150 PLTM	0008 162 FERT N1
	0004 151 FERT N1	0008 182 CULT ADDEC
Year Month Option	0004 190 FERT N4	0008 222 FERT N2
1 Block # trigo/soja	0004 192 CULT ADDEC	0008 305 HARV G
2015 Last year	0004 329 HARV G	0008 305 LAST
30 Repeats # years	0004 330 LAST	0008 307 CULT NOTIL
1986 Output starting	0004 344 CULT NOTIL	0008 307 CROP SYBN
year	0004 344 CROP SYBN	0008 308 PLTM
1 Output Month	0004 344 PLTM	0009 110 HARV G
1 Output interval	0005 091 HARV G	0009 112 LAST
F Weather choice	0005 091 LAST	0009 121 CULT DSKPL
exp.wth	0005 110 CULT DSKPL	0009 152 CULT DISKH
0001 152 CULT DSKPL	0005 130 CULT DISKH	0009 161 CROP W3
0001 181 CULT DISKH	0005 135 CROP W3	0009 162 PLTM
0001 189 CROP W3	0005 135 PLTM	0009 162 FERT N1
0001 189 PLTM	0005 135 FERT N1.5	0009 182 CULT ADDEC
0001 189 FERT N1.5	0005 181 CULT ADDEC	0009 212 FERT N3
0001 220 CULT ADDEC	0005 200 FERT N4.5	0009 304 HARV G
0001 232 FERT NA	0005 334 HARV G	0009 305 LAST
0001 321 HARV G	0005 334 LAST	0009 309 CULT NOTIL
0001 321 LAST	0005 338 CULT NOTIL	0009 309 CROP SYBN
0001 349 CULT NOTIL	0005 338 PLTM	0009 309 PLTM
0001 350 CROP SYBN	0005 338 CROP SYBN	0010 110 HARV G
0001 350 PLTM	0006 091 HARV G	0010 112 LAST
0002 148 HARV G	0006 091 LAST	0010 121 CULT DSKPL
0002 149 LAST	0006 121 CULT DSKPL	0010 152 CULT DISKH
0002 150 CULT DSKPL	0006 152 CULT DISKH	0010 171 CROP W3
0002 171 CULT DISKH	0006 152 CROP W3	0010 172 PLTM
0002 172 CROP W3	0006 152 PLTM	0010 172 FERT N1
0002 173 PLTM	0006 152 FERT N1	0010 182 CULT ADDEC
0002 173 FERT N1	0006 182 CULT ADDEC	0010 212 FERT N3
0002 203 CULT ADDEC	0006 230 FERT N5	0010 320 HARV G
0002 222 FERT N5	0006 334 HARV G	0010 320 LAST
0002 318 HARV G	0006 334 LAST	0010 329 CULT NOTIL
0002 319 LAST	0006 336 CULT NOTIL	0010 329 CROP SYBN
0002 356 CULT NOTIL	0006 336 CROP SYBN	0010 329 PLTM
0002 357 CROP SYBN	0006 336 PLTM	0011 110 HARV G
0002 357 PLTM	0007 091 HARV G	0011 112 LAST
0003 149 HARV G	0007 091 LAST	0011 123 CULT DSKPL

0011 155 CULT DISKH	0015 182 CULT ADDEC	0019 323 CROP SYBN
0011 163 CROP W3	0015 222 FERT N2.3	0019 323 PLTM
0011 163 PLTM	0015 319 HARV G	0020 122 HARV G
0011 163 FERT N1	0015 319 LAST	0020 122 LAST
0011 185 CULT ADDEC	0015 341 CULT NOTIL	0020 125 CULT DSKPL
0011 220 FERT N1.8	0015 341 CROP SYBN	0020 156 CULT DISKH
0011 263 FERT N1.8	0015 341 PLTM	0020 158 CROP W3
0011 315 HARV G	0016 110 HARV G	0020 158 PLTM
0011 315 LAST	0016 111 LAST	0020 159 FERT N1.5
0011 323 CULT NOTIL	0016 121 CULT DSKPL	0020 186 CULT ADDEC
0011 323 CROP SYBN	0016 152 CULT DISKH	0020 205 FERT N3
0011 324 PLTM	0016 171 CROP W3	0020 222 FERT N3.5
0012 097 HARV G	0016 172 PLTM	0020 312 HARV G
0012 098 LAST	0016 172 FERT N1	0020 312 LAST
0012 119 CULT DSKPL	0016 182 CULT ADDEC	0020 334 CULT NOTIL
0012 149 CULT DISKH	0016 212 FERT N3	0020 334 CROP SYBN
0012 154 CROP W3	0016 324 HARV G	0020 334 PLTM
0012 154 PLTM	0016 325 LAST	0021 117 HARV G
0012 154 FERT N1.5	0016 329 CULT NOTIL	0021 117 LAST
0012 179 CULT ADDEC	0016 329 CROP SYBN	0021 120 CULT DSKPL
0012 217 FERT N5	0016 330 PLTM	0021 150 CULT DISKH
0012 319 HARV G	0017 110 HARV G	0021 181 CROP W3
0012 319 LAST	0017 112 LAST	0021 181 PLTM
0012 324 CULT NOTIL	0017 121 CULT DSKPL	0021 181 CULT ADDEC
0012 324 CROP SYBN	0017 152 CULT DISKH	0021 181 FERT N1.5
0012 325 PLTM	0017 171 CROP W3	0021 210 FERT N4.5
0013 110 HARV G	0017 172 PLTM	0021 312 HARV G
0013 112 LAST	0017 172 FERT N1	0021 312 LAST
0013 122 CULT DSKPL	0017 182 CULT ADDEC	0021 319 CULT NOTIL
0013 153 CULT DISKH	0017 202 FERT N3	0021 319 CROP SYBN
0013 160 CROP W3	0017 304 HARV G	0021 320 PLTM
0013 160 PLTM	0017 305 LAST	0022 113 HARV G
0013 160 FERT N1.5	0017 320 CULT NOTIL	0022 113 LAST
0013 183 CULT ADDEC	0017 320 CROP SYBN	0022 120 CULT DSKPL
0013 210 FERT N4.5	0017 320 PLTM	0022 152 CULT DISKH
0013 307 HARV G	0018 110 HARV G	0022 184 CROP W3
0013 307 LAST	0018 112 LAST	0022 184 PLTM
0013 320 CULT NOTIL	0018 120 CULT DSKPL	0022 184 CULT ADDEC
0013 320 CROP SYBN	0018 150 CULT DISKH	0022 184 FERT N1.5
0013 320 PLTM	0018 175 CROP W3	0022 232 FERT N7
0014 110 HARV G	0018 175 PLTM	0022 317 HARV G
0014 112 LAST	0018 175 FERT N1.5	0022 317 LAST
0014 121 CULT DSKPL	0018 181 CULT ADDEC	0022 321 CULT NOTIL
0014 152 CULT DISKH	0018 219 FERT N4.5	0022 321 CROP SYBN
0014 168 CROP W3	0018 311 HARV G	0022 321 PLTM
0014 168 PLTM	0018 311 LAST	0023 113 HARV G
0014 168 FERT N1.5	0018 325 CULT NOTIL	0023 113 LAST
0014 182 CULT ADDEC	0018 325 CROP SYBN	0023 121 CULT DSKPL
0014 214 FERT N4.5	0018 325 PLTM	0023 152 CULT DISKH
0014 316 HARV G	0019 116 HARV G	0023 175 CROP W3
0014 316 LAST	0019 116 LAST	0023 175 PLTM
0014 344 CULT NOTIL	0019 120 CULT DSKPL	0023 175 FERT N1.5
0014 344 CROP SYBN	0019 150 CULT DISKH	0023 182 CULT ADDEC
0014 344 PLTM	0019 158 CROP W3	0023 240 FERT N2.5
0015 114 HARV G	0019 158 PLTM	0023 321 HARV G
0015 114 LAST	0019 159 FERT N1.5	0023 321 LAST
0015 121 CULT DSKPL	0019 181 CULT ADDEC	0023 332 CULT NOTIL
0015 152 CULT DISKH	0019 201 FERT N6.5	0023 332 CROP SYBN
0015 177 CROP W3	0019 304 HARV G	0023 332 PLTM
0015 177 PLTM	0019 305 LAST	0024 105 HARV G
0015 177 FERT N1	0019 323 CULT NOTIL	0024 105 LAST

0024 144 CULT DSKPL	0028 163 CROP W3
0024 176 CULT DISKH	0028 163 PLTM
0024 183 CROP W3	0028 163 FERT N1.5
0024 184 PLTM	0028 193 CULT ADDEC
0024 184 FERT N1.5	0028 203 FERT N7
0024 206 CULT ADDEC	0028 311 HARV G
0024 227 FERT N3.5	0028 311 LAST
0024 324 HARV G	0028 318 CULT NOTIL
0024 325 LAST	0028 318 CROP SYBN
0024 338 CULT NOTIL	0028 318 PLTM
0024 338 CROP SYBN	0029 090 HARV G
0024 338 PLTM	0029 091 LAST
0025 106 HARV G	0029 093 CROP E
0025 106 LAST	0029 093 PLTM
0025 144 CULT DSKPL	0029 130 CULT HERB
0025 156 CULT DISKH	0029 130 LAST
0025 183 CROP W3	0029 134 CULT DSKPL
0025 183 PLTM	0029 135 CULT DISKH
0025 183 FERT N1.5	0029 191 CROP W3
0025 210 FERT N4	0029 192 PLTM
0025 213 CULT ADDEC	0029 192 FERT N1.5
0025 235 FERT N4	0029 193 CULT ADDEC
0025 328 HARV G	0029 231 FERT N10
0025 328 LAST	0029 318 HARV G
0025 360 CULT NOTIL	0029 319 LAST
0025 360 CROP SYBN	0029 322 CULT NOTIL
0025 360 PLTM	0029 323 CROP SYBN
0026 098 HARV G	0029 323 PLTM
0026 098 LAST	0030 090 HARV G
0026 100 CULT DSKPL	0030 091 LAST
0026 124 CULT DISKH	0030 104 CULT DSKPL
0026 166 CROP W3	0030 105 CULT DISKH
0026 166 PLTM	0030 187 PLTM
0026 166 FERT N2	0030 187 CROP W3
0026 181 CULT ADDEC	0030 188 FERT N1
0026 200 FERT N2.5	0030 192 CULT ADDEC
0026 251 FERT N2.5	0030 230 FERT N4
0026 319 HARV G	0030 293 HARV G
0026 319 LAST	0030 294 LAST
0026 321 CULT NOTIL	0030 300 CULT NOTIL
0026 321 CROP SYBN	0030 300 CROP SYBN
0026 321 PLTM	0030 300 PLTM
0027 093 HARV G	-999 -999 X
0027 093 LAST	
0027 099 CULT DSKPL	
0027 149 CULT DISKH	
0027 177 CROP W3	
0027 177 PLTM	
0027 177 CULT ADDEC	
0027 177 FERT N1.5	
0027 243 FERT N2.5	
0027 273 FERT N2.5	
0027 303 HARV G	
0027 303 LAST	
0027 310 CULT NOTIL	
0027 310 CROP SYBN	
0027 310 PLTM	
0028 098 HARV G	
0028 098 LAST	
0028 162 CULT DSKPL	
0028 162 CULT DISKH	

**Apêndice 4.** Exemplo de estrutura do arquivo SCH. utilizado no sistema trigo/soja/ervilhaca/milho em plantio direto.

#202 NT -->	trigo/soja	0003 170 FERT N1	0008 324 CULT ROLLER
	ervilhaca/milho	0003 228 FERT N5	0008 325 LAST
1986	starting year	0003 312 HARV G	0008 327 CULT NOTIL
2015	Last year	0003 312 LAST	0008 327 CROP CORN
notill.100	Site file name	0003 320 CULT NOTIL	0008 328 PLTM
0	Labeling type	0003 320 CROP SYBN	0008 328 FERT N1.5
-1	Labeling year	0003 320 PLTM	0009 110 HARV G
-1	Microcosm	0004 130 HARV G	0009 112 LAST
-1	CO2 Systems	0004 131 LAST	0009 161 CULT NOTIL
-1	pH Shift	0004 135 CULT NOTIL	0009 161 CROP W3
-1	Soil warming	0004 135 CROP HV	0009 162 PLTM
0	N input scalar option	0004 162 PLTM	0009 162 FERT N1
0	OMAD input scalar option	0004 288 CULT ROLLER	0009 222 FERT N3
		0004 289 LAST	0009 304 HARV G
0	Climate scalar option	0004 291 CULT NOTIL	0009 305 LAST
1	Initial system	0004 291 CROP CORN	0009 309 CULT NOTIL
CNPF	Initial Crop	0004 291 PLTM	0009 309 CROP SYBN
	Initial Tree	0004 292 FERT N1.5	0009 309 PLTM
		0005 105 HARV G	0010 110 HARV G
Year Month Option		0005 106 LAST	0010 112 LAST
1	Block	#0005 135 CULT NOTIL	0010 161 CULT NOTIL
	trigo/soja	0005 135 CROP W3	0010 161 CROP HV
	ervilhaca/sorgo	0005 135 PLTM	0010 162 PLTM
2015	Last year	0005 135 FERT N1.5	0010 324 CULT ROLLER
30	Repeats # years	0005 200 FERT N4.5	0010 325 LAST
2013	Output starting year	0005 334 HARV G	0010 329 CULT NOTIL
1	Output Month	0005 334 LAST	0010 329 CROP SORG_PF
1	Output interval	0005 338 CULT NOTIL	0010 329 PLTM
F	Weather choice	0005 338 PLTM	0011 110 HARV G
exp.wth		0005 338 CROP SYBN	0011 112 LAST
0001 152	CULT DSKPL	0006 091 HARV G	0011 161 CULT NOTIL
0001 181	CULT DISKH	0006 091 LAST	0011 163 CROP W3
0001 187	CROP W3	0006 161 CULT NOTIL	0011 163 PLTM
0001 189	PLTM	0006 161 CROP HV	0011 163 FERT N1
0001 189	FERT N1.5	0006 162 PLTM	0011 220 FERT N1.8
0001 232	FERT NA	0006 290 CULT ROLLER	0011 263 FERT N1.8
0001 321	HARV G	0006 290 LAST	0011 315 HARV G
0001 321	LAST	0006 300 CULT NOTIL	0011 315 LAST
0001 349	CULT NOTIL	0006 301 CROP CORN	0011 323 CULT NOTIL
0001 350	CROP SYBN	0006 301 PLTM	0011 323 CROP SYBN
0001 350	PLTM	0007 105 HARV G	0011 324 PLTM
0002 148	HARV G	0007 106 LAST	0012 097 HARV G
0002 148	LAST	0007 161 CULT NOTIL	0012 098 LAST
0002 172	CULT NOTIL	0007 161 CROP W3	0012 152 CULT NOTIL
0002 172	CROP HV	0007 162 PLTM	0012 153 CROP HV
0002 173	PLTM	0007 162 FERT N1.2	0012 153 PLTM
0002 280	CULT ROLLER	0007 252 FERT N5	0012 265 CULT ROLLER
0002 280	LAST	0007 319 HARV G	0012 266 LAST
0002 296	CULT NOTIL	0007 320 LAST	0012 266 CULT NOTIL
0002 296	CROP CORN	0007 334 CULT NOTIL	0012 267 CROP CORN
0002 296	PLTM	0007 334 CROP SYBN	0012 268 PLTM
0002 296	FERT N1	0007 334 PLTM	0012 268 FERT N1.5
0003 101	HARV G	0008 091 HARV G	0013 061 HARV G
0003 101	LAST	0008 091 LAST	0013 061 LAST
0003 168	CULT NOTIL	0008 161 CULT NOTIL	0013 157 CULT NOTIL
0003 168	CROP W3	0008 161 CROP HV	0013 160 CROP W3
0003 169	PLTM	0008 162 PLTM	0013 160 PLTM

0013 160 FERT N1.5	0018 346 PLTM	0024 105 LAST
0013 210 FERT N4.5	0018 346 FERT N1.5	0024 160 CULT NOTIL
0013 307 HARV G	0019 116 HARV G	0024 160 CROP HV
0013 307 LAST	0019 116 LAST	0024 160 PLTM
0013 320 CULT NOTIL	0019 158 CULT NOTIL	0024 263 CULT ROLLER
0013 320 CROP SYBN	0019 158 CROP W3	0024 263 LAST
0013 320 PLTM	0019 158 PLTM	0024 268 CULT NOTIL
0014 110 HARV G	0019 159 FERT N1.5	0024 268 CROP SORG_PF
0014 112 LAST	0019 201 FERT N6.5	0024 269 PLTM
0014 161 CULT NOTIL	0019 304 HARV G	0024 270 FERT N1.5
0014 161 CROP HV	0019 305 LAST	0025 054 HARV G
0014 161 PLTM	0019 323 CULT NOTIL	0025 054 LAST
0014 323 CULT ROLLER	0019 323 CROP SYBN	0025 183 CULT NOTIL
0014 323 LAST	0019 323 PLTM	0025 183 CROP W3
0014 324 CULT NOTIL	0020 122 HARV G	0025 183 PLTM
0014 324 CROP CORN	0020 122 LAST	0025 183 FERT N1.5
0014 324 PLTM	0020 137 CULT NOTIL	0025 210 FERT N4
0015 076 HARV G	0020 137 CROP HV	0025 235 FERT N4
0015 076 LAST	0020 137 PLTM	0025 328 HARV G
0015 177 CULT NOTIL	0020 307 CULT ROLLER	0025 328 LAST
0015 177 CROP W3	0020 307 LAST	0025 360 CULT NOTIL
0015 177 PLTM	0020 308 CULT NOTIL	0025 360 CROP SYBN
0015 177 FERT N1	0020 308 CROP SORG_PF	0025 360 PLTM
0015 222 FERT N2.3	0020 308 PLTM	0026 098 HARV G
0015 319 HARV G	0020 308 FERT N1.5	0026 098 LAST
0015 319 LAST	0021 072 HARV G	0026 124 CULT NOTIL
0015 341 CULT NOTIL	0021 072 LAST	0026 124 CROP HV
0015 341 CROP SYBN	0021 181 CULT NOTIL	0026 124 PLTM
0015 341 PLTM	0021 181 CROP W3	0026 278 CULT ROLLER
0016 110 HARV G	0021 181 PLTM	0026 278 LAST
0016 111 LAST	0021 181 FERT N1.5	0026 283 CULT NOTIL
0016 141 CULT NOTIL	0021 222 FERT N4.5	0026 283 CROP SORG_PF
0016 141 CROP HV	0021 312 HARV G	0026 283 PLTM
0016 142 PLTM	0021 312 LAST	0027 067 HARV G
0016 324 CULT ROLLER	0021 319 CULT NOTIL	0027 067 LAST
0016 325 LAST	0021 319 CROP SYBN	0027 177 CULT NOTIL
0016 329 CULT NOTIL	0021 320 PLTM	0027 177 CROP W3
0016 329 CROP CORN	0022 113 HARV G	0027 177 PLTM
0016 329 PLTM	0022 113 LAST	0027 177 FERT N1.5
0016 329 FERT N1.5	0022 167 CULT NOTIL	0027 243 FERT N2.5
0017 110 HARV G	0022 167 CROP HV	0027 273 FERT N2.5
0017 112 LAST	0022 167 PLTM	0027 303 HARV G
0017 171 CULT NOTIL	0022 283 CULT ROLLER	0027 303 LAST
0017 171 CROP W3	0022 283 LAST	0027 310 CULT NOTIL
0017 172 PLTM	0022 296 CULT NOTIL	0027 310 CROP SYBN
0017 172 FERT N1	0022 296 CROP SORG_PF	0027 310 PLTM
0017 202 FERT N3	0022 296 PLTM	0028 098 HARV G
0017 304 HARV G	0022 297 FERT N1.5	0028 098 LAST
0017 305 LAST	0023 076 HARV G	0028 167 CULT NOTIL
0017 320 CULT NOTIL	0023 076 LAST	0028 167 CROP HV
0017 320 CROP SYBN	0023 175 CULT NOTIL	0028 167 PLTM
0017 320 PLTM	0023 175 CROP W3	0028 284 CULT ROLLER
0018 110 HARV G	0023 175 PLTM	0028 285 LAST
0018 112 LAST	0023 175 FERT N1	0028 293 CULT NOTIL
0018 148 CULT NOTIL	0023 240 FERT N2.5	0028 293 CROP SORG_PF
0018 148 CROP HV	0023 321 HARV G	0028 293 PLTM
0018 148 PLTM	0023 321 LAST	0029 042 HARV G
0018 326 CULT ROLLER	0023 332 CULT NOTIL	0029 043 LAST
0018 329 LAST	0023 332 CROP SYBN	0029 044 CROP E
0018 346 CULT NOTIL	0023 332 PLTM	0029 044 PLTM
0018 346 CROP SORG_PF	0024 105 HARV G	0029 130 CULT HERB

0029 130 LAST  
0029 191 CULT NOTIL  
0029 191 CROP W3  
0029 191 PLTM  
0029 192 FERT N1.5  
0029 231 FERT N10  
0029 318 HARV G  
0029 319 LAST

0029 322 CULT NOTIL  
0029 323 CROP SYBN  
0029 323 PLTM  
0030 090 HARV G  
0030 091 LAST  
0030 187 CULT NOTIL  
0030 187 CROP HV  
0030 187 PLTM

0030 279 CULT ROLLER  
0030 280 LAST  
0030 283 CULT NOTIL  
0030 283 CROP SORG\_PF  
0030 283 PLTM  
0030 283 FERT N1.5  
-999 -999 X

**Apêndice 5.** Exemplo de estrutura do arquivo SCH. utilizado no sistema trigo/soja/ervilhaca/sorgo/aveia/soja em plantio direto no experimento 2.

#501 Validação – trigo/soja	3	Block #	Conv Till	0004 175 CULT ADDEC
ervilhaca/milho/aveia/soja	2007	Last year		0004 203 CROP W3
1975 starting year	28	Repeats # years		0004 203 PLTM
2016 Last year	1980	Output starting year		0004 203 FERT N1
valid.100 Site file name	1	Output Month		0004 244 FERT N3
0 Labeling type	1	Output interval		0004 338 HARV G
-1 Labeling year	C	Weather choice		0004 338 LAST
-1 Microcosm	0001 084	HARV G		0004 340 CULT NOTIL
-1 CO2 Systems	0001 084	LAST		0004 340 CROP SYBN
-1 pH Shift	0001 115	CULT DSKPL		0004 340 PLTM
-1 Soil warming	0001 145	CULT DISKH		0005 116 HARV G
0 N input scalar option	0001 156	CROP W3		0005 116 LAST
0 OMAD input scalar	0001 157	PLTM		0005 117 CULT DSKPL
option	0001 157	FERT N1		0005 145 CULT DISKH
0 Climate scalar option	0001 175	CULT ADDEC		0005 175 CULT ADDEC
1 Initial system	0001 223	FERT N3		0005 181 CROP OATS
W3 Initial Crop	0001 267	FERT N2		0005 181 PLTM
Initial Tree	0001 329	HARV G		0005 213 FERT N1
	0001 329	LAST		0005 338 HARV G
Year Month Option	0001 347	CULT NOTIL		0005 338 LAST
1 Block #	0001 347	CROP SYBN		0005 341 CULT NOTIL
1978 Last year	0001 347	PLTM		0005 341 CROP SYBN
2 Repeats # years	0002 125	HARV G		0005 341 PLTM
1979 Output starting year	0002 125	LAST		0006 134 HARV G
1 Output Month	0002 132	CULT DSKPL		0006 134 LAST
1 Output interval	0002 145	CULT DISKH		0006 135 CULT DSKPL
F Weather choice	0002 169	CROP W3		0006 145 CULT DISKH
val.wth	0002 169	PLTM		0006 165 CROP HV
0001 115 CULT DSKPL	0002 170	FERT N1		0006 165 PLTM
0001 145 CULT DISKH	0002 175	CULT ADDEC		0006 175 CULT ADDEC
0001 156 CROP W3	0002 225	FERT N3		0006 294 CULT ROLLER
0001 157 PLTM	0002 316	HARV G		0006 294 LAST
0001 157 FERT N1	0002 316	LAST		0006 350 CULT NOTIL
0001 175 CULT ADDEC	0002 331	CULT NOTIL		0006 350 CROP CORN
0001 223 FERT N4	0002 331	CROP SYBN		0006 350 PLTM
0001 329 HARV G	0002 331	PLTM		0007 122 HARV G
0001 329 LAST	0003 123	HARV G		0007 122 LAST
0001 347 CULT NOTIL	0003 123	LAST		0007 123 CULT DSKPL
0001 347 CROP SYBN	0003 125	CULT DSKPL		0007 145 CULT DISKH
0001 347 PLTM	0003 145	CULT DISKH		0007 155 CROP W3
0002 125 HARV G	0003 158	CROP W3		0007 155 PLTM
0002 125 LAST	0003 158	PLTM		0007 155 FERT N1
-999 -999 X	0003 158	FERT N1		0007 175 CULT ADDEC
	0003 175	CULT ADDEC		0007 195 FERT N2
2 Block #	0003 207	FERT N3		0007 303 HARV G
1979 Last year	0003 314	HARV G		0007 303 LAST
1 Repeats # years	0003 314	LAST		0007 338 CULT NOTIL
1979 Output starting year	0003 322	CULT NOTIL		0007 338 CROP SYBN
1 Output Month	0003 322	CROP CORN		0007 338 PLTM
1 Output interval	0003 322	PLTM		0008 147 HARV G
F Weather choice	0003 322	FERT N2		0008 147 LAST
val.wth	0003 352	FERT N3		0008 150 CULT DSKPL
0001 319 CROP SYBN	0004 116	HARV G		0008 175 CULT DISKH
0001 319 PLTM	0004 116	LAST		0008 176 CROP OATS
-999 -999 X	0004 117	CULT DSKPL		0008 176 PLTM
	0004 145	CULT DISKH		0008 176 FERT N1



0008 195 CULT ADDEC	0013 130 CULT DSKPL	0017 322 HARV G
0008 230 FERT N5	0013 155 CULT DISKH	0017 322 LAST
0008 321 HARV G	0013 174 CROP W3	0017 330 CULT NOTIL
0008 321 LAST	0013 174 PLTM	0017 330 CROP SYBN
0008 322 CULT NOTIL	0013 174 FERT N1	0017 330 PLTM
0008 322 CROP SYBN	0013 175 CULT ADDEC	0018 101 HARV G
0008 322 PLTM	0013 213 FERT N3	0018 101 LAST
0009 131 HARV G	0013 324 HARV G	0018 131 CULT DSKPL
0009 131 LAST	0013 324 LAST	0018 141 CULT DISKH
0009 139 CULT DSKPL	0013 328 CULT NOTIL	0018 142 CROP HV
0009 155 CULT DISKH	0013 328 CROP SYBN	0018 142 PLTM
0009 172 CROP HV	0013 328 PLTM	0018 142 CULT ADDEC
0009 172 PLTM	0014 118 HARV G	0018 287 CULT ROLLER
0009 175 CULT ADDEC	0014 118 LAST	0018 287 LAST
0009 287 CULT ROLLER	0014 130 CULT DSKPL	0018 288 CULT NOTIL
0009 287 LAST	0014 155 CULT DISKH	0018 288 CROP CORN
0009 288 CULT NOTIL	0014 162 CROP OATS	0018 288 PLTM
0009 288 CROP CORN	0014 162 PLTM	0019 114 HARV G
0009 288 PLTM	0014 162 FERT N1	0019 114 LAST
0010 114 HARV G	0014 175 CULT ADDEC	0019 130 CULT DSKPL
0010 114 LAST	0014 198 FERT N2	0019 155 CULT DISKH
0010 130 CULT DSKPL	0014 322 HARV G	0019 174 CROP W3
0010 155 CULT DISKH	0014 322 LAST	0019 174 PLTM
0010 174 CROP W3	0014 328 CULT NOTIL	0019 174 FERT N1
0010 174 PLTM	0014 328 CROP SYBN	0019 175 CULT ADDEC
0010 174 FERT N1	0014 328 PLTM	0019 213 FERT N3
0010 175 CULT ADDEC	0015 100 HARV G	0019 324 HARV G
0010 213 FERT N3	0015 100 LAST	0019 324 LAST
0010 324 HARV G	0015 101 CULT DSKPL	0019 328 CULT NOTIL
0010 324 LAST	0015 102 CULT DISKH	0019 328 CROP SYBN
0010 328 CULT NOTIL	0015 121 CROP HV	0019 328 PLTM
0010 328 CROP SYBN	0015 121 PLTM	0020 118 HARV G
0010 328 PLTM	0015 121 CULT ADDEC	0020 118 LAST
0011 118 HARV G	0015 310 CULT ROLLER	0020 130 CULT DSKPL
0011 118 LAST	0015 310 LAST	0020 155 CULT DISKH
0011 130 CULT DSKPL	0015 312 CULT NOTIL	0020 162 CROP OATS
0011 155 CULT DISKH	0015 312 CROP SORG_PF	0020 162 PLTM
0011 162 CROP OATS	0015 312 PLTM	0020 162 FERT N1
0011 162 PLTM	0016 114 HARV G	0020 175 CULT ADDEC
0011 162 FERT N1	0016 114 LAST	0020 198 FERT N2
0011 175 CULT ADDEC	0016 130 CULT DSKPL	0020 322 HARV G
0011 198 FERT N2	0016 155 CULT DISKH	0020 322 LAST
0011 322 HARV G	0016 174 CROP W3	0020 328 CULT NOTIL
0011 322 LAST	0016 174 PLTM	0020 328 CROP SYBN
0011 328 CULT NOTIL	0016 174 FERT N1	0020 328 PLTM
0011 328 CROP SYBN	0016 175 CULT ADDEC	0021 131 HARV G
0011 328 PLTM	0016 213 FERT N3	0021 131 LAST
0012 131 HARV G	0016 324 HARV G	0021 139 CULT DSKPL
0012 131 LAST	0016 324 LAST	0021 155 CULT DISKH
0012 139 CULT DSKPL	0016 328 CULT NOTIL	0021 172 CROP HV
0012 155 CULT DISKH	0016 328 CROP SYBN	0021 172 PLTM
0012 172 CROP HV	0016 328 PLTM	0021 175 CULT ADDEC
0012 172 PLTM	0017 118 HARV G	0021 287 CULT ROLLER
0012 175 CULT ADDEC	0017 118 LAST	0021 287 LAST
0012 287 CULT ROLLER	0017 130 CULT DSKPL	0021 288 CULT NOTIL
0012 287 LAST	0017 155 CULT DISKH	0021 288 CROP CORN
0012 288 CULT NOTIL	0017 162 CROP OATS	0021 288 PLTM
0012 288 CROP CORN	0017 162 PLTM	0022 114 HARV G
0012 288 PLTM	0017 162 FERT N1	0022 114 LAST
0013 114 HARV G	0017 175 CULT ADDEC	0022 130 CULT DSKPL
0013 114 LAST	0017 198 FERT N2	0022 155 CULT DISKH

0022 174 CROP W3	0027 131 HARV G	0003 191 PLTM
0022 174 PLTM	0027 131 LAST	0003 191 FERT N1
0022 174 FERT N1	0027 139 CULT DSKPL	0003 220 FERT N7
0022 175 CULT ADDEC	0027 155 CULT DISKH	0003 322 HARV G
0022 213 FERT N3	0027 172 CROP OATS	0003 322 LAST
0022 324 HARV G	0027 172 PLTM	0003 340 CULT NOTIL
0022 324 LAST	0027 175 CULT ADDEC	0003 340 CROP SYBN
0022 328 CULT NOTIL	0027 287 HARV G	0003 340 PLTM
0022 328 CROP SYBN	0027 287 LAST	0004 104 HARV G
0022 328 PLTM	0027 288 CULT NOTIL	0004 104 LAST
0023 118 HARV G	0027 288 CROP SYBN	0004 152 CULT NOTIL
0023 118 LAST	0027 288 PLTM	0004 152 CROP HV
0023 120 CULT DSKPL	0028 114 HARV G	0004 152 PLTM
0023 135 CULT DISKH	0028 114 LAST	0004 338 CULT ROLLER
0023 150 CROP HV	0028 130 CULT DSKPL	0004 338 LAST
0023 150 PLTM	0028 155 CULT DISKH	0004 343 CULT NOTIL
0023 175 CULT ADDEC	0028 174 CROP W3	0004 343 CROP CORN
0023 332 CULT ROLLER	0028 174 PLTM	0004 343 PLTM
0023 332 LAST	0028 174 FERT N1	0005 037 FERT N12
0023 338 CULT NOTIL	0028 175 CULT ADDEC	0005 108 HARV G
0023 338 CROP CORN	0028 213 FERT N3	0005 108 LAST
0023 338 PLTM	0028 324 HARV G	0005 165 CULT NOTIL
0024 131 HARV G	0028 324 LAST	0005 165 CROP OATS
0024 131 LAST	0028 328 CULT NOTIL	0005 165 PLTM
0024 139 CULT DSKPL	0028 328 CROP SYBN	0005 165 FERT N1
0024 155 CULT DISKH	0028 328 PLTM	0005 226 FERT N6
0024 172 CROP OATS	-999 -999 X	0005 281 HARV G
0024 172 PLTM		0005 281 LAST
0024 175 CULT ADDEC	4 Block # No Till currently	0005 333 CULT NOTIL
0024 200 FERT N3	2016 Last year	0005 333 CROP SYBN
0024 287 HARV G	9 Repeats # years	0005 333 PLTM
0024 287 LAST	2008 Output starting year	0006 100 HARV G
0024 288 CULT NOTIL	1 Output Month	0006 100 LAST
0024 288 CROP SYBN	1 Output interval	0006 192 CULT NOTIL
0024 288 PLTM	C Weather choice	0006 192 CROP W3
0025 114 HARV G	0001 084 HARV G	0006 192 PLTM
0025 114 LAST	0001 085 LAST	0006 192 FERT N1
0025 130 CULT DSKPL	0001 133 CULT NOTIL	0006 241 FERT N9
0025 155 CULT DISKH	0001 133 CROP HV	0006 322 HARV G
0025 174 CROP W3	0001 133 PLTM	0006 322 LAST
0025 174 PLTM	0001 289 CULT ROLLER	0006 337 CULT NOTIL
0025 174 FERT N1	0001 289 LAST	0006 337 CROP SYBN
0025 175 CULT ADDEC	0001 290 CULT NOTIL	0006 337 PLTM
0025 213 FERT N3	0001 290 CROP CORN	0007 098 HARV G
0025 324 HARV G	0001 290 PLTM	0007 098 LAST
0025 324 LAST	0002 125 HARV G	0007 126 CULT NOTIL
0025 328 CULT NOTIL	0002 125 LAST	0007 126 CROP HV
0025 328 CROP SYBN	0002 195 CULT NOTIL	0007 126 PLTM
0025 328 PLTM	0002 195 CROP OATS	0007 272 CULT ROLLER
0026 118 HARV G	0002 195 PLTM	0007 272 LAST
0026 118 LAST	0002 195 FERT N1	0007 335 CULT NOTIL
0026 130 CULT DSKPL	0002 217 FERT N8	0007 335 CROP SORG_PF
0026 155 CULT DISKH	0002 313 HARV G	0007 335 PLTM
0026 162 CROP HV	0002 313 LAST	0008 090 HARV G
0026 162 PLTM	0002 331 CULT NOTIL	0008 090 LAST
0026 175 CULT ADDEC	0002 331 CROP SYBN	0008 177 CULT NOTILL
0026 300 CULT ROLLER	0002 331 PLTM	0008 177 CROP OATS
0026 300 LAST	0003 123 HARV G	0008 177 PLTM
0026 302 CULT NOTIL	0003 123 LAST	0008 177 FERT N1.2
0026 302 CROP CORN	0003 191 CULT NOTIL	0008 238 FERT N8
0026 302 PLTM	0003 191 CROP W3	0008 324 HARV G

0008 325 LAST  
0008 337 CULT NOTIL  
0008 337 CROP SYBN  
0008 337 PLTM  
0009 097 HARV G  
0009 098 LAST  
0009 190 CULT NOTILL  
0009 190 CROP W3  
0009 190 PLTM  
0009 190 FERT N1.2  
0009 238 FERT N8  
0009 324 HARV G  
0009 325 LAST  
-999 -999 X

**Apêndice 6. Parâmetros das culturas no arquivo CROP.100.**

<b>Campo Nativo - CNPF</b>	0.20000	FSDETH(1)	5.00000	PPDF(4)
0.42000	PRDX(1)	0.95000	FSDETH(2)	0.00000
27.0000	PPDF(1)	0.20000	FSDETH(3)	1800.000
45.0000	PPDF(2)	150.000	FSDETH(4)	0.40000
1.00000	PPDF(3)	0.15000	FALLRT	150.0000
3.00000	PPDF(4)	0.40000	RDRJ	2
0.00000	BIOFLG	0.30000	RDRM	0.60000
60.0000	BIOK5	0.14000	RDSRFC	0.50000
1.00000	PLTMRF	2.00000	RTDTMP	60.00000
100.000	FULCAN	0.50000	CRPRTF(1)	0.20000
1	FRTCINDX	0.00000	CRPRTF(2)	0.10000
0.30000	FRTC(1)	0.00000	CRPRTF(3)	0.40000
0.30000	FRTC(2)	0.05000	MRTFRAC	0.30000
3.00000	FRTC(3)	0.00800	SNFXMX(1)	0.60000
0.20000	FRTC(4)	-15.000	DEL13C	0.20000
0.10000	FRTC(5)	1.00000	CO2IPR	400.000
0.10000	CFRTC(1)	0.77000	CO2ITR	12.00000
0.08000	CFRTC(2)	1.00000	CO2ICE(1,1,1)	100.0000
0.10000	CFRTC(3)	1.00000	CO2ICE(1,1,2)	100.0000
0.08000	CFRTC(4)	1.00000	CO2ICE(1,1,3)	40.00000
400.000	BIOMAX	1.00000	CO2ICE(1,2,1)	160.00000
30.00000	PRAMN(1,1)	1.00000	CO2ICE(1,2,2)	200.00000
390.0000	PRAMN(2,1)	1.00000	CO2ICE(1,2,3)	25.00000
340.0000	PRAMN(3,1)	1.00000	CO2IRS	200.00000
40.00000	PRAMN(1,2)	0.01525	CKMRSPMX(1)	230.00000
390.0000	PRAMN(2,2)	0.00300	CKMRSPMX(2)	100.00000
340.0000	PRAMN(3,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)	260.00000
35.00000	PRAMX(1,1)	0.00000	CMRSPNPP(1)	270.00000
440.0000	PRAMX(2,1)	0.00000	CMRSPNPP(2)	45.00000
440.0000	PRAMX(3,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)	390.00000
80.00000	PRAMX(1,2)	1.00000	CMRSPNPP(4)	340.00000
440.0000	PRAMX(2,2)	4.00000	CMRSPNPP(5)	0.00000
440.0000	PRAMX(3,2)	1.50000	CMRSPNPP(6)	0.00000
50.00000	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(1)	0.00000
390.0000	PRBMN(2,1)	0.23000	CGRESP(2)	60.00000
340.0000	PRBMN(3,1)	0.23000	CGRESP(3)	420.00000
0.00000	PRBMN(1,2)	0.20000	NO3PREF(1)	420.000
0.00000	PRBMN(2,2)	5	CLAYPG	0.00000
0.00000	PRBMN(3,2)	0.50000	CMIX	0.00000
55.00000	PRBMX(1,1)	10.00000	DDEMERG	0.00000
420.0000	PRBMX(2,1)	1500.000	DDBASE	0.16000
420.0000	PRBMX(3,1)	7.00000	TMPKILL	0.00000
0.00000	PRBMX(1,2)	12.00000	BASETTEMP(1)	0.07000
0.00000	PRBMX(2,2)	35.00000	BASETTEMP(2)	0.00000
0.00000	PRBMX(3,2)	100.000	MNDDHRV	0.07000
0.02000	FLIGNI(1,1)	300.000	MXDDHRV	0.00000
0.00120	FLIGNI(2,1)	120.00	CURGDYS	0.40000
0.26000	FLIGNI(1,2)	0.5000	CLSGRES	0.25000
-0.00150	FLIGNI(2,2)	0.12000	CMXTURN	1.00000
0.26000	FLIGNI(1,3)	0.37800	WSCOEFF(1,1)	0.00000
-0.00150	FLIGNI(2,3)	9.00000	WSCOEFF(1,2)	0.85000
0.00000	HIMAX	1.00000	NPP2CS(1)	0.60000
0.00000	HIWSF	0.50000	SFAVAIL(1)	0.60000
0.00000	HIMON(1)			0.04000
0.00000	HIMON(2)			0.00000
0.50000	EFRGRN(1)	2.75000	PRDX(1)	0.00000
0.00000	EFRGRN(2)	18.00000	PPDF(1)	0.00000
0.00000	EFRGRN(3)	35.00000	PPDF(2)	200.000
0.04000	VLOSSP	0.50000	PPDF(3)	0.12000
				FALLRT

0.05000	RDRJ	0.20000	FRTC(2)	-27.0000	DEL13C
0.10000	RDRM	30.00000	FRTC(3)	1.00000	CO2IPR
0.14000	RDSRFC	0.20000	FRTC(4)	0.77000	CO2ITR
2.00000	RTDTMP	0.10000	FRTC(5)	1.00000	CO2ICE(1,1,1)
0.00000	CRPRTF(1)	0.40000	CFRTC(1)	1.00000	CO2ICE(1,1,2)
0.00000	CRPRTF(2)	0.25000	CFRTC(2)	1.00000	CO2ICE(1,1,3)
0.00000	CRPRTF(3)	0.60000	CFRTCW(1)	1.30000	CO2ICE(1,2,1)
0.05000	MRTFRAC	0.40000	CFRTCW(2)	1.00000	CO2ICE(1,2,2)
0.00000	SNFXMX(1)	400.0000	BIOMAX	1.00000	CO2ICE(1,2,3)
-27.000	DEL13C	10.00000	PRAMN(1,1)	1.00000	CO2IRS
1.30000	CO2IPR	10000000	PRAMN(2,1)	0.00300	CKMRSPMX(1)
0.77000	CO2ITR	125.00000	PRAMN(3,1)	0.00300	CKMRSPMX(2)
1.00000	CO2ICE(1,1,1)	15.00000	PRAMN(1,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)
1.00000	CO2ICE(1,1,2)	100.00000	PRAMN(2,2)	0.00000	CMRSPNPP(1)
1.00000	CO2ICE(1,1,3)	125.00000	PRAMN(3,2)	0.00000	CMRSPNPP(2)
1.30000	CO2ICE(1,2,1)	15.00000	PRAMX(1,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)
1.00000	CO2ICE(1,2,2)	133.00000	PRAMX(2,1)	1.00000	CMRSPNPP(4)
1.00000	CO2ICE(1,2,3)	160.00000	PRAMX(3,1)	4.00000	CMRSPNPP(5)
1.00000	CO2IRS	20.00000	PRAMX(1,2)	1.50000	CMRSPNPP(6)
0.01525	CKMRSPMX(1)	133.00000	PRAMX(2,2)	0.23000	CGRESP(1)
0.38000	CKMRSPMX(2)	160.00000	PRAMX(3,2)	0.23000	CGRESP(2)
0.16000	CKMRSPMX(3)	17.00000	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(3)
0.00000	CMRSPNPP(1)	100.00000	PRBMN(2,1)	0.25000	NO3PREF(1)
0.00000	CMRSPNPP(2)	125.00000	PRBMN(3,1)	3	CLAYPG
1.25000	CMRSPNPP(3)	0.00000	PRBMN(1,2)	0.50000	CMIX
1.00000	CMRSPNPP(4)	0.00000	PRBMN(2,2)	100.000	DDEMERG
4.00000	CMRSPNPP(5)	0.00000	PRBMN(3,2)	300.000	DDBASE
1.50000	CMRSPNPP(6)	22.00000	PRBMX(1,1)	-5.0000	TMPKILL
0.25000	CGRESP(1)	133.00000	PRBMX(2,1)	10.0000	BASETTEMP(1)
0.25000	CGRESP(2)	160.000	PRBMX(3,1)	30.0000	BASETTEMP(2)
0.29000	CGRESP(3)	0.00000	PRBMX(1,2)	500.000	MNDDHRV
0.25000	NO3PREF(1)	0.00000	PRBMX(2,2)	600.000	MXDDHRV
5	CLAYPG	0.00000	PRBMX(3,2)	120.000	CURGDYS
0.50000	CMIX	0.04000	FLIGNI(1,1)	0.50000	CLSGRES
7.00000	DDEMERG	0.00120	FLIGNI(2,1)	0.12000	CMXTURN
1400.00	DDBASE	0.26000	FLIGNI(1,2)	0.37800	WSCOEFF(1,1)
-5.00000	TMPKILL	-0.0015	FLIGNI(2,2)	9.00000	WSCOEFF(1,2)
5.00000	BASETTEMP(1)	0.00120	FLIGNI(1,3)	1.00000	NPP2CS(1)
27.00000	BASETTEMP(2)	0.02000	FLIGNI(2,3)	0.15000	SFAVAIL(1)
400.0000	MNDDHRV	0.02000	HIMAX		
500.0000	MXDDHRV	0.00000	HIWSF		
150.0000	CURGDYS	1.00000	HIMON(1)		<b>Ervilhaca – mudança clima</b>
0.50000	CLSGRES	1.00000	HIMON(2)	0.40000	<b>HV_CC</b>
0.12000	CMXTURN	0.50000	EFRGRN(1)	18.00000	PRDX(1)
0.37800	WSCOEFF(1,1)	0.00000	EFRGRN(2)	32.00000	PPDF(1)
9.00000	WSCOEFF(1,2)	0.00000	EFRGRN(3)	0.80000	PPDF(2)
1.00000	NPP2CS(1)	0.02000	VLOSSP	3.50000	PPDF(3)
0.50000	SFAVAIL(1)	0.30000	FSDETH(1)	0.00000	PPDF(4)
		0.40000	FSDETH(2)	0.00000	BIOFLG
		0.10000	FSDETH(3)	200.000	BIOK5
		500.0000	FSDETH(4)	0.50000	PLTMRF
		0.50000	FALLRT	100.000	FULCAN
		0.40000	RDRJ	4	FRTCINDX
		0.10000	RDRM	0.20000	FRTC(1)
		0.14000	RDSRFC	0.20000	FRTC(2)
		2.00000	RTDTMP	30.00000	FRTC(3)
		0.50000	CRPRTF(1)	0.20000	FRTC(4)
		0.00000	CRPRTF(2)	0.10000	FRTC(5)
		0.00000	CRPRTF(3)	0.40000	CFRTC(1)
		0.05000	MRTFRAC	0.25000	CFRTC(2)
		0.06000	SNFXMX(1)	0.60000	CFRTCW(1)
				0.40000	CFRTCW(2)

400.000	BIOMAX	1.00000	CO2ICE(1,2,3)	230.0	PRAMX(3,1)
10.0000	PRAMN(1,1)	1.00000	CO2IRS	120.0	PRAMX(1,2)
1000000	PRAMN(2,1)	0.00300	CKMRSPMX(1)	260.0	PRAMX(2,2)
125.0000	PRAMN(3,1)	0.00300	CKMRSPMX(2)	270.0	PRAMX(3,2)
15.00000	PRAMN(1,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)	45.0	PRBMN(1,1)
100.0000	PRAMN(2,2)	0.00000	CMRSPNPP(1)	390.0	PRBMN(2,1)
125.0000	PRAMN(3,2)	0.00000	CMRSPNPP(2)	340.0	PRBMN(3,1)
15.00000	PRAMX(1,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)	0.0	PRBMN(1,2)
133.0000	PRAMX(2,1)	1.00000	CMRSPNPP(4)	0.0	PRBMN(2,2)
160.0000	PRAMX(3,1)	4.00000	CMRSPNPP(5)	0.0	PRBMN(3,2)
20.00000	PRAMX(1,2)	1.50000	CMRSPNPP(6)	60.0	PRBMX(1,1)
133.00000	PRAMX(2,2)	0.23000	CGRESP(1)	420.0	PRBMX(2,1)
160.00000	PRAMX(3,2)	0.23000	CGRESP(2)	420.0	PRBMX(3,1)
17.00000	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(3)	0.0	PRBMX(1,2)
100.00000	PRBMN(2,1)	0.25000	NO3PREF(1)	0.0	PRBMX(2,2)
125.00000	PRBMN(3,1)	3	CLAYPG	0.0	PRBMX(3,2)
0.00000	PRBMN(1,2)	0.50000	CMIX	0.15	FLIGNI(1,1)
0.00000	PRBMN(2,2)	100.000	DDEMERG	0.0	FLIGNI(2,1)
0.00000	PRBMN(3,2)	600.000	DDBASE	0.06	FLIGNI(1,2)
22.00000	PRBMX(1,1)	-5.0000	TMPKILL	0.0	FLIGNI(2,2)
133.000	PRBMX(2,1)	10.0000	BASETTEMP(1)	0.00	FLIGNI(1,3)
160.000	PRBMX(3,1)	30.0000	BASETTEMP(2)	0.0	FLIGNI(2,3)
0.00000	PRBMX(1,2)	500.000	MNDDHRV	0.38	HIMAX
0.00000	PRBMX(2,2)	600.000	MXDDHRV	0.42	HIWSF
0.00000	PRBMX(3,2)	120.000	CURGDYS	1.0	HIMON(1)
0.04000	FLIGNI(1,1)	0.50000	CLSGRES	0.0	HIMON(2)
0.00120	FLIGNI(2,1)	0.12000	CMXTURN	0.75	EFRGRN(1)
0.26000	FLIGNI(1,2)	0.37800	WSCOEFF(1,1)	0.6	EFRGRN(2)
-0.0015	FLIGNI(2,2)	9.00000	WSCOEFF(1,2)	0.6	EFRGRN(3)
0.00120	FLIGNI(1,3)	1.00000	NPP2CS(1)	0.04	VLOSSP
0.02000	FLIGNI(2,3)	0.15000	SFAVAIL(1)	0.0	FSDETH(1)
0.02000	HIMAX			0.0	FSDETH(2)
0.00000	HIWSF			0.0	FSDETH(3)
1.00000	HIMON(1)	0.9500	PRDX(1)	200.0	FSDETH(4)
1.00000	HIMON(2)	20.0	PPDF(1)	0.12	FALLRT
0.50000	EFRGRN(1)	30.0	PPDF(2)	0.40000	RDRJ
0.00000	EFRGRN(2)	0.8	PPDF(3)	0.12000	RDRM
0.00000	EFRGRN(3)	1.5	PPDF(4)	0.05000	RDSRFC
0.02000	VLOSSP	0.0	BIOFLG	2.0	RTDTMP
0.30000	FSDETH(1)	1800.0	BIOK5	0.0	CRPRTF(1)
0.40000	FSDETH(2)	0.5	PLTMRF	0.0	CRPRTF(2)
0.10000	FSDETH(3)	150.0	FULCAN	0.0	CRPRTF(3)
500.000	FSDETH(4)	5.00000	FRTCINDX	0.05000	MRTFRAC
0.50000	FALLRT	0.4	FRTC(1)	0.0	SNFXMX(1)
0.40000	RDRJ	0.1	FRTC(2)	-27.0	DEL13C
0.10000	RDRM	90.0	FRTC(3)	1.3	CO2IPR(1)
0.14000	RDSRFC	0.20000	FRTC(4)	0.77	CO2ITR(1)
2.00000	RTDTMP	0.1	FRTC(5)	1.0	CO2ICE(1,1,1)
0.50000	CRPRTF(1)	0.4	CFRTC(1)	1.0	CO2ICE(1,1,2)
0.00000	CRPRTF(2)	0.25	CFRTC(2)	1.0	CO2ICE(1,1,3)
0.00000	CRPRTF(3)	0.6	CFRTCW(1)	1.3	CO2ICE(1,2,1)
0.05000	MRTFRAC	0.1	CFRTCW(2)	1.0	CO2ICE(1,2,2)
0.06000	SNFXMX(1)	400.0	BIOMAX	1.0	CO2ICE(1,2,3)
-27.000	DEL13C	20.0	PRAMN(1,1)	1.0	CO2IRS(1)
1.00000	CO2IPR	100.0	PRAMN(2,1)	0.01525	CKMRSPMX(1)
0.77000	CO2ITR	100.0	PRAMN(3,1)	0.30000	CKMRSPMX(2)
1.00000	CO2ICE(1,1,1)	50.0	PRAMN(1,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)
1.00000	CO2ICE(1,1,2)	160.0	PRAMN(2,2)	0.00000	CMRSPNPP(1)
1.00000	CO2ICE(1,1,3)	200.0	PRAMN(3,2)	0.00000	CMRSPNPP(2)
1.30000	CO2ICE(1,2,1)	40.0	PRAMX(1,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)
1.00000	CO2ICE(1,2,2)	200.0	PRAMX(2,1)	1.00000	CMRSPNPP(4)

**Trigo - W3**

4.00000	CMRSPNPP(5)	0.0	PRBMN(2,2)	70.0000	DDEMERG
2.50000	CMRSPNPP(6)	0.0	PRBMN(3,2)	1700.00	DDBASE
0.23000	CGRESP(1)	60.0	PRBMX(1,1)	-5.0000	TMPKILL
0.23000	CGRESP(2)	420.0	PRBMX(2,1)	0.000000	BASETEMP(1)
0.23000	CGRESP(3)	420.0	PRBMX(3,1)	30.0000	BASETEMP(2)
0.25000	NO3PREF(1)	0.0	PRBMX(1,2)	500.000	MNDDHRV
3.00000	CLAYPG	0.0	PRBMX(2,2)	600.000	MXDDHRV
0.50000	CMIX	0.0	PRBMX(3,2)	120.0	CURGDYS
70.0000	DDEMERG	0.15	FLIGNI(1,1)	0.5	CLSGRES
1600.00	DDBASE	0.0	FLIGNI(2,1)	0.12	CMXTURN
-5.0000	TMPKILL	0.06	FLIGNI(1,2)	0.378	WSCOEFF(1,1)
0.000000	BASETEMP(1)	0.0	FLIGNI(2,2)	9.0	WSCOEFF(1,2)
30.0000	BASETEMP(2)	0.00	FLIGNI(1,3)	1.0	NPP2CS(1)
500.000	MNDDHRV	0.0	FLIGNI(2,3)	0.15	SFAVAIL(1)
600.000	MXDDHRV	0.38	HIMAX		
120.0	CURGDYS	0.42	HIWSF		<b>Milho - CORN</b>
0.5	CLSGRES	1.0	HIMON(1)	1.1000	PRDX(1)
0.12	CMXTURN	0.0	HIMON(2)	26.0	PPDF(1)
0.378	WSCOEFF(1,1)	0.75	EFRGRN(1)	45.0	PPDF(2)
9.0	WSCOEFF(1,2)	0.6	EFRGRN(2)	1.0	PPDF(3)
1.0	NPP2CS(1)	0.6	EFRGRN(3)	2.5	PPDF(4)
0.15	SFAVAIL(1)	0.04	VLOSSP	0.0	BIOFLG
		0.0	FSDETH(1)	1800.0	BIOK5
<b>Trigo – mudança clima</b>		0.0	FSDETH(2)	0.5	PLTMRF
<b>W3_CC</b>		0.0	FSDETH(3)	150.0	FULCAN
0.9500	PRDX(1)	200.0	FSDETH(4)	5.0000	FRTCINDX
20.0	PPDF(1)	0.12	FALLRT	0.5	FRTC(1)
30.0	PPDF(2)	0.4000	RDRJ	0.05	FRTC(2)
0.8	PPDF(3)	0.1200	RDRM	30.0	FRTC(3)
1.5	PPDF(4)	0.0500	RDSRFC	0.20	FRTC(4)
0.0	BIOFLG	2.0	RTDTMP	0.10	FRTC(5)
1800.0	BIOK5	0.0	CRPRTF(1)	0.1	CFRTCN(1)
0.5	PLTMRF	0.0	CRPRTF(2)	0.1	CFRTCN(2)
150.0	FULCAN	0.0	CRPRTF(3)	0.1	CFRTCW(1)
5.00000	FRTCINDX	0.05000	MRTFRAC	0.1	CFRTCW(2)
0.4	FRTC(1)	0.0	SNFXMX(1)	700.0	BIOMAX
0.1	FRTC(2)	-27.0	DEL13C	20.0	PRAMN(1,1)
90.0	FRTC(3)	1.3	CO2IPR(1)	150.0	PRAMN(2,1)
0.20000	FRTC(4)	0.77	CO2ITR(1)	190.0	PRAMN(3,1)
0.1	FRTC(5)	1.0	CO2ICE(1,1,1)	62.5	PRAMN(1,2)
0.4	CFRTCN(1)	1.0	CO2ICE(1,1,2)	150.0	PRAMN(2,2)
0.25	CFRTCN(2)	1.0	CO2ICE(1,1,3)	150.0	PRAMN(3,2)
0.6	CFRTCW(1)	1.3	CO2ICE(1,2,1)	40.0	PRAMX(1,1)
0.1	CFRTCW(2)	1.0	CO2ICE(1,2,2)	230.0	PRAMX(2,1)
400.0	BIOMAX	1.0	CO2ICE(1,2,3)	230.0	PRAMX(3,1)
20.0	PRAMN(1,1)	1.0	CO2IRS(1)	125.0	PRAMX(1,2)
100.0	PRAMN(2,1)	0.01525	CKMRSPMX(1)	230.0	PRAMX(2,2)
100.0	PRAMN(3,1)	0.30000	CKMRSPMX(2)	230.0	PRAMX(3,2)
50.0	PRAMN(1,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)	45.0	PRBMN(1,1)
160.0	PRAMN(2,2)	0.00000	CMRSPNPP(1)	390.0	PRBMN(2,1)
200.0	PRAMN(3,2)	0.00000	CMRSPNPP(2)	340.0	PRBMN(3,1)
40.0	PRAMX(1,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)	0.0	PRBMN(1,2)
200.0	PRAMX(2,1)	1.00000	CMRSPNPP(4)	0.0	PRBMN(2,2)
230.0	PRAMX(3,1)	4.00000	CMRSPNPP(5)	0.0	PRBMN(3,2)
120.0	PRAMX(1,2)	2.50000	CMRSPNPP(6)	60.0	PRBMX(1,1)
260.0	PRAMX(2,2)	0.23000	CGRESP(1)	420.0	PRBMX(2,1)
270.0	PRAMX(3,2)	0.23000	CGRESP(2)	420.0	PRBMX(3,1)
45.0	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(3)	0.0	PRBMX(1,2)
390.0	PRBMN(2,1)	0.25000	NO3PREF(1)	0.0	PRBMX(2,2)
340.0	PRBMN(3,1)	3.00000	CLAYPG	0.0	PRBMX(3,2)
0.0	PRBMN(1,2)	0.50000	CMIX	0.12	FLIGNI(1,1)

0.0	FLIGNI(2,1)	0.12	CMXTURN	0.75	EFRGRN(1)
0.06	FLIGNI(1,2)	0.378	WSCOEFF(1,1)	0.6	EFRGRN(2)
0.0	FLIGNI(2,2)	9.0	WSCOEFF(1,2)	0.6	EFRGRN(3)
0.00	FLIGNI(1,3)	1.0	NPP2CS(1)	0.04	VLOSSP
0.0	FLIGNI(2,3)	0.15	SFAVAIL(1)	0.0	FSDETH(1)
0.47	HIMAX			0.0	FSDETH(2)
0.5	HIWSF		<b>Sorgo – SORG_PF</b>	0.0	FSDETH(3)
1.0	HIMON(1)	0.750	PRDX(1)	500.0	FSDETH(4)
0.0	HIMON(2)	26.0	PPDF(1)	0.1	FALLRT
0.75	EFRGRN(1)	45.0	PPDF(2)	0.4000	RDRJ
0.6	EFRGRN(2)	1.0	PPDF(3)	0.1200	RDRM
0.6	EFRGRN(3)	2.5	PPDF(4)	0.0500	RDSRFC
0.04	VLOSSP	0.0	BIOFLG	2.0	RTDTMP
0.0	FSDETH(1)	1800.0	BIOK5	0.0	CRPRTF(1)
0.0	FSDETH(2)	0.5	PLTMRF	0.0	CRPRTF(2)
0.0	FSDETH(3)	150.0	FULCAN	0.0	CRPRTF(3)
500.0	FSDETH(4)	5.00000	FRTCINDX	0.050	MRTFRAC
0.1	FALLRT	0.5	FRTC(1)	0.0	SNFXMX(1)
0.400	RDRJ	0.05	FRTC(2)	-15.0	DEL13C
0.120	RDRM	30.0	FRTC(3)	1.0	CO2IPR(1)
0.050	RDSRFC	0.20	FRTC(4)	0.77	CO2ITR(1)
2.0	RTDTMP	0.10	FRTC(5)	1.0	CO2ICE(1,1,1)
0.0	CRPRTF(1)	0.1	CFRTCW(1)	1.0	CO2ICE(1,1,2)
0.0	CRPRTF(2)	0.1	CFRTCW(2)	1.0	CO2ICE(1,1,3)
0.0	CRPRTF(3)	0.1	CFRTCW(1)	1.0	CO2ICE(1,2,1)
0.0500	MRTFRAC	0.1	CFRTCW(2)	1.0	CO2ICE(1,2,2)
0.0	SNFXMX(1)	400.0	BIOMAX	1.0	CO2ICE(1,2,3)
-15.0	DEL13C	20.0	PRAMN(1,1)	1.0	CO2IRS(1)
1.0	CO2IPR(1)	150.0	PRAMN(2,1)	0.01525	CKMRSPMX(1)
0.77	CO2ITR(1)	190.0	PRAMN(3,1)	0.30000	CKMRSPMX(2)
1.0	CO2ICE(1,1,1)	50.0	PRAMN(1,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)
1.0	CO2ICE(1,1,2)	150.0	PRAMN(2,2)	0.00000	CMRSPNPP(1)
1.0	CO2ICE(1,1,3)	150.0	PRAMN(3,2)	0.00000	CMRSPNPP(2)
1.0	CO2ICE(1,2,1)	40.0	PRAMX(1,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)
1.0	CO2ICE(1,2,2)	230.0	PRAMX(2,1)	1.00000	CMRSPNPP(4)
1.0	CO2ICE(1,2,3)	230.0	PRAMX(3,1)	4.00000	CMRSPNPP(5)
1.0	CO2IRS(1)	125.0	PRAMX(1,2)	2.50000	CMRSPNPP(6)
0.01525	CKMRSPMX(1)	230.0	PRAMX(2,2)	0.23000	CGRESP(1)
0.30000	CKMRSPMX(2)	230.0	PRAMX(3,2)	0.23000	CGRESP(2)
0.16000	CKMRSPMX(3)	45.0	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(3)
0.00000	CMRSPNPP(1)	390.0	PRBMN(2,1)	0.25000	NO3PREF(1)
0.00000	CMRSPNPP(2)	340.0	PRBMN(3,1)	5.00000	CLAYPG
1.25000	CMRSPNPP(3)	0.0	PRBMN(1,2)	0.50000	CMIX
1.00000	CMRSPNPP(4)	0.0	PRBMN(2,2)	100.000	DDEMERG
4.00000	CMRSPNPP(5)	0.0	PRBMN(3,2)	1150.00	DDBASE
2.50000	CMRSPNPP(6)	60.0	PRBMX(1,1)	3.00000	TMPKILL
0.23000	CGRESP(1)	420.0	PRBMX(2,1)	10.0000	BASETEMP(1)
0.23000	CGRESP(2)	420.0	PRBMX(3,1)	30.0000	BASETEMP(2)
0.23000	CGRESP(3)	0.0	PRBMX(1,2)	500.000	MNDDHRV
0.25000	NO3PREF(1)	0.0	PRBMX(2,2)	600.000	MXDDHRV
5.00000	CLAYPG	0.0	PRBMX(3,2)	120.0	CURGDYS
0.50000	CMIX	0.012	FLIGNI(1,1)	0.5	CLSGRES
100.000	DDEMERG	0.0	FLIGNI(2,1)	0.12	CMXTURN
1000.00	DDBASE	0.06	FLIGNI(1,2)	0.378	WSCOEFF(1,1)
0.00000	TMPKILL	0.0	FLIGNI(2,2)	9.0	WSCOEFF(1,2)
10.0000	BASETEMP(1)	0.0	FLIGNI(1,3)	1.0	NPP2CS(1)
30.0000	BASETEMP(2)	0.0	FLIGNI(2,3)	0.15	SFAVAIL(1)
700.000	MNDDHRV	0.47	HIMAX		
800.000	MXDDHRV	0.25	HIWSF		<b>Sorgo – mudança clima</b>
120.0	CURGDYS	1.0	HIMON(1)		<b>SORG_PF_CC</b>
0.5	CLSGRES	0.0	HIMON(2)	0.750	PRDX(1)



26.0	PPDF(1)	0.1	FALLRT	0.4	FRTC(1)
45.0	PPDF(2)	0.40000	RDRJ	0.1	FRTC(2)
1.0	PPDF(3)	0.12000	RDRM	90.0	FRTC(3)
2.5	PPDF(4)	0.05000	RDSRFC	0.20000	FRTC(4)
0.0	BIOFLG	2.0	RTDTMP	0.1	FRTC(5)
1800.0	BIOK5	0.0	CRPRTF(1)	0.4	CFRTCW(1)
0.5	PLTMRP	0.0	CRPRTF(2)	0.25	CFRTCW(2)
150.0	FULCAN	0.0	CRPRTF(3)	0.5	CFRTCW(3)
5.00000	FRTCINDX	0.05000	MRTFRAC	0.1	CFRTCW(4)
0.5	FRTC(1)	0.0	SNFXMX(1)	800.0	BIOMAX
0.05	FRTC(2)	-15.0	DEL13C	20.00	PRAMN(1,1)
30.0	FRTC(3)	1.0	CO2IPR(1)	150.0	PRAMN(2,1)
0.20	FRTC(4)	0.77	CO2ITR(1)	190.0	PRAMN(3,1)
0.10	FRTC(5)	1.0	CO2ICE(1,1,1)	30.0	PRAMN(1,2)
0.1	CFRTCW(1)	1.0	CO2ICE(1,1,2)	150.0	PRAMN(2,2)
0.1	CFRTCW(2)	1.0	CO2ICE(1,1,3)	150.0	PRAMN(3,2)
0.1	CFRTCW(3)	1.0	CO2ICE(1,2,1)	10.0	PRAMX(1,1)
0.1	CFRTCW(4)	1.0	CO2ICE(1,2,2)	230.0	PRAMX(2,1)
400.0	BIOMAX	1.0	CO2ICE(1,2,3)	230.0	PRAMX(3,1)
20.0	PRAMN(1,1)	1.0	CO2IRS(1)	40.0	PRAMX(1,2)
150.0	PRAMN(2,1)	0.01525	CKMRSPMX(1)	230.0	PRAMX(2,2)
190.0	PRAMN(3,1)	0.30000	CKMRSPMX(2)	230.0	PRAMX(3,2)
50.0	PRAMN(1,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)	24.0	PRBMN(1,1)
150.0	PRAMN(2,2)	0.00000	CMRSPNPP(1)	390.0	PRBMN(2,1)
150.0	PRAMN(3,2)	0.00000	CMRSPNPP(2)	340.0	PRBMN(3,1)
40.0	PRAMX(1,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)	0.0	PRBMN(1,2)
230.0	PRAMX(2,1)	1.00000	CMRSPNPP(4)	0.0	PRBMN(2,2)
230.0	PRAMX(3,1)	4.00000	CMRSPNPP(5)	0.0	PRBMN(3,2)
125.0	PRAMX(1,2)	2.50000	CMRSPNPP(6)	28.0	PRBMX(1,1)
230.0	PRAMX(2,2)	0.23000	CGRESP(1)	420.0	PRBMX(2,1)
230.0	PRAMX(3,2)	0.23000	CGRESP(2)	420.0	PRBMX(3,1)
45.0	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(3)	0.0	PRBMX(1,2)
390.0	PRBMN(2,1)	0.25000	NO3PREF(1)	0.0	PRBMX(2,2)
340.0	PRBMN(3,1)	5.00000	CLAYPG	0.0	PRBMX(3,2)
0.0	PRBMN(1,2)	0.50000	CMIX	0.12	FLIGNI(1,1)
0.0	PRBMN(2,2)	100.000	DDEMERG	0.0	FLIGNI(2,1)
0.0	PRBMN(3,2)	1250.00	DDBASE	0.06	FLIGNI(1,2)
60.0	PRBMX(1,1)	3.00000	TMPKILL	0.0	FLIGNI(2,2)
420.0	PRBMX(2,1)	10.0000	BASETTEMP(1)	0.00	FLIGNI(1,3)
420.0	PRBMX(3,1)	30.0000	BASETTEMP(2)	0.0	FLIGNI(2,3)
0.0	PRBMX(1,2)	500.000	MNDDHRV	0.47	HIMAX
0.0	PRBMX(2,2)	600.000	MXDDHRV	0.40	HIWSF
0.0	PRBMX(3,2)	120.0	CURGDYS	1.0	HIMON(1)
0.012	FLIGNI(1,1)	0.5	CLSGRES	0.0	HIMON(2)
0.0	FLIGNI(2,1)	0.12	CMXTURN	0.67	EFRGRN(1)
0.06	FLIGNI(1,2)	0.378	WSCOEFF(1,1)	0.6	EFRGRN(2)
0.0	FLIGNI(2,2)	9.0	WSCOEFF(1,2)	0.6	EFRGRN(3)
0.0	FLIGNI(1,3)	1.0	NPP2CS(1)	0.04	VLOSSP
0.0	FLIGNI(2,3)	0.15	SFAVAIL(1)	0.0	FSDETH(1)
0.47	HIMAX			0.0	FSDETH(2)
0.25	HIWSF			0.0	FSDETH(3)
1.0	HIMON(1)	0.70000	PRDX(1)	500.0	FSDETH(4)
0.0	HIMON(2)	30.0	PPDF(1)	0.1	FALLRT
0.75	EFRGRN(1)	45.0	PPDF(2)	0.40000	RDRJ
0.6	EFRGRN(2)	2.0	PPDF(3)	0.12000	RDRM
0.6	EFRGRN(3)	2.8	PPDF(4)	0.05000	RDSRFC
0.04	VLOSSP	0.0	BIOFLG	2.0	RTDTMP
0.0	FSDETH(1)	1800.0	BIOK5	0.0	CRPRTF(1)
0.0	FSDETH(2)	0.5	PLTMRP	0.0	CRPRTF(2)
0.0	FSDETH(3)	150.0	FULCAN	0.0	CRPRTF(3)
500.0	FSDETH(4)	5.00000	FRTCINDX	0.05000	MRTFRAC

**Soja - SBYN**

0.0385	SNFXMX(1)	0.1	CFRTCW(2)	1.0	CO2ICE(1,2,2)
-27.0	DEL13C	800.0	BIOMAX	1.0	CO2ICE(1,2,3)
1.3	CO2IPR(1)	20.00	PRAMN(1,1)	1.0	CO2IRS(1)
0.77	CO2ITR(1)	150.0	PRAMN(2,1)	0.01525	CKMRSPMX(1)
1.0	CO2ICE(1,1,1)	190.0	PRAMN(3,1)	0.30000	CKMRSPMX(2)
1.0	CO2ICE(1,1,2)	30.0	PRAMN(1,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)
1.0	CO2ICE(1,1,3)	150.0	PRAMN(2,2)	0.00000	CMRSPNPP(1)
1.3	CO2ICE(1,2,1)	150.0	PRAMN(3,2)	0.00000	CMRSPNPP(2)
1.0	CO2ICE(1,2,2)	10.0	PRAMX(1,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)
1.0	CO2ICE(1,2,3)	230.0	PRAMX(2,1)	1.00000	CMRSPNPP(4)
1.0	CO2IRS(1)	230.0	PRAMX(3,1)	4.00000	CMRSPNPP(5)
0.01525	CKMRSPMX(1)	40.0	PRAMX(1,2)	2.50000	CMRSPNPP(6)
0.30000	CKMRSPMX(2)	230.0	PRAMX(2,2)	0.23000	CGRESP(1)
0.16000	CKMRSPMX(3)	230.0	PRAMX(3,2)	0.23000	CGRESP(2)
0.00000	CMRSPNPP(1)	24.0	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(3)
0.00000	CMRSPNPP(2)	390.0	PRBMN(2,1)	0.25000	NO3PREF(1)
1.25000	CMRSPNPP(3)	340.0	PRBMN(3,1)	3.00000	CLAYPG
1.00000	CMRSPNPP(4)	0.0	PRBMN(1,2)	0.50000	CMIX
4.00000	CMRSPNPP(5)	0.0	PRBMN(2,2)	70.0000	DDEMERG
2.50000	CMRSPNPP(6)	0.0	PRBMN(3,2)	1200.00	DDBASE
0.23000	CGRESP(1)	28.0	PRBMX(1,1)	0.00000	TMPKILL
0.23000	CGRESP(2)	420.0	PRBMX(2,1)	10.0000	BASETEMP(1)
0.23000	CGRESP(3)	420.0	PRBMX(3,1)	30.0000	BASETEMP(2)
0.25000	NO3PREF(1)	0.0	PRBMX(1,2)	500.000	MNDDDR
3.00000	CLAYPG	0.0	PRBMX(2,2)	600.000	MXDDHRV
0.50000	CMIX	0.0	PRBMX(3,2)	120.0	CURGDYS
70.0000	DDEMERG	0.12	FLIGNI(1,1)	0.5	CLSGRES
1100.00	DDBASE	0.0	FLIGNI(2,1)	0.12	CMXTURN
0.00000	TMPKILL	0.06	FLIGNI(1,2)	0.378	WSCOEFF(1,1)
10.0000	BASETEMP(1)	0.0	FLIGNI(2,2)	9.0	WSCOEFF(1,2)
30.0000	BASETEMP(2)	0.00	FLIGNI(1,3)	1.0	NPP2CS(1)
500.000	MNDDDR	0.0	FLIGNI(2,3)	0.15	SFAVAIL(1)
600.000	MXDDHRV	0.47	HIMAX		
120.0	CURGDYS	0.40	HIWSF		<b>Ervas daninhas - E</b>
0.5	CLSGRES	1.0	HIMON(1)	0.700000	PRDX(1)
0.12	CMXTURN	0.0	HIMON(2)	27.0	PPDF(1)
0.378	WSCOEFF(1,1)	0.67	EFRGRN(1)	45.0	PPDF(2)
9.0	WSCOEFF(1,2)	0.6	EFRGRN(2)	1.0	PPDF(3)
1.0	NPP2CS(1)	0.6	EFRGRN(3)	3.0	PPDF(4)
0.15	SFAVAIL(1)	0.04	VLOSSP	0.0	BIOFLG
		0.0	FSDETH(1)	1800.0	BIOK5
		0.0	FSDETH(2)	0.2	PLTMRF
		0.0	FSDETH(3)	100.0	FULCAN
		0.0	FSDETH(4)	5.00000	FRTCINDEX
0.70000	PRDX(1)	500.0	FALLRT	0.75	FRTC(1)
30.0	PPDF(1)	0.1	RDRJ	0.35	FRTC(2)
45.0	PPDF(2)	0.40000	RDRM	30.0	FRTC(3)
2.0	PPDF(3)	0.12000	RDSRFC	0.20000	FRTC(4)
2.8	PPDF(4)	0.05000	RTDTMP	0.1	FRTC(5)
0.0	BIOFLG	2.0	CRPRTF(1)	0.4	CFRTC(1)
1800.0	BIOK5	0.0	CRPRTF(2)	0.25	CFRTC(2)
0.5	PLTMRF	0.0	CRPRTF(3)	0.75	CFRTCW(1)
150.0	FULCAN	0.0	MRTFRAC	0.35	CFRTCW(2)
5.00000	FRTCINDEX	0.05000	SNFXMX(1)	400.0	BIOMAX
0.4	FRTC(1)	0.0385	DEL13C	40.0	PRAMN(1,1)
0.1	FRTC(2)	-27.0	CO2IPR(1)	390.0	PRAMN(2,1)
90.0	FRTC(3)	1.3	CO2ITR(1)	340.0	PRAMN(3,1)
0.20000	FRTC(4)	0.77	CO2ICE(1,1,1)	90.0	PRAMN(1,2)
0.1	FRTC(5)	1.0	CO2ICE(1,1,2)	390.0	PRAMN(2,2)
0.4	CFRTC(1)	1.0	CO2ICE(1,1,3)	340.0	PRAMN(3,2)
0.25	CFRTC(2)	1.0	CO2ICE(1,2,1)	35.0	PRAMX(1,1)
0.5	CFRTCW(1)	1.3			

440.0	PRAMX(2,1)	1.00000	CMRSPNPP(4)	0.0	PRBMN(2,2)
440.0	PRAMX(3,1)	4.00000	CMRSPNPP(5)	0.0	PRBMN(3,2)
95.0	PRAMX(1,2)	2.50000	CMRSPNPP(6)	55.0	PRBMX(1,1)
440.0	PRAMX(2,2)	0.23000	CGRESP(1)	420.0	PRBMX(2,1)
440.0	PRAMX(3,2)	0.23000	CGRESP(2)	420.0	PRBMX(3,1)
50.0	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(3)	0.0	PRBMX(1,2)
390.0	PRBMN(2,1)	0.25000	NO3PREF(1)	0.0	PRBMX(2,2)
340.0	PRBMN(3,1)	3.00000	CLAYPG	0.0	PRBMX(3,2)
0.0	PRBMN(1,2)	0.50000	CMIX	0.02	FLIGNI(1,1)
0.0	PRBMN(2,2)	20.0000	DDEMERG	0.0012	FLIGNI(2,1)
0.0	PRBMN(3,2)	800.000	DDBASE	0.26	FLIGNI(1,2)
55.0	PRBMX(1,1)	7.00000	TMPKILL	-0.0015	FLIGNI(2,2)
420.0	PRBMX(2,1)	10.0000	BASETEMP(1)	0.26	FLIGNI(1,3)
420.0	PRBMX(3,1)	30.0000	BASETEMP(2)	-0.0015	FLIGNI(2,3)
0.0	PRBMX(1,2)	500.000	MNDDHRV	0.02	HIMAX
0.0	PRBMX(2,2)	600.000	MXDDHRV	0.0	HIWSF
0.0	PRBMX(3,2)	120.0	CURGDYS	2.0	HIMON(1)
0.10	FLIGNI(1,1)	0.5	CLSGRES	1.0	HIMON(2)
0.0	FLIGNI(2,1)	0.5	CMXTURN	0.0	EFRGRN(1)
0.06	FLIGNI(1,2)	0.378	WSCOEFF(1,1)	0.0	EFRGRN(2)
0.1	FLIGNI(2,2)	9.0	WSCOEFF(1,2)	0.0	EFRGRN(3)
0.06	FLIGNI(1,3)	1.0	NPP2CS(1)	0.15	VLOSSP
0.1	FLIGNI(2,3)	0.15	SFAVAIL(1)	0.2	FSDETH(1)
0.05	HIMAX			0.95	FSDETH(2)
0.0	HIWSF		<b>Tifton - G2</b>	0.2	FSDETH(3)
2.0	HIMON(1)	2.00000	PRDX(1)	150.0	FSDETH(4)
1.0	HIMON(2)	28.0	PPDF(1)	0.15	FALLRT
0.0	EFRGRN(1)	45.0	PPDF(2)	0.40000	RDRJ
0.0	EFRGRN(2)	1.0	PPDF(3)	0.12000	RDRM
0.0	EFRGRN(3)	3.5	PPDF(4)	0.05000	RDSRFC
0.15	VLOSSP	1.0	BIOFLG	2.0	RTDTMP
0.2	FSDETH(1)	60.0	BIOK5	0.0	CRPRTF(1)
0.95	FSDETH(2)	1.0	PLTMRF	0.0	CRPRTF(2)
0.2	FSDETH(3)	100.0	FULCAN	0.0	CRPRTF(3)
150.0	FSDETH(4)	1.00000	FRTCINDEX	0.05000	MRTFRAC
0.18	FALLRT	0.60000	FRTC(1)	0.0	SNFXMX(1)
0.4000	RDRJ	0.20000	FRTC(2)	-15.0	DEL13C
0.1200	RDRM	30.0	FRTC(3)	1.0	CO2IPR(1)
0.0500	RDSRFC	0.20000	FRTC(4)	0.77	CO2ITR(1)
2.0	RTDTMP	0.1	FRTC(5)	1.0	CO2ICE(1,1,1)
0.0	CRPRTF(1)	0.4	CFRTCN(1)	1.0	CO2ICE(1,1,2)
0.0	CRPRTF(2)	0.25	CFRTCN(2)	1.0	CO2ICE(1,1,3)
0.0	CRPRTF(3)	0.6	CFRTCW(1)	1.0	CO2ICE(1,2,1)
0.0500	MRTFRAC	0.2	CFRTCW(2)	1.0	CO2ICE(1,2,2)
0.0	SNFXMX(1)	400.0	BIOMAX	1.0	CO2ICE(1,2,3)
-18.0	DEL13C	30.0	PRAMN(1,1)	1.0	CO2IRS(1)
1.075	CO2IPR(1)	390.0	PRAMN(2,1)	0.01525	CKMRSPMX(1)
0.77	CO2ITR(1)	340.0	PRAMN(3,1)	0.30000	CKMRSPMX(2)
1.0	CO2ICE(1,1,1)	70.0	PRAMN(1,2)	0.16000	CKMRSPMX(3)
1.0	CO2ICE(1,1,2)	390.0	PRAMN(2,2)	0.00000	CMRSPNPP(1)
1.0	CO2ICE(1,1,3)	340.0	PRAMN(3,2)	0.00000	CMRSPNPP(2)
1.075	CO2ICE(1,2,1)	50.0	PRAMX(1,1)	1.25000	CMRSPNPP(3)
1.0	CO2ICE(1,2,2)	440.0	PRAMX(2,1)	1.00000	CMRSPNPP(4)
1.0	CO2ICE(1,2,3)	440.0	PRAMX(3,1)	4.00000	CMRSPNPP(5)
1.0	CO2IRS(1)	120.0	PRAMX(1,2)	2.50000	CMRSPNPP(6)
0.01525	CKMRSPMX(1)	440.0	PRAMX(2,2)	0.23000	CGRESP(1)
0.30000	CKMRSPMX(2)	440.0	PRAMX(3,2)	0.23000	CGRESP(2)
0.16000	CKMRSPMX(3)	50.0	PRBMN(1,1)	0.23000	CGRESP(3)
0.00000	CMRSPNPP(1)	390.0	PRBMN(2,1)	0.25000	NO3PREF(1)
0.00000	CMRSPNPP(2)	340.0	PRBMN(3,1)	5.00000	CLAYPG
1.25000	CMRSPNPP(3)	0.0	PRBMN(1,2)	0.50000	CMIX

100.000	DDEMERG
1800.00	DDBASE
0.00000	TMPKILL
10.0000	BASETEMP(1)
30.0000	BASETEMP(2)
500.000	MNDDHRV
600.000	MXDDHRV
120.0	CURGDYS
0.5	CLSGRES
0.12	CMXTURN
0.378	WSCOEFF(1,1)
9.0	WSCOEFF(1,2)
1.0	NPP2CS(1)
0.15	SFAVAIL(1)

**Apêndice 7. Parâmetros de cultivo do arquivo CULT.100.**

## DISKH Disk Harrow

0.00000 CULTRA(1)  
 0.05000 CULTRA(2)  
 0.20000 CULTRA(3)  
 0.40000 CULTRA(4)  
 0.60000 CULTRA(5)  
 0.60000 CULTRA(6)  
 0.44000 CULTRA(7)  
 1.00000 CLTEFF(1)  
 2.00000 CLTEFF(2)  
 2.00000 CLTEFF(3)  
 1.00000 CLTEFF(4)

## DSKPL Disk Plow

0.05000 CULTRA(1)  
 0.05000 CULTRA(2)  
 0.75000 CULTRA(3)  
 0.95000 CULTRA(4)  
 0.75000 CULTRA(5)  
 0.75000 CULTRA(6)  
 1.00000 CULTRA(7)  
 2.00000 CLTEFF(1)  
 2.80000 CLTEFF(2)  
 2.80000 CLTEFF(3)  
 1.00000 CLTEFF(4)

## HERB Herbicide

1.00000 CULTRA(1)  
 0.00000 CULTRA(2)  
 0.00000 CULTRA(3)  
 0.20000 CULTRA(4)  
 0.50000 CULTRA(5)  
 0.80000 CULTRA(6)  
 1.00000 CULTRA(7)  
 0.00000 CLTEFF(1)  
 0.00000 CLTEFF(2)  
 0.00000 CLTEFF(3)  
 0.00000 CLTEFF(4)

## NOTIL No Till Drill

0.05000 CULTRA(1)  
 0.05000 CULTRA(2)  
 0.05000 CULTRA(3)  
 0.05000 CULTRA(4)  
 0.05000 CULTRA(5)  
 0.50000 CULTRA(6)  
 0.10000 CULTRA(7)  
 1.00000 CLTEFF(1)  
 1.00000 CLTEFF(2)  
 1.00000 CLTEFF(3)  
 1.00000 CLTEFF(4)

## ROLLER Roller

0.10000 CULTRA(1)  
 0.90000 CULTRA(2)  
 0.10000 CULTRA(3)  
 0.90000 CULTRA(4)  
 0.10000 CULTRA(5)  
 0.00000 CULTRA(6)  
 0.00000 CULTRA(7)  
 1.00000 CLTEFF(1)  
 1.00000 CLTEFF(2)  
 1.00000 CLTEFF(3)  
 1.00000 CLTEFF(4)