



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRODUÇÃO VEGETAL



**RENATO AMÉRICO DE ARAÚJO NETO**

**USO DO MODELO CENTURY NA DINÂMICA DO CARBONO DE SOLOS DO  
SEMIÁRIDO DE ALAGOAS: CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS EM  
AMBIENTE IRRIGADO E DE SEQUEIRO**

Rio Largo - AL

2019

**RENATO AMÉRICO DE ARAÚJO NETO**

**USO DO MODELO CENTURY NA DINÂMICA DO CARBONO DE SOLOS DO  
SEMIÁRIDO DE ALAGOAS: CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS EM  
AMBIENTE IRRIGADO E DE SEQUEIRO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Stoécio Malta Ferreira Maia

Rio Largo - AL

2019

Catálogo na fonte  
Universidade Federal de Alagoas  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias  
Bibliotecário: Erisson Rodrigues de Santana

A663u Araújo Neto, Renato Américo

Uso do modelo century na dinâmica do carbono de solos do semiárido de Alagoas: cenários climáticos futuros em ambiente irrigado e de sequeiro. Rio Largo-AL – 2019.

113 f.; il; 33 cm

TESE (Tese de Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2019.

Orientador(a): Prof. Dr. Stoécio Malta Ferreira Maia.

1. Modelagem. 2. Aquecimento global. 3. Carbono. 4. Irrigação

I. Título.

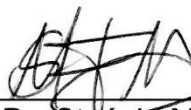
CDU: 631.67

TERMO DE APROVAÇÃO

RENATO AMÉRICO DE ARAÚJO NETO  
(Matrícula 15140058)

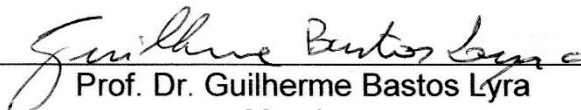
**“USO DO MODELO CENTURY NA DINÂMICA DO CARBONO DE SOLOS  
DO SEMIÁRIDO DE ALAGOAS: CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS EM  
AMBIENTE IRRIGADO E DE SEQUEIRO”**

Tese apresentada e avaliada pela banca examinadora em 08 de março de 2019, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.



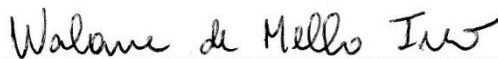
---

Prof. Dr. Stedcio Malta Ferreira Maia  
Presidente



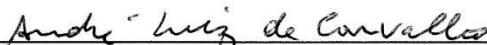
---

Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra  
Membro



---

Prof.ª Dr.ª Walane Maria Pereira de Mello Ivo  
Membro



---

Prof. Dr. André Luiz de Carvalho  
Membro

Rio Largo - AL  
Março-2019

A Deus, primeiramente, por me proporcionar os melhores momentos; à minha mãe, Malila, pelos ensinamentos prestados; aos meus queridos avós Renato Araújo (*in memorian*) e Jaminita Alves (*in memorian*), pelo carinho e amor que me prestaram; à minha amada esposa, Géssyca Melo, pelos conselhos concedidos durante o período de escrita.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, professor Dr. Stoécio Maia, pelos momentos primordiais de ensinamento durante a época do Doutorado;

Ao coordenador da Pós-Graduação, Prof. Iêdo Teodoro, pelo empenho na melhoria do curso de Doutorado em Agronomia;

Aos colegas de laboratório, em especial, Aldair Medeiros, Anderson Victor, Giordano Gonzaga, Deni Rafaela, Fernandinha, Victor e Thiago pelos excelentes momentos juntos e apoio acadêmico concedido em momentos de dúvida;

Ao Instituto Federal de Alagoas, Campus Marechal Deodoro, local este que foi fundamental para o meu amadurecimento e crescimento na vida acadêmica;

Aos professores do programa de pós-graduação, em especial àqueles que me abriam a mente pelo caminho acadêmico, Prof. Dr. José Leonaldo, Prof. Dr. Guilherme Lyra, Profa. Dra. Vilma Marques. Sou grato por cada ensinamento que vocês me concederam;

Aos doutores André Carvalho e Thiago Althoff, pelo passo inicial no modelo CENTURY. Sempre serei grato aos senhores;

Ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Cultura, através do projeto Rede Clima, pela concessão de apoio financeiro durante parte do curso.

**Meu cordial agradecimento.**

“A educação exige os maiores cuidados, porque influi sobre toda a vida.”

Sêneca

## RESUMO

A mudança de uso da terra, o uso extensivo do solo e práticas que envolvam manejo de irrigação, estão entre os fatores que afetam a quantidade e qualidade de matéria orgânica do solo (MOS), importante para o desenvolvimento agrícola e um componente essencial na mitigação do carbono na atmosfera. Na quantificação do carbono orgânico do solo (COS), um dos componentes da MOS, metodologias são adotadas, dentre elas a previsão da dinâmica do COS por meio de modelos matemáticos, indicando o modelo CENTURY como um dos que estimam com acurácia os teores do COS. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica do COS em diferentes solos do semiárido Alagoano, através do modelo CENTURY 4.5, adaptando e validando o modelo para as condições locais e simulando a dinâmica do COS em cenários futuros em ambiente de sequeiro e irrigado. O estudo foi realizado com o modelo CENTURY 4.5, com dados de entrada provenientes de três tipos de solos (Neossolo Quartzarênico, Neossolo Regolítico e Argissolo Vermelho Amarelo), em três municípios do semiárido do estado de Alagoas (Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi). O estudo foi constituído de duas etapas: etapa 1 – Estabilização, calibração e validação do CENTURY para os diferentes tipos de solo e sistemas de uso da terra (vegetação nativa, agricultura e pastagem); e etapa 2 – Simulação dos cenários futuros, considerando as seguintes condições: a) Agricultura de sequeiro, assumindo que não haverá aumento de temperatura e nem aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico; b) agricultura de sequeiro, assumindo que haverá aumento de temperatura e aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico; c) agricultura irrigada, assumindo aumento de temperatura e um ambiente mais rico em CO<sub>2</sub>. Na etapa 1, foi necessário a adaptação do modelo CENTURY na estimativa do COS, utilizando-se dados da literatura. A adaptação foi realizada em duas etapas: i) execução do modelo utilizando os dados da literatura e; ii) modificação dos parâmetros relacionados às taxas de decomposição do COS, adequando o modelo às condições edafoclimáticas das regiões de estudo. Na etapa 2, foram realizadas simulações em condições de cenários climáticos futuros, por meio de dois modelos climáticos (Eta-HadGem e Eta-MIROC5) e utilizou-se também os dados médios dos dois modelos, com forçantes radiativas de 4,5 W m<sup>-2</sup> (RCP4.5) e 8,5 W m<sup>-2</sup> (RCP8.5). De acordo com os resultados obtidos, o modelo foi capaz de atingir seus objetivos principais, sendo adaptado para as condições de clima e solo em regiões do semiárido de Alagoas. O modelo foi ainda capaz de simular a dinâmica de C em ambiente de sequeiro e irrigado, nos diferentes cenários climáticos futuros, indicando que a dinâmica do COS é influenciada pelo manejo de água no solo, bem como através das condições climáticas inseridas no CENTURY4.5.



**Palavras-chave:** Modelagem. Aquecimento global. Carbono. Irrigação.

## ABSTRACT

Land use change, extensive land use and practices involving or not irrigation management are factors that contribute increasingly to soil organic matter quantity and quality (SOM) differential, important for the plant development and a major component for the mitigation of carbon in the atmosphere, one of the gases responsible for the global temperature increase and consequent phenomenon of climate change. In soil organic carbon (SOC) quantification, one of the components of SOM, several methodologies are adopted, among them the prediction of the SOC dynamics through mathematical models, indicating the CENTURY model as one of those that accurately estimate the contents of the SOC. In this context, the present study aimed to evaluate the dynamics of the COS in different soils of Alagoas semiarid, through the CENTURY 4.5 model, adapting and validating the model for the local conditions and simulating the COS dynamics in future scenarios with a rainfed and irrigated environment. The study was carried out with the CENTURY 4.5 model, with input data from three types of soils (Entisols Quartzipsamments, Entisols Psamments and Ultisols) in three municipalities of Alagoas State (Delmiro Gouveia, Pariconha and Inhapi). The study consisted of two stages: Step 1 - Stabilization, calibration and validation of CENTURY for different types of soil and land use systems (native vegetation, agriculture and pasture); and Step 2 - Simulation of future scenarios, considering the following conditions: a) Rainfed agriculture, assuming that there will be no increase in temperature and no increase in atmospheric CO<sub>2</sub> concentration; b) rainfed agriculture, assuming that there will be an increase in temperature and an increase in atmospheric CO<sub>2</sub> concentration; c) irrigated agriculture, assuming an increase in temperature and an environment rich in CO<sub>2</sub>. In Step 1, it was necessary to adapt the CENTURY model on SOC estimation, with the literature data. The adaptation was performed in two stages: i) model execution using the literature data; ii) modification of the parameters related to the decomposition rates of the SOC, adapting the model to the edaphoclimatic conditions of the study regions. In Step 2, simulations were carried out in conditions of future climate scenarios, using two climatic models (Eta-HadGem and Eta-MIROC5) and using the average data between the models, with radiative forcing of 4.5 W m<sup>-2</sup> (RCP4.5) and 8.5 W m<sup>-2</sup> (RCP8.5). According to the data obtained, the model was able to reach its main objectives, being adapted to the climate and soil conditions in the semiarid regions of Alagoas. The model was also able to simulate the dynamics of C in the rainfed and irrigated environment, in the different future climate scenarios, indicating that the dynamics of the SOC was influenced by the soil water management, as well as the climatic conditions.

**Keywords:** Modeling. Global warming. Carbon. Irrigation.

## LISTA DE FIGURAS

### REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1. Delimitação do semiárido Brasileiro.....	18
Figura 2. Mecanismo hipotético para formação e proteção das substâncias húmicas.....	21
Figura 3. Compartimentos e fluxos de carbono no modelo CENTURY.....	24
Figura 4. Estrutura do modelo CENTURY 4.5, representando as práticas de manejo do solo em vários locais.....	25
Figura 5. Ambiente do modelo CENTURY v.4.5 mostrando a relação entre programas e estrutura dos arquivos.....	26

### CAPÍTULO 1

Figura 1. Localização da região de estudo no estado de Alagoas, Brasil.....	41
Figura 2. Sequência de uso e manejo do solo.....	43
Figura 3. Médias de precipitação e temperatura do ar das diferentes áreas de estudo.....	45
Figura 4. Estoques de carbono orgânico total (COT) e dos compartimentos de carbono orgânico nas regiões de Neossolo Quartzarênico (A), Neossolo Regolítico (B) e Argissolo Vermelho Amarelo (C) na camada de 0-20 cm, obtidos na simulação de equilíbrio realizada pelo modelo CENTURY.....	49
Figura 5. Regressão linear dos dados validados pelo CENTURY quando simulados com os parâmetros descritos por Althoff et al. (2018) .....	51
Figura 6. Simulação do CENTURY na conversão de vegetação nativa para agricultura. (A) Neossolo Quartzarênico com 15 anos de cultivo de milho e feijão; (B) Neossolo Quartzarênico com 4 anos de cultivo de milho e feijão; (C) Neossolo Regolítico com cultivo de pastagem durante 10 anos; (D) Neossolo Regolítico com 4 anos de cultivo de milho e feijão; (E) Argissolo Vermelho Amarelo com 30 anos de cultivo de milho e feijão.....	54
Figura 7. Regressão linear dos dados simulados pelo CENTURY quando simulados com o ajuste para as áreas de estudo.....	59

### CAPÍTULO 2

Figura 1. Localização das áreas de estudo no estado de Alagoas, Brasil.....	70
Figura 2. Condições climáticas das diferentes áreas de estudo.....	70

Figura 3. Temperatura máxima e mínima observadas, simuladas pelo modelo EtaHadGEM e corrigidos no clima histórico em Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, Alagoas, Brasil....	82
Figura 4. Erro sistemático (bias) entre dados de temperaturas mínimas e máximas simulados pelo modelo Eta-HadGEM e cenário atual nas regiões de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, Alagoas, Brasil.....	83
Figura 5. Temperatura máxima e mínima observadas, simuladas pelo modelo EtaMIROC5 e corrigidos no clima histórico em Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, Alagoas, Brasil....	84
Figura 6. Erro sistemático (bias) entre dados de temperaturas mínimas e máximas simulados pelo modelo Eta-MIROC5 e cenário atual nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, Alagoas, Brasil.....	85
Figura 7. Precipitação pluvial mensal medida, simulada pelos modelos EtaHadGEM e EtaMIROC5 e corrigidas para o clima histórico nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, Alagoas, Brasil.....	87
Figura 8. Precipitação para diferentes cenários climáticos (ano de 2006-2099), nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, Alagoas, Brasil. A linha média corresponde à normal climatológica do cenário de base.....	88
Figura 9. Carbono da biomassa acima do solo (aglivc) submetido a diferentes níveis de irrigação no período histórico, nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi.....	90
Figura 10. Evapotranspiração potencial (ET <sub>o</sub> ), em centímetros, observada pelo cálculo de Hargreaves e estimada pelo modelo CENTURY através da equação de Linacre para o modelo HadGem, nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi.....	92
Figura 11. Evapotranspiração potencial (ET <sub>o</sub> ), em centímetros, observada pelo cálculo de Hargreaves e estimada pelo modelo CENTURY através da equação de Linacre para o modelo MIROC5, nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi.....	93
Figura 12. Evapotranspiração potencial (ET <sub>o</sub> ), em centímetros, observada pelo cálculo de Hargreaves e estimada pelo modelo CENTURY através da equação de Linacre para média dos modelos HadGem e MIROC5, nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi.....	94
Figura 13. Estoque de carbono do solo (g m <sup>-2</sup> ) em função de diferentes cenários climáticos futuros em regime de sequeiro, para as áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi.....	97
Figura 14. Estoque de carbono do solo (g m <sup>-2</sup> ) em função de diferentes cenários climáticos futuros submetidos à irrigação, para as áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi.....	100

## LISTA DE TABELAS

### REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1. Objetivos de pesquisa e algumas aplicações do modelo de simulação CENTURY.....	23
Tabela 2. Alguns parâmetros do modelo CENTURY v.4.5, submodelo produção vegetal.....	26

### CAPÍTULO 1

Tabela 1. Tipos de solo, descrição dos sistemas de uso e coordenadas geográficas dos locais de estudo.....	42
Tabela 2. Granulometria, densidade do solo (BD) e pH nas áreas de vegetação nativa e agrícolas no estado de Alagoas, Brasil.....	44
Tabela 3. Valores originais e alterados de parâmetros fixos da vegetação nativa e cultivo nas regiões de estudo, semiárido de Alagoas.....	47
Tabela 4. Estoques de carbono orgânico total ( $\text{g C m}^{-2}$ ) observados e simulados nas áreas de vegetação nativa estudadas, porcentagem de tendência (PBIAS, %) e raiz quadrada do erro médio (RMSE, $\text{g m}^{-2}$ ).....	50
Tabela 5. Estoques de carbono orgânico total ( $\text{g m}^{-2}$ ) observados e simulados nas áreas de cultivo agrícola e pastagem, porcentagem de tendência (PBIAS, %) e raiz quadrada do erro médio (RMSE, $\text{g m}^{-2}$ ).....	50
Tabela 6. Parâmetros estatísticos na avaliação do modelo CENTURY com os dados observados quando simulados com os parâmetros descritos por Althoff et al. (2018).....	51
Tabela 7. Estoques de carbono orgânico total ( $\text{g m}^{-2}$ ) observados e estimados nas áreas de vegetação nativa e cultivo agrícola após o ajuste, porcentagem de tendência (PBIAS, %) e raiz quadrada do erro médio (RMSE, $\text{g m}^{-2}$ ).....	53
Tabela 8. Parâmetros estatísticos na avaliação do modelo CENTURY com os dados observados quando simulados com ajuste para as áreas de estudo.....	58

### CAPÍTULO 2

Tabela 1. Tipos de solo, descrição dos sistemas de uso e coordenadas geográficas dos locais de estudo.....	72
Tabela 2. Granulometria, densidade do solo (BD) e pH (0 a 20 cm de profundidade) em vegetação nativa e áreas agrícolas no estado de Alagoas, Brasil.....	73

Tabela 3. Médias da precipitação total anual, máxima e mínima temperatura do ar dos diferentes cenários climáticos até o ano de 2100.....	74
Tabela 4. Coeficiente das culturas do milho, feijão e para pastagem.....	77
Tabela 5. Valores originais e alterados de parâmetros fixos da vegetação nativa e cultivo nas regiões de estudo, semiárido de Alagoas.....	79
Tabela 6. Temperaturas médias nos anos de 2006 e 2099 e diferença entre os dois anos, para as áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, nos modelos Eta-HadGem e Eta-MIROC5.....	81
Tabela 7. Carbono orgânico total (COT) no último ano de cultivo agrícola, em ambiente de sequeiro e irrigado nos diferentes cenários.....	102
Tabela 8. Perda de carbono do solo (%) para as áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, em diferentes cenários futuros e período histórico, para o ano de 2099, em ambiente de sequeiro e irrigado.....	103
Tabela 9. Tempo de estabilização de carbono (em anos) para as áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, em diferentes cenários futuros, em ambiente de sequeiro e irrigado.....	105
Tabela 10. Carbono da biomassa superior ao solo (AGLIVC) no ano em que houve a última safra.....	105

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1) Semiárido brasileiro e alagoano.....	18
2.2) Aquecimento global, sequestro de CO <sub>2</sub> e dinâmica da matéria orgânica no solo.....	19
2.3) Modelagem da Matéria Orgânica do Solo (MOS).....	22
2.4) O modelo CENTURY 4.5.....	22
2.4.1) Submodelo Cultura.....	26
2.4.2) Submodelo MOS.....	27
3. OBJETIVOS.....	28
REFERÊNCIAS.....	29
CAPÍTULO 1.....	37
1. INTRODUÇÃO.....	38
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4. CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS.....	60
CAPÍTULO 2.....	66
1. INTRODUÇÃO.....	68
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	69
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
4. CONCLUSÕES.....	106
REFERÊNCIAS.....	106
ANEXOS.....	111



## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Estudos sobre o carbono orgânico do solo (COS) e o entendimento da sua dinâmica são de essencial importância para o uso e manejo do solo em cultivos agrícolas. A quantificação do COS é fundamental no conhecimento da qualidade do solo, principalmente na capacidade dos diferentes tipos de solo em remover o CO<sub>2</sub> da atmosfera (MAIA et al., 2007; SACRAMENTO et al., 2013). Diversos estudos têm evidenciado que a conversão da vegetação nativa para sistemas agrícolas promove a redução do carbono (C) do solo (MAIA et al., 2007; SOUSA et al., 2012; MAIA et al., 2013) e que estas perdas se intensificam em sistemas convencionais de cultivo (CONCEIÇÃO et al., 2017), principalmente no semiárido (MAIA et al., 2007; SOUZA et al., 2012; FRACETTO et al., 2012).

Com uma grande extensão territorial, o semiárido nordestino caracteriza-se por ser uma região densamente habitada. Apesar do baixo índice pluviométrico, a agricultura é uma das principais atividades econômicas da região, destacando-se a de subsistência, com característica de agricultura convencional pouco tecnificada, e cultivos agrícolas de sequeiro (BUSTAMANTE et al., 2015; ALTHOFF et al., 2018). Em relação ao COS, há a necessidade do conhecimento de sua quantificação e dinâmica, com intuito principalmente de subsidiar a adoção de novos manejos agrícolas, visando o acréscimo de C no solo, e propiciando a mitigação das emissões de gases do efeito estufa (SOBOCKÁ et al., 2007; FERREIRA et al., 2014).

Porém, a produção de alimentos nessa região é afetada pela escassez de água, sendo a principal problemática para os agricultores da região, deixando de impulsionar fatores econômicos na agropecuária da região. Uma das políticas implantadas por diversos governos é a implantação de infraestruturas capazes de redirecionar água para irrigação em diversas regiões do semiárido, aumentando assim o potencial produtivo nessas regiões (CIRILO, 2008). No semiárido de Alagoas, Nordeste do Brasil, a adoção de projetos que proporcionem o fornecimento de água via irrigação tem possibilitado ao agricultor da região manter mais de uma safra durante o ano (VIEIRA et al., 2008). Um dos projetos implantados em Alagoas é o Canal do Sertão, sendo concebido com objetivos social, econômico, cultural e ambiental, visando também a adoção de novas práticas agrícolas e novas tecnologias, principalmente em relação à conservação do solo (CODEVASF, 2003).

Porém, apesar de haver a adoção de novas políticas, o uso extensivo do solo, através de práticas errôneas de manejo, tais como desmatamento, queima da vegetação nativa e adoção de sistemas de cultivo que agridem o solo, vem contribuindo cada vez mais para a degradação desses ambientes e para a redução dos teores de matéria orgânica do solo (MOS)

(MAIA et al., 2007; SOUSA et al., 2012; MAIA et al., 2013), com a necessidade de pesquisas que contabilizem o COS, seja em tempo real ou através de modelos matemáticos. O uso da modelagem pode ser de essencial importância no entendimento da dinâmica da MOS, bem como na estimativa do potencial dos solos em acumular ou perder COS (SMITH et al., 1997; CERRI et al., 2004; OUYANG et al., 2014; WEBER et al., 2016; SILVA-OLAYA et al., 2017). Smith et al. (1997), ao avaliarem uma série de modelos na simulação da dinâmica do carbono, observaram a melhor flexibilidade do modelo CENTURY em eventos de manejo do solo.

O CENTURY é um modelo biogeoquímico, capaz de estimar o carbono (C), nitrogênio (N), enxofre (S) e fósforo (P), sendo aplicado nos diversos sistemas agrícolas e uso e manejo do solo, em diversas regiões do planeta (ALVARO-FUENTES et al., 2009; ALTHOFF et al., 2018). Em sistemas agrícolas no Brasil, os modelos têm sido utilizados na determinação do COS em diversos ambientes (TORNQUIST et al., 2009; BORTOLON et al., 2011; VILELA e MENDONÇA, 2013; WEBER et al., 2016), incluindo áreas de vegetação nativa do semiárido (ALTHOFF et al., 2016; ALTHOFF et al., 2018), evidenciando a necessidade de ampliação com modelagem no semiárido do Brasil, principalmente na transição da mata nativa para sistemas agrícolas, seja nas condições atuais ou em condições futuras, principalmente em relação às mudanças climáticas (CARVALHO et al., 2016).

Em cenários climáticos futuros, existe a necessidade do conhecimento de modelos que simulem a climatologia da região, através de modelos globais ou regionais (WATANABE et al., 2010; COLLINS et al., 2011; CHOU et al., 2014). De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), caso não sejam tomadas todas as precauções em relação à mitigação de gases do efeito estufa (GEE), o planeta Terra sofrerá um acréscimo médio de 5,0 °C (IPCC, 2013) até o final do século, acarretando em cenários com redução no aporte de biomassa da vegetação nativa e culturas agrícolas (CARVALHO et al., 2015; ALTHOFF et al., 2016). Por isso, a estimativa do COS através de modelos matemáticos como o CENTURY é de fundamental importância, principalmente na adoção de práticas e manejos que propiciem a mitigação de CO<sub>2</sub>, gerando indicadores nos diferentes manejos (LUGATO; BERTI, 2008; ALVARO-FUENTES; PAUSTIAN, 2011; ALTHOFF et al., 2018).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Semiárido brasileiro e alagoano

A vegetação tropical seca na região semiárida do Nordeste (NE) brasileiro é denominada Caatinga. Essa vegetação abrange grande parte da região NE e uma parte do estado de Minas Gerais (Figura 1). A delimitação da região semiárida passou por modificações conceituais, obedecendo aos seguintes critérios: i) precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; ii) índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e iii) risco de seca maior que 60%, tomando-se como base o período entre 1970 e 1990. Assim, a área passou de 969.589,4 km<sup>2</sup> para 1.128.697 km<sup>2</sup> (BRASIL, 2017a; BRASIL, 2017b), acrescentando alguns outros municípios à essa região.

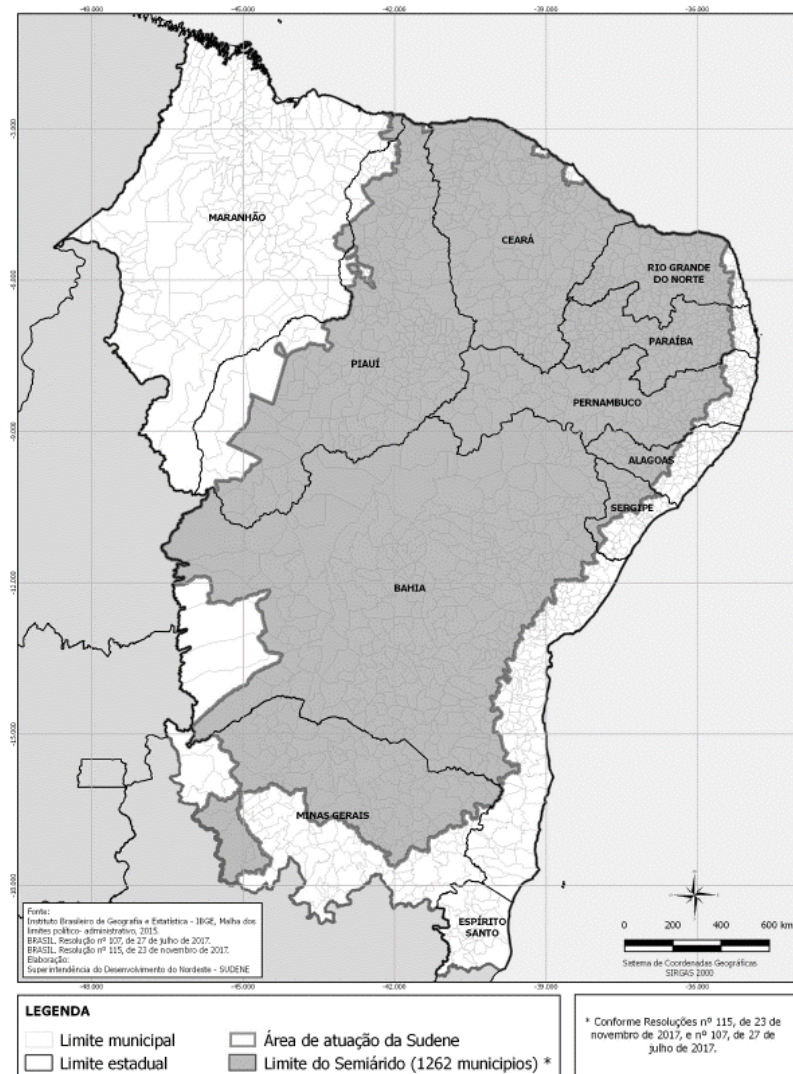


Figura 1. Delimitação do semiárido Brasileiro (BRASIL, 2017a; BRASIL, 2017b)

Conforme Cirilo et al. (2007), a Região Nordeste ocupa a posição norte-oriental do país, entre 1° e 18°30' de latitude Sul e 34°30' e 40°20' de longitude Oeste de Greenwich, com uma área total de 1.219.000 km<sup>2</sup>, equivalente a um quinto da superfície total do Brasil, com 79,53% de área ocupada pela região semiárida. Mesmo com uma extensa área territorial, um fator é essencial para os agricultores que cultivam nessa região: a demanda hídrica. O fato é que os governos de muitas regiões semiáridas vêm atuando com o objetivo de implantar infraestruturas capazes de disponibilizar água suficiente para garantir o abastecimento humano e na agropecuária, bem como viabilizar a irrigação (CIRILO, 2008).

Mesmo compreendendo um pequeno espaço territorial nordestino, o estado de Alagoas possui 45,28% de suas terras em ambiente semiárido, abrangendo 38 municípios no espaço geográfico, onde 28,86% da população alagoana reside nessa região (MEDEIROS et al., 2012). Com a nova delimitação do semiárido, três novos municípios fazem agora parte da região semiárida, sendo eles: Coité do Nóia, Igaci e Quebrangulo (BRASIL, 2007).

Em relação ao manejo e de uso, a região semiárida, em geral, é caracterizada por ter alta temperatura, reduzida pluviosidade, solos pouco intemperizados e pequena produção de fitomassa. No Brasil, somando-se às condições edafoclimáticas desfavoráveis, observa-se a adoção de sistemas agrícolas totalmente extrativistas, como o superpastoreio na pecuária, por exemplo. A intensa extração de lenha e madeira para atender a demanda familiar, juntamente com o desmatamento indiscriminado e queimadas, contribuem enormemente para a redução da vegetação Caatinga (MAIA et al., 2006; ALTHOFF et al., 2016).

Além das limitações edafoclimáticas, as regiões semiáridas estão diante, atualmente, da ameaça do fenômeno do aquecimento global. De acordo com o mais recente relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), a temperatura global aumentou 0,89 °C no período de 1901 a 2012. Como consequência, os dados de modelos de simulação, mostrados no mesmo relatório, demonstram que a tendência para as regiões semiáridas do planeta (incluindo o semiárido brasileiro) é de aumento dos períodos de estiagem, diminuição da precipitação e aumento da temperatura. Ou seja, regiões semiáridas serão aquelas que irão sofrer as piores consequências, caso a temperatura global continue aumentando.

## **2.2 Aquecimento global, sequestro de CO<sub>2</sub> e dinâmica da matéria orgânica no solo**

Apesar de ser um fenômeno natural, o efeito estufa vem chamando a atenção da comunidade científica. O aumento da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), entre outros gases proporcionou o crescimento de eventos extremos, ocasionados pelo aumento da temperatura global (CARVALHO et al., 2010). Nas últimas

décadas, o aumento da emissão de GEE, devido à ação antrópica, vem provocando uma série de modificações na atmosfera, como aumento de temperatura do ar, fenômenos climatológicos extremos, acarretando em estratégias que busquem a mitigação desses gases. Por isso, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) vem, ao longo dos últimos anos, gerando uma série de informações que visam a redução dos GEE, elaborando relatórios que adotam uma série de metodologias na mitigação desses gases (EMBRAPA, 2010; IPCC, 2013).

De acordo com IPCC (2013), em escala mundial, as emissões dos GEE constituem-se aproximadamente 81,2% de CO<sub>2</sub>, 10,6% de CH<sub>4</sub>, 5,5 % de N<sub>2</sub>O e 2,5 % de Hidrofluorcarbonetos. A emissão desses gases (bem como o aumento dessas emissões) podem ser atribuídas a vários fatores, como a conversão de ecossistemas nativos (diversidade florestal) em agroecossistemas (MAIA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2013; CERRI et al., 2016). O quinto relatório do IPCC (IPCC, 2013) inclui que o Brasil se encontra em 5º lugar na classificação mundial dos países emissores de GEE. Portanto, há a necessidade da contabilização da emissão de C, bem como reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera.

De acordo com Lal (2004a) e Lal (2004b), o termo sequestro de carbono implica da remoção do CO<sub>2</sub> da atmosfera pelas plantas e o armazenamento de carbono (C) como matéria orgânica do solo. Ainda de acordo com o mesmo autor, a estratégia para aumentar a densidade de carbono orgânico do solo (COS) é melhorar a distribuição de COS em profundidade, estabilizando-o em micro agregados, de modo que o C será protegido contra ação microbiana. Uma das formas de aumento do COS é através da adoção de sistemas de cultivo agrícola que proporcionem o menor distúrbio ao solo. No Brasil, por exemplo, o sistema de plantio direto tem proporcionado em um maior estoque de C no solo e que esse acúmulo seja em torno de 1500 Pg em até 1 m de profundidade (Janzen, 2006; BAYER et al., 2006 e MAIA et al., 2010).

O estoque de COS é um bom indicador na avaliação da qualidade dos solos, existindo a necessidade de se realizar um mapeamento do COS tanto em escala regional, como global (STOCKMANN et al., 2015). Diversos são os autores que descrevem informações para quantidade de COS, em diversas regiões do planeta (FERNÁNDEZ-ROMERO et al., 2016; PARRAS-ALCÁNTARA et al., 2015), demonstrando a importância de estudos do COS, principalmente em ambientes sob manejo de solo.

Quando esse manejo se torna inadequado, além de contribuir para o efeito estufa, pode ainda trazer problemas à sustentabilidade, devido à degradação da MOS, que por sua vez afeta negativamente os atributos físicos, químicos e biológicos (CARVALHO et al., 2010). O termo MOS é usado para identificar todos os componentes orgânicos, ou seja, a biomassa microbiana, as raízes mortas, além de outras substâncias orgânicas complexas já não identificáveis

(BRADY; WEIL, 2013). Pode, ainda, ser definida como um conjunto heterogêneo de materiais orgânicos (como por exemplo, substâncias húmicas), diferindo na composição e grau de disponibilidade para a microbiota e função no ambiente (ROSCOE; MADAR; MACHADO, 2006).

A formação de substâncias húmicas é resultante de vários processos de oxidação e hidrólise, criando materiais com carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O). O mecanismo hipotético da formação de substâncias húmicas pode ser observado através da Figura 2 (HORWATH, 2007), onde as substâncias húmicas derivam de vários caminhos, como atividade microbiana, decomposição de compostos das plantas e compostos orgânicos (açúcares) por meio de microrganismos. O autor cita ainda que substâncias húmicas consistem de aproximadamente 50-55% de C, 5% de H, 33% de O, 4,5% de Nitrogênio (N), 1% de Enxofre (S) e 1% de Fósforo (P), além de outros micronutrientes como Alumínio, Cálcio, Zinco e Cobre, presentes em pequenas quantidades.

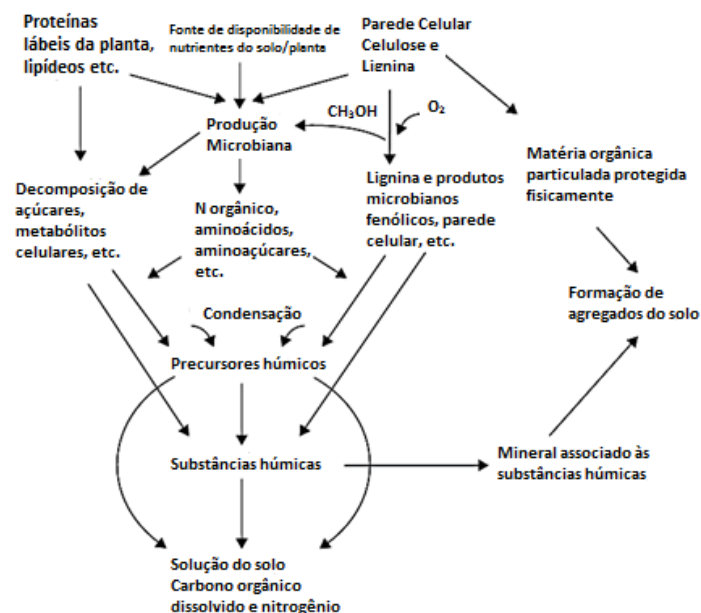


Figura 2. Mecanismo hipotético para formação e proteção das substâncias húmicas (adaptado de HORWATH, 2007).

Kononova (2013) define ainda que a MOS consiste em um complexo sistema de substâncias, que determinam uma contínua adição de resíduos orgânicos de origem animal e vegetal, dentro do solo, chefiado por fatores biológicos. A MOS desempenha diversas funções no ambiente, estando ela ligada aos processos fundamentais, como a ciclagem e retenção de nutrientes, agregação do solo e dinâmica da água, além de ser fonte básica de energia para a

atividade biológica no solo (ROSCOE; BODDEY; SALTON, 2006). Sua dinâmica é governada principalmente pela adição e transformação de resíduos orgânicos, sob ação física, química, biológica, climatológica e no uso e manejo da terra (KONONOVA, 1984), determinando muitas vezes o comportamento químico e a fertilidade dos solos (HERMLE et al., 2008).

### **2.3 Modelagem da Matéria Orgânica do Solo (MOS)**

A modelagem dos processos que envolvem o sistema solo-planta-atmosfera, tem por objetivo estabelecer padrões ambientais, estimando riscos e potencialidades do ambiente agrícola e ambiental. Vários modelos foram desenvolvidos nos últimos anos, visando o estudo da dinâmica da MOS e nutrientes em ecossistemas ao redor do planeta (SMITH et al., 1997). Estes autores observaram que após a comparação de seis modelos em diferentes tipos de solos, um determinado grupo de modelos apresentou comportamento semelhante quando avaliados em experimentos de longa duração, em clima temperado. Dentre os seis modelos avaliados, dois foram capazes de simular de forma mais satisfatória o C do solo em todos os sistemas, foram estes o RothC e o CENTURY.

Então, visando o estudo de diferentes práticas e manejos de solo, o uso da modelagem veio como um adicional na quantificação do COS, visto que tais modelos são capazes de simular a dinâmica de C, N, P e S do solo (PARTON; STEWART; COLE, 1988; COLEMAN et al., 1997; KELLY et al, 1997; TORNQUIST; MIELNICZUK; CERRI, 2009; BORTOLON et al., 2011), em diversos ambientes, incluindo a região semiárida (ARDÖ E OLSSON, 2003; ÁLVARO-FUENTES; PAUSTIAN, 2011; ALTHOFF et al., 2016). Entre os modelos mais usados mundialmente está o CENTURY (PARTON, 1987), que tem sido utilizado com bastante credibilidade em ambientes tropicais e subtropicais do Brasil (CERRI et al., 2003; SILVA; PASQUAL, 1999; BORTOLON et al, 2009; LEITE; MENDONÇA, 2003; LEITE et al., 2004), já que o mesmo teve os seus pressupostos desenvolvidos para regiões de clima temperado.

### **2.4 O modelo CENTURY 4.5**

O CENTURY é um modelo mecanístico que analisa a dinâmica da matéria orgânica do solo em sistema natural ou cultivado e representa a dinâmica de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) no sistema solo-planta (PARTON et al., 1987; PARTON et al., 1988). O modelo foi inicialmente proposto para as condições de clima e ambiente em regiões temperadas, porém o CENTURY tem sido utilizado para diversas condições edafoclimáticas (BORTOLON et al., 2011; ÁLVARO-FUENTES; PAUSTIAN, 2011; ALTHOFF et al., 2016). Segundo Leite e Mendonça (2003), o modelo pode ser aplicado em vários sistemas agrícolas

que diferem em práticas agronômicas, como rotação de culturas, preparo do solo, fertilização e irrigação, bem como aplicações em cenários climáticos futuros (Tabela 1).

Tabela 1. Objetivos de pesquisa e algumas aplicações do modelo de simulação CENTURY.

Objetivo da pesquisa	Aplicação	Referência
Avaliar a dinâmica da matéria orgânica em solos tropicais	Aplicado a três solos desenvolvidos sob condições tropicais	Parton et al. (1989)
Avaliar a dinâmica da matéria orgânica em experimentos de longa duração	Aplicado ao estudo sobre adubação nitrogenada proveniente de formas orgânicas e inorgânicas	Paustian; Parton; Person (1992)
Estudar os efeitos das mudanças climáticas e manejo na dinâmica do carbono orgânico do solo em condições de semiárido	Aplicados a 5 diferentes cenários climáticos e 7 cenários de manejo de solo	Álvaro-Fuentes e Paustian (2011)
Simular o impacto das mudanças climáticas sobre o crescimento da vegetação lenhosa e sobre os estoques de carbono orgânico do solo em uma área de Caatinga	Aplicados à simulação de diferentes ciclos de corte, permitindo a regeneração da vegetação	Althoff et al. (2016)

O CENTURY tem sido utilizado na determinação, principalmente, do carbono orgânico total do solo (COT) e dos compartimentos de C envolvidos (LEITE; MENDONÇA, 2003). De acordo com Parton et al. (1988) e Leite; Mendonça; Machado. (2004), esses compartimentos (Figura 3) são separados em relação ao tempo de residência (ou reciclagem) destes no solo, sendo separados principalmente em compartimento ativo (reciclagem entre 2 a 4 anos), correspondente ao C da biomassa microbiana, lento (reciclagem entre 20 a 50 anos), sendo o C da fração leve e o compartimento passivo (reciclagem entre 800 a 1200 anos), sendo este estimado pelas substâncias húmicas.



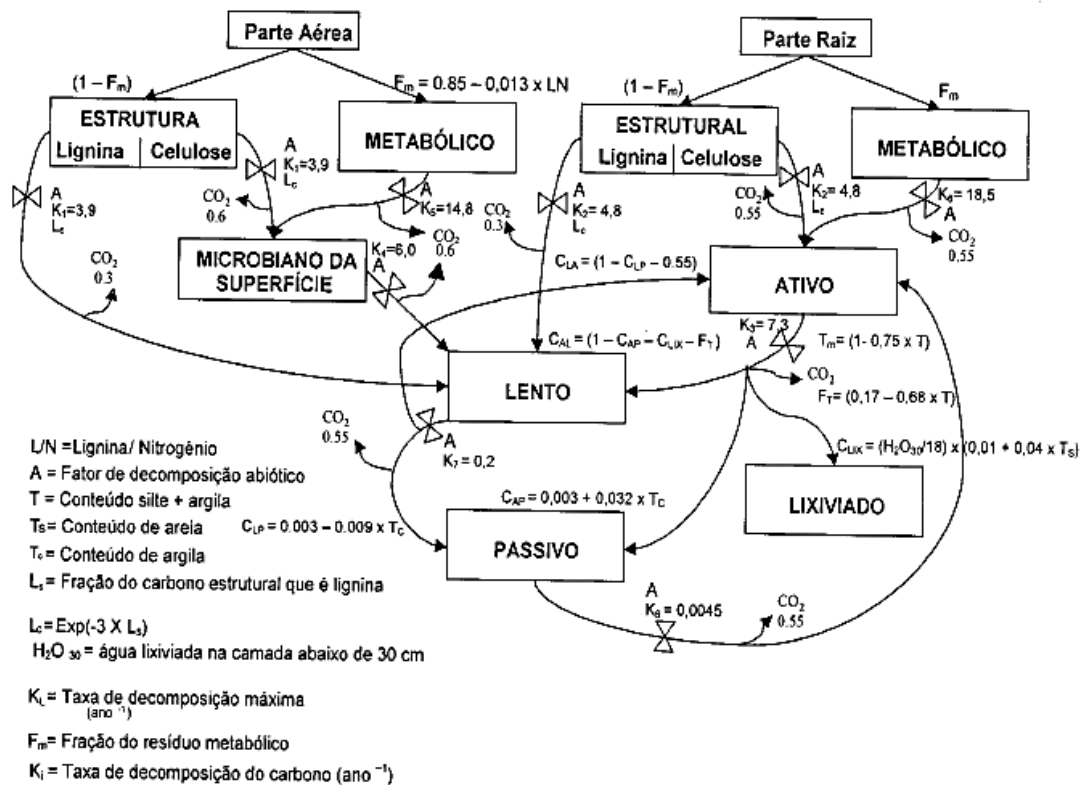


Figura 3. Compartimentos e fluxos de carbono no modelo CENTURY (Leite; Mendonça, 2003).

O modelo CENTURY permite ao pesquisador inserir parâmetros de entrada, visando a simulação nas condições edafoclimáticas para cada região de estudo, tendo como principais: temperatura do ar, precipitação mensal, conteúdo de lignina do material vegetal, teores de N, P e S do material vegetal, aporte de N do solo e da atmosfera e teor inicial de C, N, P e S nos diferentes compartimentos do solo (LEITE; MENDONÇA; MACHADO, 2004). Parton et al. (1987) ainda inclui o efeito da textura do solo na dinâmica da MOS e desenvolveram submodelos de ciclagens de nutrientes que simulam simultaneamente o C do solo e a dinâmica de N, P e S.

A versão CENTURY 4.5 possui sua interface em DOS, envolvendo um conjunto de submodelos, dentre os quais destacam-se: submodelo matéria orgânica do solo, submodelo manejo de água, lixiviação e temperatura do solo, submodelo nitrogênio, submodelo fósforo, submodelo enxofre e submodelo produção de plantas, além de avaliar os efeitos do enriquecimento de  $CO_2$  na atmosfera (Figura 4). Dentro dessas interfaces, há um conjunto de arquivos, essenciais para a manutenção e descrição edafoclimática do ambiente (METHERALL et al., 1994). Dentre eles, podemos destacar os arquivos “arquivo local” (SITE.100), “clima”

(.WTH) e dos “sistemas de manejo” (\*.SCH). No arquivo local, são acrescentadas informações iniciais, como localização geográfica, informações do clima, solo e da área a ser estudada. No arquivo de clima há opções de utilizar dados reais e futuros. No arquivo de sistemas de manejo são adicionadas as atividades realizadas na área, organizando-se de modo qualitativo, quantitativo e temporal, possibilitando acrescentar um histórico de manejo da área em um único arquivo.

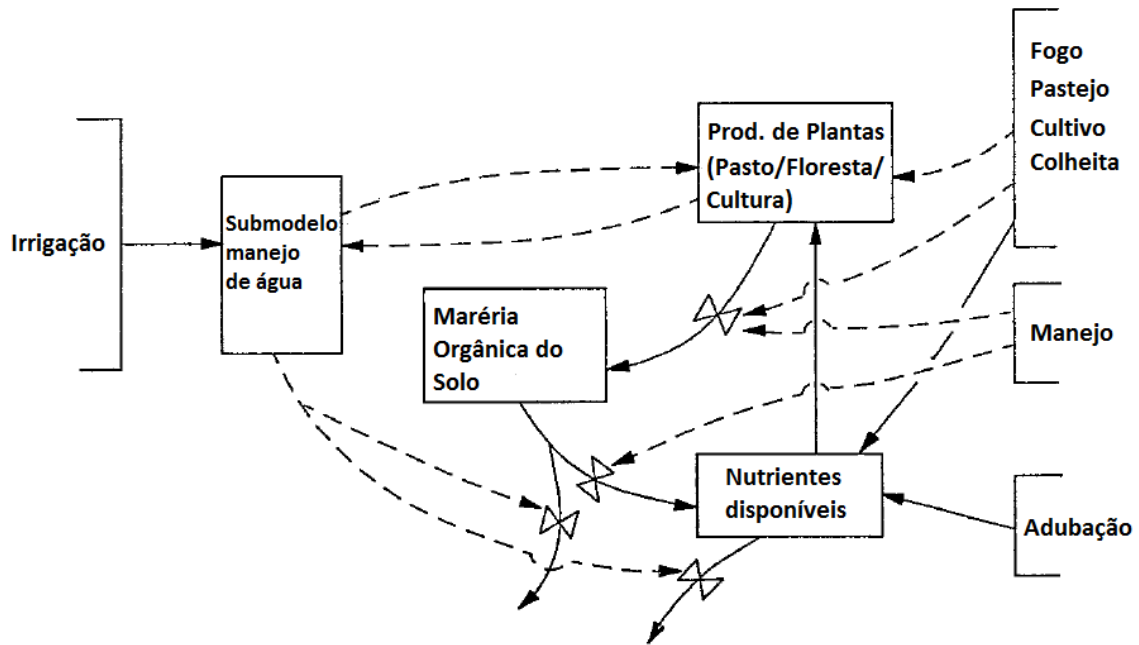


Figura 4. Estrutura do modelo CENTURY 4.5, representando as práticas de manejo do solo em vários locais (adaptado de Ojima et al. (1993)).

No arquivo \*.SCH podem ser listadas atividades que envolvem diferentes sistemas de cultivo, como florestas e culturas, fertilização com N, P e S, irrigação, adubação orgânica, colheita e pastejo, com informações dos parâmetros dessas atividades consultadas nos seguintes arquivos: CULT.100, TREE.100, CROP.100, FERT.100, IRRI.100, OMAD.100, HARV.100 E GRAZ.100, dependendo do tipo de uso do solo e de manejo adotado em cada simulação (Figura 5).

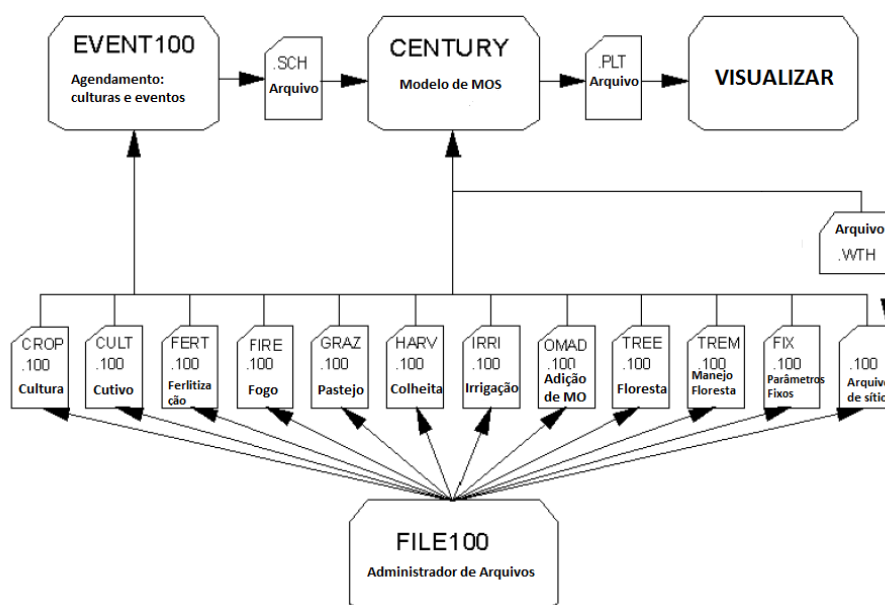


Figura 5. Ambiente do modelo CENTURY v.4.5 mostrando a relação entre programas e estrutura dos arquivos (adaptado de METHERALL et al. (1993)).

#### 2.4.1 Submodelo Cultura

Inserido no submodelo produção vegetal, o submodelo cultura é capaz de simular um número específico de parâmetros (Tabela 2), porém, o modelo não foi projetado para ser um modelo de produção vegetal, podendo alguns parâmetros serem calibrados para ambientes específicos. Mesmo não tendo como objetivo principal a comparação entre plantios de diferentes culturas, vários são as pesquisas que envolvem diferentes tipos de sistemas de cultivos, em regiões tropicais, subtropicais e semiáridas (ÁLVARO-FUENTES; PAUSTIAN, 2011; BORTOLON et al., 2009; WENDLING et al., 2014).

Tabela 2. Alguns parâmetros do modelo CENTURY v.4.5, submodelo produção vegetal (Metherall et al. (1994)).

Parâmetro	Descrição
PRDX(1)	Produção potencial acima do solo ( $\text{g de C m}^{-2}$ )
FRTC(1)	Fração inicial de C atribuído às raízes, com base na precipitação
FRTC(2)	Fração final de C alocado pelas raízes
CO2IPR(1)	Efeito sobre a relação de produção de plantas sobre a concentração de $\text{CO}_2$ atmosférico de 350 ppm a 700 ppm
CO2ICE(1,2,3)	Efeito sobre as razões C/N, C/P e C/S sobre a concentração de $\text{CO}_2$ atmosférico de 350 ppm a 700 ppm

### 2.4.2 Submodelo MOS

O submodelo MOS é baseado em múltiplos compartimentos para MOS, sendo similar a outros modelos que simulam a dinâmica da matéria orgânica do solo (van VEEN; PAUL, 1981), com seus compartimentos e fluxos (Figura 3) sendo divididos em ativo, passivo e lento, com diferentes taxas de decomposição. Equações de primeira ordem são utilizadas para modelar todos os compartimentos da matéria orgânica, temperatura e umidade do solo (PARTON et al., 1987), podendo os compartimentos diferenciar de acordo com a textura do solo, aumento da temperatura e sistema de manejo hídrico.

É de essencial importância o conhecimento dos nutrientes no solo. O conjunto de pesquisas a longo prazo, relacionadas à dinâmica da matéria orgânica do solo (relacionados principalmente ao manejo e uso do solo), juntamente com o desenvolvimento de modelos de simulação, tem levado ao acúmulo de informações importantes sobre o conteúdo da MOS e o seu comportamento nas mais diversas regiões (OUYANG et al, 2014; CERRI et al., 2007; KIRSCHBAUM; PAUL, 2002). O submodelo MOS é ainda capaz de estimar, com eficiência, os principais nutrientes (C, N, P e S), em seus respectivos compartimentos (METHERALL et al., 1994).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1) Geral:**

Determinar a dinâmica do carbono orgânico do solo e seus compartimentos em diferentes solos do semiárido alagoano através do uso do modelo CENTURY 4.5, calibrando e validando o modelo, bem como avaliar a dinâmica do carbono em cenários climáticos futuros, em ambiente irrigado e de sequeiro.

#### **3.2) Específicos:**

Calibrar e validar o modelo CENTURY 4.5 para simular a dinâmica do COS em áreas de vegetação nativa, bem como calibrar e validar o CENTURY 4.5 para estimar as mudanças nos estoques de COS devido a conversão da vegetação nativa para diferentes sistemas convencionais de uso do solo (agricultura e pastagem) em três diferentes tipos de solo no semiárido de Alagoas, Nordeste do Brasil;

Determinar a melhor lâmina de irrigação através de simulações com o modelo CENTURY 4.5, visando o manejo de irrigação em diferentes cenários climáticos futuros.

Prever as alterações no C do solo através do uso de dois modelos climáticos (HadGem e MIROC5) e da média destes em condições de aumento de temperatura e atmosfera mais rica em CO<sub>2</sub>;

Estimar o estoque de C em dois diferentes cenários climáticos (RCP4.5 e RCP8.5) os quais tratam das projeções mais otimista e pessimista, respectivamente, adotadas pelo IPCC (IPCC, 2013).

## REFERÊNCIAS

ALVARO-FUENTES, J., LOPEZ, M.V., ARRUE, J.L., MORET, D., PAUSTIAN, K. Tillage and cropping effects on soil organic carbon in Mediterranean semiarid agroecosystems: Testing the CENTURY model. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.134, p.211-217, 2009.

\_\_\_\_\_; PAUSTIAN, K. Potential soil carbon sequestration in a semiarid Mediterranean agroecosystem under climate change: Quantifying management and climate effects. **Plant Soil**, v.338, p.261-272, 2011.

ALTHOFF, T.D., MENEZES, R.S.C., CARVALHO, A.L., PINTO, A.S., SANTIAGO, G.A.C.F., OMETTO, J.P.H. B., VON RANDOW, C., SAMPAIO, E.V.S.B. Climate change impacts on the sustainability of firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresina municipality, Northeast Brazil. **For. Ecology and Management**. v.360, p.367-375, 2016.

\_\_\_\_\_; MENEZES, R.S.C., PINTO, A.S., PAREYN, F.G.C., CARVALHO, A.L., MARTINS, J.C.R., CARVALHO, E.X., SILVA, A.S.A., DUTRA, E.D., SAMPAIO, E.V.S B. Adaptation of the CENTURY model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.254, p.26-24, 2018.

ARDÖ, J.; OLSSON, L. Assessment of soil organic carbon in semi-arid Sudan using GIS and the CENTURY model. **Journal of Arid Environments**, v.54, p.633-651, 2003.  
BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. & DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil Tillage Res.**, v.86, p.237-245, 2006.

BORTOLON, E. S. O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C. G.; LOPES, F.; FERNANDES, F. F. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo CENTURY. **R. Bras. Ci. Solo**, v.33, p.1635-1646, 2009.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedade dos solos**. 3ª ed. Porto Alegre, Bookman, 2013.

BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE. **Resolução nº 107**, 27 de julho de 2017. 2p. 2017a.

BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE. **Resolução nº 115**, 23 de novembro de 2017, 27 de julho de 2017. 2p. 2017b.

\_\_\_\_\_ ; et al. Validation of the CENTURY model to estimate the impact of agriculture on soil organic carbon in Southern Brazil. **Geoderma**, v.167-168, p.156-166, 2011.

BUSTAMANTE, M.C, ROITMAN, I., AIDE, M., ALENCAR, A., ANDERSON, L.O., ARAGÃO, L., ASNER, G.P., BARLOW, J., BERENGUER, E., CHAMBERS, J., COSTA, M.H., FANIN, T., FERREIRA, L.G., FERREIRA, J., KELLER, M., MAGNUSSON, W.E., MORALE-BARQUERO, L., MORTON, D., OMETTO, J.P.H.B., PALACE, M., PERES, C., SILVÉRIO, D., TRUMBORE, S., VIEIRA, I.C.G. Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. **Global Change Biology**, v.22(1), p.92-109, 2015.

CARVALHO, A.L., MENEZES, R.S.C, NÓBREGA, R.S., PINTO, A.S., OMETTO, J.P.H.B., VON RANDOW, C., GIAROLLA, A. Impact of climate changes on potential sugarcane yield in Pernambuco, northeastern region of Brazil. **Renewable Energy**. v.78, p.26-34, 2015.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34, p. 277-289, 2010.

CERRI, C.C.; et al. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the CENTURY model. **Global Change Biology**. v.10, p.815-832, 2004.

\_\_\_\_\_ ; et al. Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. **Journal of Cleaner Production**, v.112, p. 2593-2600, 2016.

CERRI, C.E.P., PAUSTIAN, K., BERNOUX, M., VICTORIA, R.L., MELILLO, J.M., et al. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystem of Amazon, Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.67, p.1879-1887, 2003.

\_\_\_\_\_ ; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Sci. Agric.**, v.64:p.83-99, 2007.

CHOU, S.C., LYRA, A., MOURÃO, C., DEREZYNSKI, C., PILOTTO, I., GOMES, J., BUSTAMANTE, J., TAVARES, P., SILVA, A., RODRIGUES, D., CAMPOS, D., CHAGAS, D., SUEIRO, G., SIQUEIRA, G., MARENGO, J. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of climate change**. v.3, p.512-525, 2014.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, v.63, p.61-82, 2008.

\_\_\_\_\_. **Integração das águas superficiais e subterrâneas**. In: CIRILO, J. A. et al. (Org.) O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas. Recife: ABRH – Editora Universitária UFPE, p.508, 2007.

CODEVASF (2003). Estudo de Viabilidade do Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Projeto Sertão Alagoano. Tomo I – Relatório Síntese. Documento elaborado pelo Consórcio Hydros-Tecnosolo encomendado pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF, 2003.

COLEMAN, K.; JENKINSON, D. B.; CROCKER, G. J.; GRACE, P. R.; KLÍR, J.; KÖRSCHENS, M.; POULTON, P. R.; RICHTER, D. D. Simulating trends in soil organic carbono in long-term experiments using RothC-26.3. **Geoderma**. v.81, p.29-44, 1997.

COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNEY, N.; HALLORAN, P.; HINTON, T.; HUGHES, J.; JONES, C. D.; JOSHI, M.; LIDDICOAT, S.; MARTIN, G.; O'CONNOR, F.; RAE, J.; SENIOR, C.; SITCH, S.; TOTTERDELL, I.; WILTSHIRE, A.; WOODWARD, S. Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2. **Geosci. Model Dev**. v.4, p.1051–1075, 2011.

CONCEIÇÃO, M.C.G., MATOS, E.S., BIDONE, E.D., RODRIGUES, R.A.R., CORDEIRO, R.C. Changes in soil carbon stocks under integrated crop-livestock-forest system in the brazilian Amazon region. **Agricultural Sciences**. v.8, p.904-913, 2017.

EMBRAPA. **Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito estufa – Relatórios de referência**, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010.

FERNÁNDEZ-ROMERO, M. L.; PARRAS-ALCÁNTARA, L.; LOZANO-GARCÍA, B.; CLARK, J. M.; COLLINS, C. D. Soil quality assessment based on carbono stratification index in different olive grove management practices in Mediterranean areas. **Catena**, v.137, p.449-458, 2016.

FERREIRA, A.C.C.F., LEITE, L.F.C., ARAÚJO, A.S.F., EISENHAUER, N. Land-use type effects on soil organic carbon and microbial properties in a semiarid region of northeast Brazil. **Land Degrad. Develop**. v.27(2), p.171-178, 2014.



FRACETTO, F.J.C., FRACETTO, G.G.M., CERRI, C.C., FEIGL, C.J., SIQUEIRA NETO, M. Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na caatinga. **Rev. Bras. Ci. Solo**. v.36, p.1545-1552, 2012.

HERMLE, S.; ANKEN, T.; LEIFELD, J.; WEISSKOPF. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. **Soil and Tillage Research**, v. 98, p.94- 105, 2008.

HORWATH, W. Carbon cycling and formation of soil organic matter. In.: PAUL, E. A. **Soil microbiology, ecology, and biochemistry**. 3ª ed. Elsevier. 579 p. 2007.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2013**. The physical Science basis. Working group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2216p., 2013.

JANZEN, H. H. The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? **Soil Biol. Biochem.** v. 38, p 419 – 424, 2006.

KELLY, R. H; et al. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the CENTURY model. **Geoderma**. v.81, p. 75-90, 1997.

KIRSCHBAUM, U. F.; PAUL, K. I. Modelling C and N dynamics in forest soils with a modified version of the CENTURY model. **Soil Biology & Biochemistry**, v.32, p.341-354, 2002.

KONONOVA, M. M. Current problems in the study of organic matter accumulation in soils under anaerobiosis. **Soil Science**, v.137, p.419-427, 1984.

\_\_\_\_\_. **Soil organic matter: Its nature, its role in soil formation and in soil fertility**. 2ª ed. Elsevier. 544 p. 2013.

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

\_\_\_\_\_. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v.304, p.1623-1627, 2004b.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. Modelo CENTURY de dinâmica da matéria orgânica do solo: Equações e pressupostos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.4, p.679-686, jul-ago, 2003.

\_\_\_\_\_; SÁ MENDONÇA, E.; MACHADO, P. L. O. A. Simulação pelo modelo CENTURY da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.347-358, 2004.

\_\_\_\_\_; SÁ MENDONÇA, E.; MACHADO, P. L. O. A.; FERNANDES FILHO, E. I.; NEVES, J. C. L. Simulating trends in soil organic carbon of na Acrisol under no-tillage and disc-plow systems using the CENTURY model. **Geoderma**, v.120, p.283-295, 2004.

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 and Environment**. v.128, p.97-103, 2008.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; SÁ MENDONÇA, E.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **R. Árvore**, v. 30(5), p. 837-848, 2006.

\_\_\_\_\_; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v.149, p.84-91, 2009.

\_\_\_\_\_, XAVIER, F.A.S., OLIVEIRA, T.S., MENDONÇA, E.S., ARAÚJO FILHO, J.A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semiarid region of Ceará, Brazil. **Agroforest Syst.** v.71, p.127-138, 2007.

\_\_\_\_\_; OGLE, S. M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Changes in soil organic carbon storage under diferente agricultural management systems in the Southwest Amazon region of Brazil. **Soil & Tillage Res.** V.106, p.177-184, 2010.

\_\_\_\_\_, CARVALHO, J.L.N., CERRI, C.E.P., LAL, R., BERNOUX, M., GALDOS, M.V., CERRI, C.C. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. **Soil & Tillage Research**. v.133, p.75-84, 2013.

MEDEIROS, S. S. et al. **Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro**. Campina Grande, INSA, 103p. 2012.

METHEREL, A. K. et al. **CENTURY: Soil organic matter model environment technical documentation agrossystem version 4.0**. Fort Collins, USDA-ARS, 123p. (Great Plains System Research Unit. Technical Report, 4), 1994.

OJIMA, D. S. Modelling the effects of climatic and CO<sub>2</sub> changes on grassland storage of soil C. **Water, Air and Soil Pollution**, v.70, p.643-657, 1993.

OLIVEIRA, B. G.; CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J. Soil greenhouse gas fluxes from vinasse application in Brazilian sugarcane áreas. **Geoderma**, v. 200-201, p.77-84, 2013.

OUYANG, W., SHAN, Y., HAO, F., LIN, C. Differences in soil organic carbon dynamics in paddy fields and drylands in northeast China using the CENTURY model. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.194, p.38-47, 2014.

PARRAS-ALCÁNTARA, L.; LOZANO-GARCÍA, B.; BREVIK, E. C.; CERDÁ, A. Soil organic carbon stocks assessment in Mediterranean natural áreas: A comparison of entire soil profiles and soil core sections. **Journal of Environmental Management**, v.155, p.219-228, 2015.

PARTON, W. J.; STEWART, J. W. B.; COLE, C. V. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: A model. **Biogeochemistry**, v. 5, p.109-131, 1988.

\_\_\_\_\_. Analisis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.51, p.1173-1179, 1987.

\_\_\_\_\_.; et al. Modelling organic matter dynamics in tropical soils. In: COLEMAN, D. C. et al. (Eds). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: NIFTAL Project, p.153-171, 1989.

PAUSTIAN, K.; PARTON, W. J.; PERSON, J. Modelling soil organic matter in organic amended and nitrogen fertilized long term plots. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.56, p.476-488, 1992.

ROSCOE, R.; MADAR, B. E.; MACHADO, P. L. O.. **Fracionamento físico do solo na obtenção de compartimentos mensuráveis para o uso em simuladores da dinâmica da matéria orgânica**. In: ROSCOE, R. et al.. *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 304p, p. 17-42, 2006a.

\_\_\_\_\_.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. **Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo**. In: ROSCOE, R. et al.. *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 304p, p. 17-42, 2006b.

SACRAMENTO, J.A.A.S., ARAUJO, A.C.M., ESCOBAR, M.E.O., XAVIER, F.A.S., CAVALCANTE, A.C., OLIVEIRA, T.S. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **R. Bras. Ci. Solo**. v.37, p.784-795, 2013.

SILVA, L. M. V.; PASQUAL, A. Dinâmica da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. **Energia na agricultura**, v.14, p.13-24, 1999.

SILVA-OLAYA, A.M., CERRI, C.E.P., WILLIAMS, S., CERRI, C.C., DAVIES, C.A., PAUSTIAN, K. Modelling SOC response to land use change and management practices in sugarcane cultivation in South-Central Brazil. **Plant Soil**. v.410, p.483-498, 2017.  
SMITH, P., SMITH, J.U., POWLSON, D.S., MCGILL, W.B., ARAH, J.R.M., CHERTOV, O.G., COLEMAN, K., FRANKO, U., FROLKING, S., JENKINSON, D.S., JENSEN, L.S., KELLY, R.H., KLEIN-GUNNEWIEK, A.P.A. Comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. **Geoderma**. v.81, p.153-225, 1997.

SOBOKA, J.; BALKOVIČ, J.; LAPIN, M. A CENTURY 5 Model Using for Estimation of Soil Organic Matter Behaviour at Predicted Climate Change. **Soil & Water Res**. v. 2 (1), p. 25-34, 2007.

SOUSA, F.P., FERREIRA, T.O., MENDONÇA, E.S, ROMERO, R.E, OLIVEIRA, J.G.B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. **Agriculture, Ecosystems & Environ**. v.148, p.11–21, 2012.

STOCKMANN, U.; et al. Global soil organic assessment. **Global Food Security**, v.6, p.9-16, 2015.

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**, v.105, p.33-43, 2009.

van VEEN, J. A.; PAUL, E. A. Organic carbon dynamics in grassland soils. 1. Background information and computer simulation. **Can. J. Soil Sci**, v.61, p.185-201, 1981.

VIEIRA, L. L. A.; BARROS, T. T.; PIMENTEL, I. M. C.; FAIÃO, D.; PEDROSA, V. A. A futura oferta de água pelo canal do sertão alagoano. In.: IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. p. 1-18, 2008.

VILELA, E.F., MENDONÇA, E.S. Impacto de sistemas agroflorestais sobre a matéria orgânica do solo: modelagem de carbono e nitrogênio. **Coffe Science**. Lavras. v.8 (3), p.354-363, 2013.

WEBER, M.A., MIELNICZUK, J., TORNQUIST, C. G. Changes in soil organic carbon and nitrogen stocks in long-term experiments in Southern Brazil simulatede with CENTURY 4.5. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, 40:e0151115, 2016.

WATANABE, M.; SUZUKI, T.; O'ISHI, R.; KOMURO, Y.; WATANABE, S.; EMORI, S.; TAKEMURA, T.; CHIKIRA, M.; OGURA, T.; SEKIGUCHI, M.; TAKATA, K.; YAMAZAKI, D.; YOKOHATA, T.; NOZAWA, T.; HASUMI, H.; TATEBE, H.; KIMOTO, M. Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. **Journal of Climate**. v.23, p.6312-6335, 2010.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; SÁ MENDONÇA, E.; ALMEIDA, R. F.; ALVARENGA, R. C. Simulação de estoques de carbono e nitrogênio pelo modelo CENTURY em Latossolos, no Cerrado brasileiro. **Rev. Ci. Agrônômica**, v.45, n.2, p.238-248, abr-jun, 2014.

## **CAPÍTULO 1: ADAPTAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO CENTURY PARA MODELAGEM DAS MUDANÇAS NOS ESTOQUES DE CARBONO DO SOLO EM SISTEMAS CONVENCIONAIS DE USO DO SOLO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

### **Resumo**

O estudo da dinâmica do carbono orgânico do solo (COS) em regiões semiáridas é escasso, principalmente no Nordeste do Brasil, com a modelagem matemática tornando-se uma via de contabilização. O presente estudo objetivou utilizar o modelo CENTURY 4.5 para simular a dinâmica do COS na região semiárida de Alagoas, adaptando o modelo quando necessário. O estudo foi realizado com uma base de dados de três diferentes tipos de solos (Neossolo Quartzarênico, Argissolo e Neossolo Regolítico), localizados em Alagoas. Como dados de entrada, o CENTURY requer: densidade do solo, pH, granulometria, temperaturas máximas e mínimas e precipitação pluviométrica. Os dados de saída foram a quantificação do carbono orgânico do solo. O estudo consistiu em validar o modelo através de dados obtidos na literatura para o semiárido e quando houver consistência dos dados, calibrar e validar para a área de estudo, adaptando parâmetros da literatura. Na comparação entre os dados observados em campo e simulados, utilizaram-se a Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE), Porcentagem de Tendência (PBIAS), correlação de Pearson, coeficiente de determinação, eficiência na modelagem, erro relativo e teste f. O CENTURY simulou COS em áreas com Neossolo Quartzarênico com os dados da literatura com eficácia. As áreas com Neossolo Regolítico e Argissolo necessitaram de adaptação nos parâmetros para simular COS com acurácia. Em relação à performance do CENTURY, este pode ser utilizado para determinação do COS na transição de mata nativa para sistemas de cultivo, com índices estatísticos satisfatórios. Os resultados mostraram que os sistemas convencionais de cultivo agrícola e pastagem no semiárido do Brasil levam a perdas entre 22 e 35 %, e que os estoques de COS atingem um novo steady-state entre 30 e 40 anos após a conversão da vegetação nativa.

**Palavras-chave:** agricultura; matéria orgânica do solo; agricultura convencional; modelagem; pastagem; steady-state.

### **Abstract**

The study of soil organic carbon (SOC) dynamics in semiarid regions is very scarce, mainly in the Northeast of Brazil, with mathematical modeling becoming a way of accounting. The present study aimed to use the CENTURY 4.5 model to simulate the SOC dynamics in the semiarid region of Alagoas, adapting the model when necessary. The study was carried out with

a database of three different types of soils (Entisols Quartzipsamments, Entisols Psamments and Ultisols), located in Alagoas. As input data, CENTURY requires: soil density, pH, particle size, maximum and minimum temperatures and rainfall. The output data were the quantification of soil organic carbon (SOC). The study consisted in validating the model through literature data and when there is data consistency, calibrate and validate for the study area, adapting parameters of the literature. The mean root square error (RMSE), Percentage Bias (PBIAS), Pearson's correlation coefficient, determination coefficient, modeling efficiency, relative error, and f-test were used in the comparison between field and simulated data. In relation to the performance of CENTURY, this can be used to determine the COS in the transition from native forest to cropping systems, with satisfactory statistical indexes. The results showed that the conventional systems of agricultural cultivation and pasture in the Brazilian semi-arid region lead to losses between 22 and 35%, and that SOC stocks reach a new steady state between 30 and 40 years after the conversion of the native vegetation.

**Keywords:** agriculture; soil organic matter; conventional tillage; modeling; pasture; steady-state.

## 1. INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro sofre crescente pressão humana, principalmente devido a remoção de sua vegetação nativa (conhecida como Caatinga) e substituição por agricultura e pastagens (ALTHOFF et al., 2018). Esta região compreende uma área de aproximadamente 980 mil km<sup>2</sup> dos quais 34% estão atualmente sob uso de sistemas agropecuários (BUSTAMANTE et al., 2015), sendo predominante ainda na região os sistemas convencionais de uso da terra, que se inicia com desmatamento e queima da vegetação nativa, segue com o revolvimento frequente do solo, períodos inadequados de pousio, sendo também comum a prática de pastejo das áreas agrícolas após a colheita, o que contribui para diminuir o já baixo aporte de biomassa da região (MAIA et al., 2006; FERREIRA et al., 2014). Portanto, a combinação destas práticas de manejo com as condições de clima (altas temperaturas, reduzida e irregular pluviosidade), tem impactado negativamente o meio ambiente da região, principalmente o solo, levando por exemplo, a perdas substanciais do carbono orgânico do solo (COS) (MAIA et al., 2007; MENEZES et al., 2012; FERREIRA et al., 2014).

Vários estudos têm evidenciado que a conversão de vegetação nativa para sistemas agrícolas resulta na perda do COS (MAIA et al., 2007; SOUSA et al., 2012; MAIA et al., 2013), e que tais perdas são maiores em sistemas convencionais de cultivo (FERREIRA et al., 2016; CONCEIÇÃO et al., 2017). No entanto, não existe consenso em relação a magnitude destas

perdas. Especificamente para o semiárido, os dados são mais escassos, porém trabalhos de Maia et al. (2007) e Sousa et al. (2012) demonstraram que em áreas degradadas (devido ao cultivo), a perda de COS pode variar entre 61 e 64%, quando comparada a vegetação nativa. Já Fracetto et al. (2012), ao estudarem o COS na conversão da vegetação nativa para cultivo de mamona em uma região do semiárido brasileiro, observaram que as perdas de carbono podem alcançar 50%.

Os estudos sobre o COS no semiárido do Brasil e o entendimento de sua dinâmica além de ser essencial para avaliar e propor sistemas de manejo do solo, é necessária também para quantificar o potencial das práticas e sistemas de manejo em promover a emissão ou remoção de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (MAIA et al., 2007; SACRAMENTO et al., 2013; FERREIRA et al., 2014). Neste sentido, o uso de modelos matemáticos pode ser útil para melhorar o entendimento da dinâmica da matéria orgânica do solo, assim como, estimar o potencial dos solos em acumular ou perder COS (CERRI et al., 2004). Smith et al. (1997), por exemplo, avaliaram uma série de modelos na simulação da dinâmica do COS, e observaram a maior flexibilidade do modelo CENTURY em simular eventos de manejo do solo.

A aplicabilidade do CENTURY varia desde a estimativa da biomassa vegetal acima e abaixo do solo, bem como a integração desta com o ambiente, gerando informações dos ciclos biogeoquímicos de carbono, nitrogênio, enxofre e fósforo (ALVARO-FUENTES et al., 2009; OUYANG et al., 2014; WEBER et al., 2016; SILVA-OLAYA et al., 2017; ALTHOFF et al., 2018). Em sistemas agrícolas no Brasil, modelos de simulação têm sido utilizados na determinação da dinâmica do carbono orgânico do solo (COS) em diversas situações e regiões. Por exemplo, Tornquist et al. (2009) modelaram os efeitos do COS em um Latossolo na transição de vegetação nativa para diferentes cenários agrícolas em uma zona de floresta subtropical. Weber et al. (2016), utilizaram o modelo CENTURY para simular os estoques de carbono e nitrogênio do solo em áreas experimentais na região Sul do Brasil. Recentemente, Silva-Olaya et al. (2017) avaliaram a resposta do CENTURY na dinâmica do COS em relação às práticas de manejo em cana-de-açúcar. Com isso, o modelo tem se mostrado efetivo no estudo de simulações da dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) em diferentes ambientes do Brasil (LEITE et al., 2004; BORTOLON et al., 2011; VILELA e MENDONÇA, 2013).

Entretanto, no semiárido brasileiro, pesquisas que envolvam simulações com o modelo CENTURY na dinâmica do COS ainda são incipientes, focando principalmente nas áreas sob vegetação nativa (Caatinga) (ALTHOFF et al., 2016; ALTHOFF et al., 2018). Em estudo pioneiro, Althoff et al. (2018), calibraram o modelo CENTURY para as condições da vegetação nativa no estado da Paraíba, semiárido brasileiro. O foco principal dos autores foi simular a



retirada da vegetação nativa para uso da lenha e queima da Caatinga, simulando a biomassa vegetal, nitrogênio e carbono no solo. Outro estudo com o CENTURY foi realizado por Althoff et al. (2016), que utilizaram o modelo na simulação da biomassa e carbono do solo em áreas de Caatinga sob diferentes cenários de mudanças climáticas. Todavia, esses estudos focam apenas simulações com a biomassa da vegetação nativa, excetuando sistemas agrícolas.

Desta forma, fica evidente a necessidade de se ampliar os estudos com modelagem para a região semiárida do Brasil, o que deve incluir a adaptação e validação dos modelos para outras áreas de vegetação nativa, assim como, utilizar os modelos para avaliar a adoção de sistemas agrícolas e pastagem no semiárido. Assim, este estudo teve os seguintes objetivos: i) calibrar e validar o modelo CENTURY para simular a dinâmica do COS em áreas de vegetação nativa (Caatinga); ii) calibrar e validar o CENTURY para estimar as mudanças nos estoques de COS devido a conversão da vegetação nativa para diferentes sistemas convencionais de uso do solo (agricultura e pastagem) e; iii) identificar o período de estabilização do carbono em período futuro.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### ***2.1. Região do estudo e sistemas de manejo do solo***

A região de estudo contempla três municípios do semiárido nordestino, no estado de Alagoas: Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi (Figura 1). O clima foi classificado como estepe, clima seco com chuvas distribuídas no inverno (média de 800 mm) e temperatura média de 27 °C (DdA'a' de acordo com a classificação de Thornthwaite) (GOIS et al., 2005). Os solos da região de estudo são: Neossolo Quartzarênico (Delmiro Gouveia), Neossolo Regolítico (Pariconha) e Argissolo Vermelho Amarelo (Inhapi).

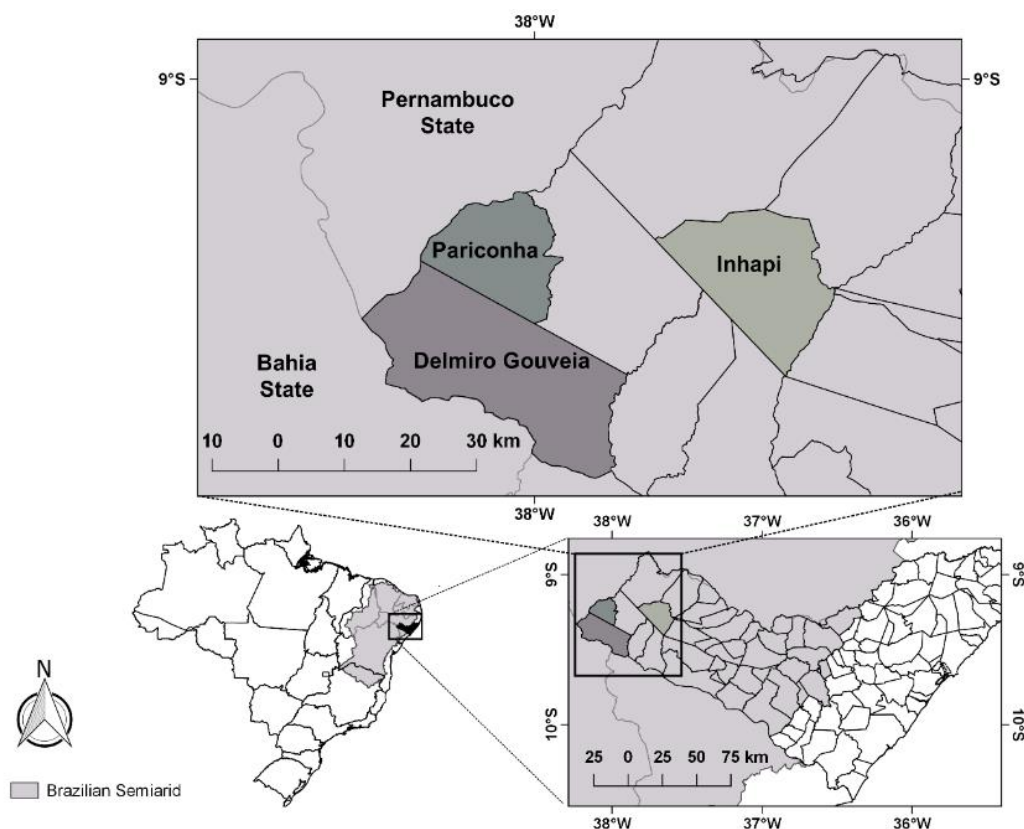


Figura 1. Localização da região de estudo no estado de Alagoas, Brasil.

Todas as áreas do estudo são áreas comerciais produtivas (não experimentais), que alternam culturas (Tabela 1) sem seguir uma sequência lógica de cultivo. Os resíduos das culturas são geralmente disponibilizados para o pastoreio de animais, e são consumidos quase na sua totalidade. O preparo do solo é baseado no modelo convencional com aração por tração animal. Sistemas convencionais de cultivo no semiárido brasileiro são também caracterizados por ciclos de 4 a 5 anos consecutivos de cultivo seguidos por períodos de 2 a 3 anos de pousio, quando são novamente utilizados para a agricultura. Para este estudo foi adotado 4 anos de cultivo e 3 de pousio nas áreas que possui cultivo agrícola. A área de pastagem (NrPa10) é dominada por capim-pangola (*Digitaria Umfolozi*) e estava no momento da amostragem do solo há 10 anos sem sofrer nenhum tipo de revolvimento do solo, mas anteriormente, esta área foi cultivada por 20 anos com milho e feijão, em diferentes períodos, sob as mesmas práticas (preparo do solo, pastejo de resíduos culturais e período de pousio) adotadas nas demais áreas agrícolas. A Figura 2 apresenta a sequência de uso da terra nas diferentes áreas.

Tabela 1. Tipos de solo, descrição dos sistemas de uso e coordenadas geográficas dos locais de estudo

<b>Sistemas de uso</b>	<b>Região</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>	<b>Tipo de solo</b>
Vegetação nativa (Caatinga) – NqNV			
Lavoura com quatro anos de cultivo com feijão e milho – NqCC4	Delmiro Gouveia	09°29'004" S; 37°56'24,3" W 255 m de elevação	Neossolo Quartzarênico (Nq)
Lavoura com 15 anos de cultivo com milho e feijão – NqCC15			
Vegetação Nativa (Caatinga) – ArNV			
Lavoura com 30 anos de cultivo de milho e feijão – ArCC30	Inhapi	09°12'13,20 " S; 37°44'11,44' "W 320 m de elevação	Argissolo Vermelho Amarelo (Ar)
Vegetação Nativa (Caatinga) – NrNV			
Lavoura com quatro anos de cultivo de milho e feijão – NrCC4	Pariconha	09°17'04,7" S, 38°02'43,4" W 421 m de elevação	Neossolo Regolítico (Nr)
Lavoura com 30 anos de cultivo de milho e feijão e pastagem nos últimos dez anos – NrPa10			

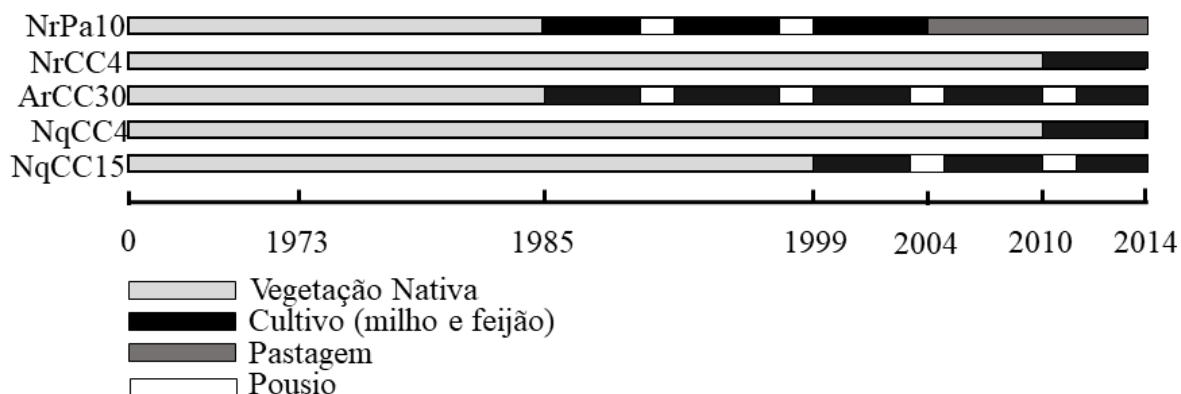


Figura 2. Sequência de uso e manejo do solo.

## 2.2. Amostragem e análise do solo

Em cada município foi selecionada uma fazenda que tivesse áreas com cultivo convencional próximas a área de vegetação nativa para representar a condição original do solo. Para selecionar essas áreas, foi levado em consideração o histórico sobre as práticas de uso e manejo da terra adotadas na fazenda desde a conversão da vegetação nativa, e a área de plantio tinha que estar a no máximo 0,2 km da área de vegetação nativa, e apresentar mesmo tipo de solo com textura semelhantes. Em cada uma das oito áreas, amostras de solo foram coletadas em cinco trincheiras nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade (considerando que o modelo CENTURY considera somente a camada 0-20 cm de profundidade). Em laboratório, as amostras foram secas ao ar e peneiradas com malha de 2 mm para remover pedras e fragmentos de raízes antes da análise. As subamostras foram maceradas e passadas em peneiras de 100 mesh (0,149 mm) para determinação do carbono total. O carbono orgânico total do solo (COS) foi medido por combustão a seco usando um analisador elementar (Thermo Scientific-Flash 2000). A densidade do solo (BD) foi medida em cada camada amostrada usando um anel volumétrico de aço (100 cm<sup>3</sup>). Para cada camada de solo, o estoque de COS foi calculado multiplicando a concentração de C (g g<sup>-1</sup>) por BD (g cm<sup>-3</sup>) e espessura de camada (cm). O pH e granulometria foram determinados de acordo com Embrapa (1997). As propriedades físico-químicas do solo são descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Granulometria, densidade do solo (BD) e pH nas áreas de vegetação nativa e agrícolas no estado de Alagoas, Brasil

	Textura (%)			BD (g cm <sup>-3</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )
	Areia	Silte	Argila		
	0-20 cm				
NqNV	88,8 ± 1,8	2,7 ± 2,8	8,5 ± 1,0	1,42 ± 0,04	4,4 ± 0,06
NqCC15	86,5 ± 2,3	5,0 ± 6,9	8,4 ± 4,6	1,49 ± 0,01	5,0 ± 0,14
NqCC4	88,6 ± 4,0	4,6 ± 1,6	6,8 ± 2,4	1,41 ± 0,00	4,7 ± 0,30
NrNV	88,5 ± 1,2	7,2 ± 2,4	4,3 ± 1,3	1,52 ± 0,01	5,1 ± 0,08
NrPa10	85,3 ± 2,4	11,6 ± 1,7	3,0 ± 0,6	1,60 ± 0,02	5,9 ± 0,10
NrCC4	77,8 ± 3,7	14,7 ± 3,0	7,5 ± 0,7	1,50 ± 0,02	5,4 ± 0,04
ArNV	64,3 ± 3,5	15,9 ± 2,4	19,8 ± 5,8	1,46 ± 0,00	5,4 ± 0,21
ArCC30	58,3 ± 6,3	19,9 ± 4,8	21,8 ± 1,6	1,47 ± 0,01	5,9 ± 0,06

### 2.3. Parametrização do modelo

Para simular as mudanças nos estoques do COS em diferentes sistemas de uso do solo foi usado o modelo CENTURY versão 4.5. Para que o CENTURY seja utilizado há a necessidade de introduzir dados de entrada, como informações do clima, do solo e do ambiente de estudo (Parton et al., 1993). Nesse estudo, os dados de precipitação foram provenientes de séries históricas obtidas na base de dados da Agência Nacional das Águas (HIDROWEB, 2017). Para Delmiro Gouveia foi utilizado dados de 1937–2015; para Pariconha, adotou-se os dados da estação pluviométrica do município de Água Branca (estação mais próxima), com 72 anos de dados (1913–1985); e para Inhapi foram usados os dados da estação pluviométrica do município de Mata Grande (estação mais próxima), com 30 anos de dados (1961–1991). Já os valores das temperaturas máximas e mínimas do ar foram gerados por meio do modelo estimaT (CAVALCANTI et al., 2006), no período de 1950–2002 (período disponibilizado pelo estimaT).

Para os períodos que não houve disponibilidade de dados de temperatura gerados pelo estimaT, foi utilizada a metodologia de Gois et al. (2005). Ambas as metodologias utilizam dados de latitude, longitude e altitude como variáveis para determinar a temperatura, através de uma regressão multivariada. As médias da precipitação, temperaturas máximas e mínimas são apresentadas na Figura 3. Valores da textura do solo, densidade do solo e pH são apresentados na Tabela 2.

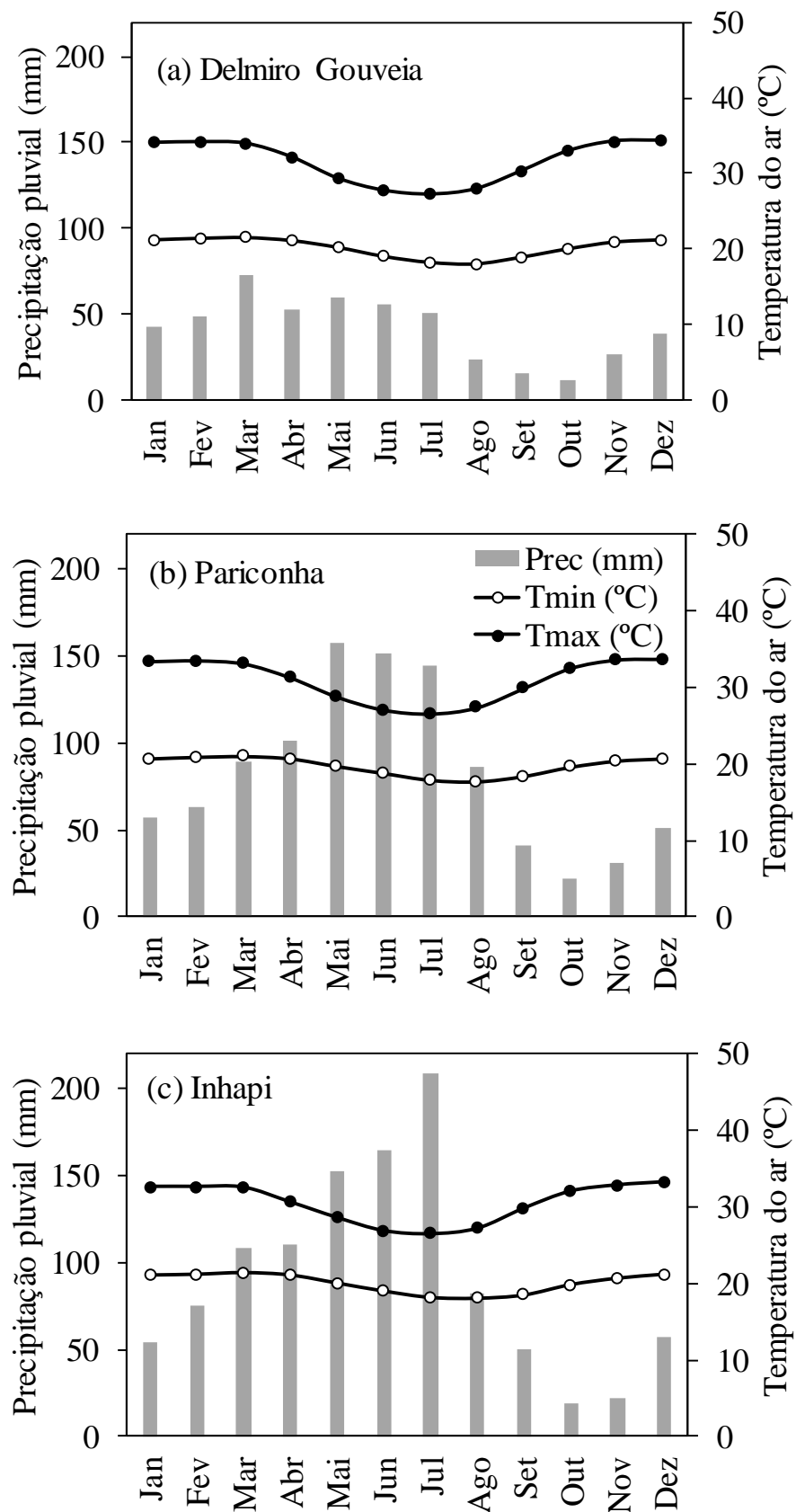


Figura 3. Médias mensais históricas de precipitação e temperatura do ar das diferentes áreas de estudo.

#### 2.4. Calibração do modelo

Calibração é parte fundamental de estudos com modelos, objetivando melhorar a correlação entre dados mensurados e simulados (BORTOLON et al., 2011). O modelo foi inicializado para a estabilização do COS nas três áreas de vegetação nativa (Caatinga) por um período de 7000 anos. Os parâmetros *tree.100*, *crop.100*, *fix.100* e as entradas de nitrogênio inseridos no modelo foram derivados de Althoff et al. (2018). De acordo com os autores, nas regiões de vegetação nativa do semiárido há o crescimento de uma vegetação herbácea concomitantemente com uma vegetação hiperxerófila (Caatinga). O parâmetro *VARAT* (relação carbono e nitrogênio), *fix.100*, foi modificado de acordo com dados de Maia (2004), Xavier et al. (2006) e Maia et al. (2007). Após o período da simulação de equilíbrio, foi simulado o procedimento de corte e queima da vegetação nativa por completo, e em seguida foi feita a simulação presente dos cultivos agrícolas e pastagem. Como variável de saída, o modelo simulou o estoque de carbono do solo (*SOMC*) (Tabela 3). O parâmetro *PS2S3(1)* foi modificado conforme Vilela e Mendonça (2013).

Após as simulações do modelo com os dados de Althoff et al. (2018), apenas na área de Neossolo Quartzarênico os resultados se mostraram satisfatórios (mensurados x estimados). Assim, para as demais áreas, foi realizado o ajuste das variáveis relacionadas as taxas de decomposição (*fix.100*) nos compartimentos ativo, lento e passivo e na taxa de transferência do carbono lento para o passivo (Tabela 3), procedendo novamente a simulação do modelo.

Quanto às práticas de manejo, foram adotados os seguintes critérios: i) preparo do solo por meio da aração por tração animal (*cult.100*), adotando o proposto por Bortolon et al. (2011); ii) após a colheita (milho ou feijão) as áreas foram pastejadas, utilizando um pastejo de baixa intensidade (*graz.100*), visando a remoção dos restos culturais; iii) após quatro anos de cultivo consecutivos, as áreas são abandonadas e deixadas em pousio por três anos, quando são então, novamente cultivadas. Os parâmetros *crop.100* para milho, feijão e pastagem foram os disponibilizados por Bortolon et al. (2011), Weber et al. (2016) e Martins (2015), respectivamente. Além de simular o período atual de estudo, extrapolou-se o período de cultivo até o ano de 2100, visando avaliar o comportamento destes cenários, sem nenhuma modificação de manejo.

Tabela 3. Valores originais e alterados de parâmetros fixos da vegetação nativa e cultivo nas regiões de estudo, semiárido de Alagoas

<b>Parâmetro fixo (fix.100)</b>			
	<b>Parâmetro</b>	<b>Althoff et al. (2018)*</b>	<b>Valor utilizado</b>
<b>EqNV</b>	<i>DEC3(1)</i> <sup>1</sup>	7,0	7,0
	<i>DEC3(2)</i> <sup>2</sup>	6,5	6,5
	<i>DEC4</i> <sup>3</sup>	0,007	0,007
	<i>DEC5</i> <sup>4</sup>	0,25	0,25
	<i>PS2S3(1)</i> <sup>5</sup>	0,003	0,003
<b>EpNV</b>	<i>DEC3(1)</i> <sup>1</sup>	7,0	6,0
	<i>DEC3(2)</i> <sup>2</sup>	6,5	5,85
	<i>DEC4</i> <sup>3</sup>	0,007	0,0045
	<i>DEC5</i> <sup>4</sup>	0,25	0,25
	<i>PS2S3(1)</i> <sup>5</sup>	0,003	0,0085
<b>UINV</b>	<i>DEC3(1)</i> <sup>1</sup>	7,0	6,0
	<i>DEC3(2)</i> <sup>2</sup>	6,5	6,5
	<i>DEC4</i> <sup>3</sup>	0,007	0,0045
	<i>DEC5</i> <sup>4</sup>	0,25	0,40
	<i>PS2S3(1)</i> <sup>5</sup>	0,003	0,0068
<b>Em todos os sistemas</b>	<i>VARAT1(1,1)</i> <sup>5</sup>	18,00	28,85
	<i>VARAT1(2,1)</i>	8,00	13,71
	<i>VARAT2(1,1)</i>	40,00	26,49
	<i>VARAT2(1,2)</i>	12,00	19,50
	<i>VARAT3(1,1)</i>	20,00	12,24
	<i>VARAT3(1,2)</i>	6,00	6,99

<sup>1</sup> decomposição da matéria orgânica na parte estrutural. <sup>2</sup> máxima taxa de decomposição da matéria orgânica do solo na parte ativa. <sup>3</sup> máxima decomposição da matéria orgânica do solo na parte lenta. <sup>4</sup> máxima decomposição da matéria orgânica do solo na parte passiva. <sup>5</sup> fração que é transferida do compartimento lento para o passivo. <sup>6</sup> máximas/mínimas relação C/N nos compartimentos ativo, lento e passivo. \*valores retirados de Althoff et al. (2018). Os valores de VARAT foram retirados de Maia (2004), Xavier et al. (2006) e Maia et al. (2007).

## 2.5. Validação do modelo



A validação do modelo foi realizada em duas etapas: i) validação dos resultados mensurados em relação aos simulados em áreas de vegetação nativa, cultivos agrícolas e pastagem, utilizando os parâmetros descritos por Althoff et al. (2018); ii) realização de uma calibração, ajustando as taxas de decomposição nas áreas em que as simulações não refletiram os valores mensurados na primeira etapa de validação. Esse procedimento segue o descrito por Bortolon et al. (2012), que descreve o processo calibração/validação da seguinte forma: calibração-validação-calibração para generalizações.

## **2.6. Análises estatísticas**

As análises estatísticas dos resultados obtidos na comparação entre os dados observados e simulados pelo modelo foram realizadas de acordo com Smith et al. (1997) e Yang et al. (2014). Para avaliar a performance do CENTURY em relação ao *SOMC* (*carbono do solo = C da parte ativa + C da parte lenta + C da parte passiva*) nas áreas de vegetação nativa, cultivos agrícolas e pastagem, utilizou-se a raiz do erro quadrático médio (RMSE), indicando o ajuste entre os dados simulados e observados e a porcentagem de tendência (PBIAS), que avalia a tendência que os dados simulados são superiores ou inferiores que os observados. Para testar a associação entre os dados observados e os validados, com finalidade de avaliar a tendência se os valores observados estão corretamente simulados, usou-se o coeficiente de determinação ( $r^2$ ), o coeficiente de Pearson ( $r$ ), e a eficiência do modelo (EF).

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1. Sensibilidade do CENTURY na simulação do estoque de carbono com parâmetros já calibrados**

Observou-se que a estabilização ocorreu antes de 1800 anos após a inicialização do modelo no semiárido do estado de Alagoas (Figura 4). O compartimento ativo estabilizou rapidamente, compondo aproximadamente 2% do total de carbono (COS) em todas as áreas estudadas. O compartimento lento correspondeu à maior quantidade de carbono, crescendo rapidamente nos anos iniciais. Este compartimento correspondeu a 74, 77 e 67% do COS nas áreas de Neossolo Quartzarênico, Neossolo Regolítico e Argissolo, respectivamente. O compartimento passivo teve seu tempo de estabilização em torno de 600 anos.

Ao observar os resultados das análises estatísticas da comparação entre dados simulados e observados em campo, tem-se que os parâmetros de Althoff et al. (2018) para um Neossolo Litólico no estado da Paraíba se adequaram de forma satisfatória para todas as áreas de vegetação nativa no semiárido de Alagoas, visto que os valores de PBIAS (Tabela 4) podem

ser considerados como satisfatório para área com Neossolo Regolítico, e muito satisfatório nas áreas de Neossolo Quartzarênico e Argissolo Vermelho Amarelo de acordo com Lai et al. (2016).

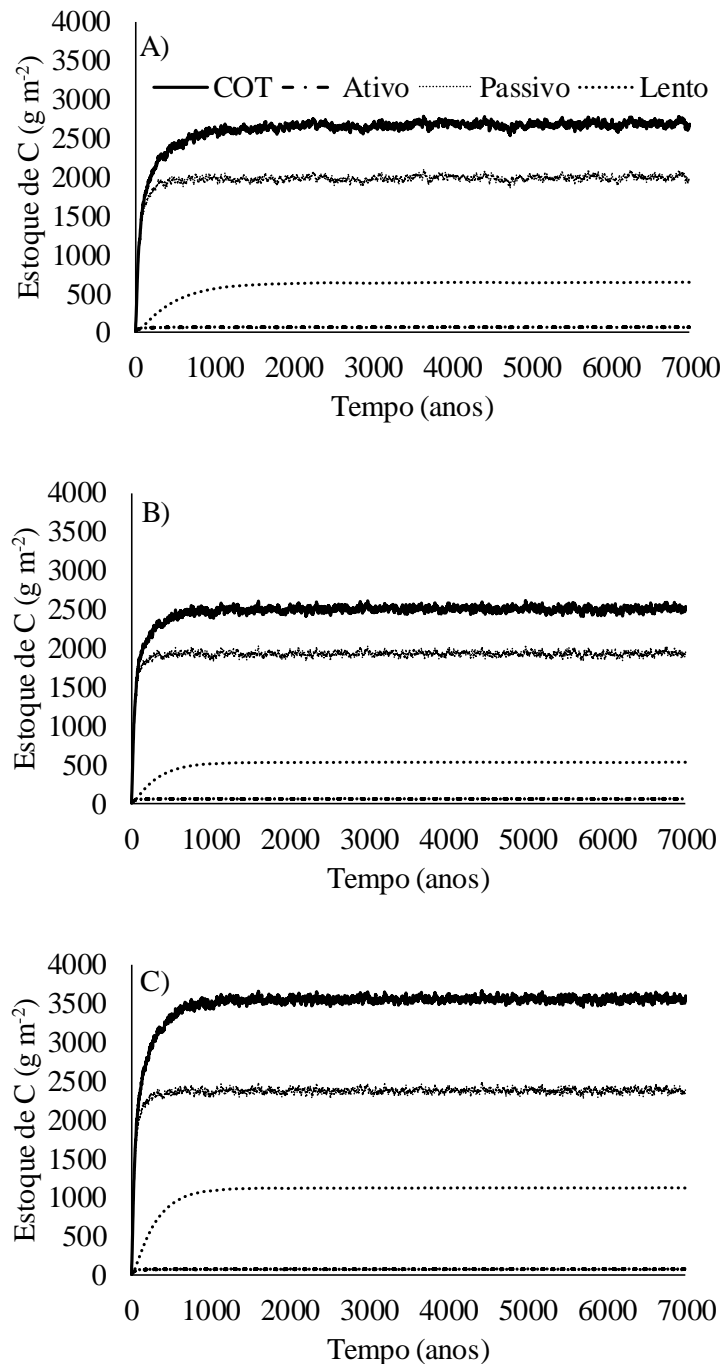


Figura 4. Estoques de carbono orgânico do solo (COS) e dos compartimentos de carbono orgânico nas regiões de Neossolo Quartzarênico (A), Neossolo Regolítico (B) e Argissolo Vermelho Amarelo (C) na camada de 0-20 cm, obtidos na simulação de equilíbrio realizada pelo modelo CENTURY.

Tabela 4. Estoques de carbono orgânico total ( $\text{g C m}^{-2}$ ) observados e simulados nas áreas de vegetação nativa estudadas, porcentagem de tendência (PBIAS, %) e raiz quadrada do erro médio (RMSE,  $\text{g m}^{-2}$ )

	<b>Observado</b>	<b>Simulado</b>	<b>PBIAS</b>	<b>RMSE</b>
	<b>C (<math>\text{g m}^{-2}</math>)</b>			
Neossolo Quartzarênico	2441,0	2673,4	-9,52	15,24
Neossolo Regolítico	3214,0	2532,9	21,19	26,10
Argissolo Vermelho Amarelo	3300,0	3590,6	-8,81	17,05

No entanto, quando foi realizada a simulação para os sistemas de uso da terra (agricultura e pastagem), observou-se que o modelo não foi efetivo para simular os estoques de COS nos sistemas NrPa10 e ArCC30 (Tabela 5). Já para os sistemas agrícolas no Neossolo Quartzarênico (Tabela 5), o modelo foi capaz de estimar o COS com confiabilidade, apresentando subestimativas de 1,15 e 8,64%, respectivamente para as áreas com 15 e 4 anos de cultivo. Resultado similar foi obtido para a área de cultivo com 4 anos no Neossolo Regolítico, para a qual a simulação superestimou o estoque de COS em 10,3% (Tabela 5).

Tabela 5. Estoques de carbono orgânico total ( $\text{g m}^{-2}$ ) observados e simulados nas áreas de cultivo agrícola e pastagem, porcentagem de tendência (PBIAS, %) e raiz quadrada do erro médio (RMSE,  $\text{g m}^{-2}$ )

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Sistema de Uso</b>	<b>Observado</b>	<b>Simulado</b>	<b>PBIAS</b>	<b>RMSE</b>
Neossolo Quartzarênico	NqCC15	1938,0	1960,36	-1,15	4,73
	NqCC4	2248,0	2442,14	-8,64	13,93
Neossolo Regolítico	NrPa10	2644,0	1338,52	49,38	36,13
	NrCC4	2833,0	2540,79	10,31	17,09
Argissolo Vermelho Amarelo	ArCC30	3521,0	2360,08	32,97	34,07

Em relação ao desempenho do modelo para o conjunto das situações estudadas, observou-se que não houve boa relação entre os dados simulados pelo modelo e mensurados em campo. Os resultados estatísticos apresentam uma correlação de 0.8651 (Figura 5),

indicando uma subestimativa de 13,5% quando os dados são simulados pelo CENTURY. Este comportamento do modelo é comprovado através do valor negativo da EF, descrevendo valores simulados menores que a média observada e baixos resultados dos coeficientes de determinação e correlação (Tabela 6).

Tabela 6. Parâmetros estatísticos na avaliação do modelo CENTURY com os dados observados quando simulados com os parâmetros descritos por Althoff et al. (2018).

<b>Testes estatísticos</b>	
r = coeficiente de correlação de Pearson	0,43
CD = coeficiente de determinação	0,57
EF = eficiência da modelagem	-0,77
RMSE = raiz quadrada do erro médio	24,83
E = erro relativo	10,72
t	1,16
t (critical 95%)	2,44

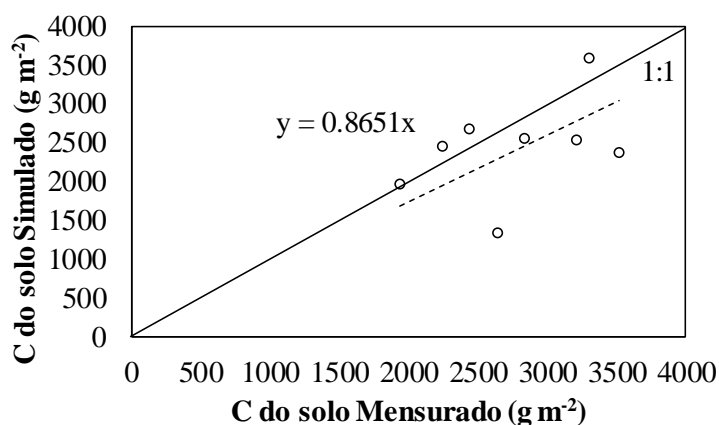


Figura 5. Regressão linear dos dados validados pelo CENTURY quando simulados com os parâmetros descritos por Althoff et al. (2018).

As modificações realizadas no modelo foram primordiais na estabilização do COS e dos compartimentos em um período inferior a 1800 anos em todas as áreas estudadas. Vários estudos com o CENTURY indicam a mesma periodicidade para o equilíbrio do carbono no solo (BORTOLON et al, 2011; XU et al., 2011; OUYANG et al, 2014; ALTHOFF et al., 2018). Observa-se que a partir do ajuste do modelo com os parâmetros propostos por Althoff et al. (2018), desenvolvidos e testados para uma região de vegetação nativa no semiárido em um

Neossolo Litólico, foi possível simular a dinâmica do COS em três diferentes tipos de solo no estado de Alagoas, onde os resultados foram satisfatórios estatisticamente, principalmente nas áreas de vegetação nativa, o que pode ser verificado pelos baixos valores de PBIAS (Tabelas 4 e 5). Portanto, estes resultados servem para validar a calibração realizada por Althoff et al. (2018), e indicam que com pequenos ajustes, como os que foram feitos para este estudo, o modelo se mostra capaz de simular a dinâmica da MOS para o semiárido brasileiro.

Diferentemente, nas áreas manejadas com mais de 30 anos, a simulação da dinâmica do carbono do solo só foi possível após o ajuste de alguns parâmetros, principalmente os relacionados as taxas de decomposição dos compartimentos da MOS. Portanto, estes resultados evidenciam que o manejo do solo por períodos mais extensos, levou a uma redução das taxas de decomposição da MOS, resultados estes que são corroborados pelo trabalho de Gonzaga (2017), o qual avaliou em estudo de incubação (por 170 dias) as mesmas áreas, e constatou que os sistemas NrPa10 e ArCC30 apresentaram taxas de decomposição e emissão de C-CO<sub>2</sub> substancialmente menores que as áreas de vegetação nativa. No caso do sistema EpPa10, a redução no conteúdo do COS ajuda a explicar esta redução na taxa de decomposição, no entanto, tal redução não se observa no sistema ArCC30. Logo, outros fatores tais como, o aumento de material orgânico mais lignificado visto que é o que predomina após o pastejo dos resíduos agrícolas, e principalmente, um ambiente menos favorável (ex. maior temperatura e menor umidade) a atividade microbiana do que nas áreas sob vegetação nativa, devem estar impactando e diminuindo a taxa de decomposição nestas áreas.

### ***3.2. Calibração e validação após ajustes de parâmetros***

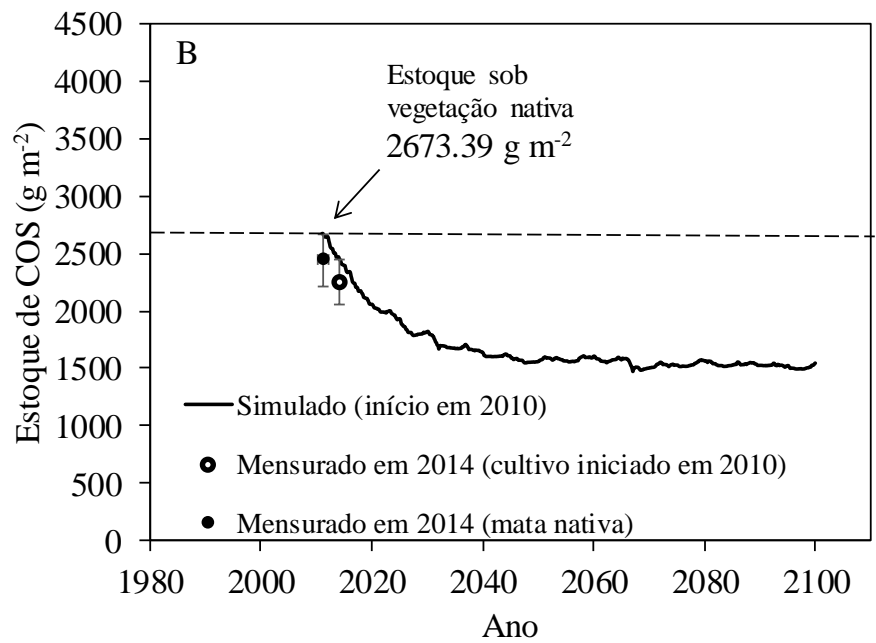
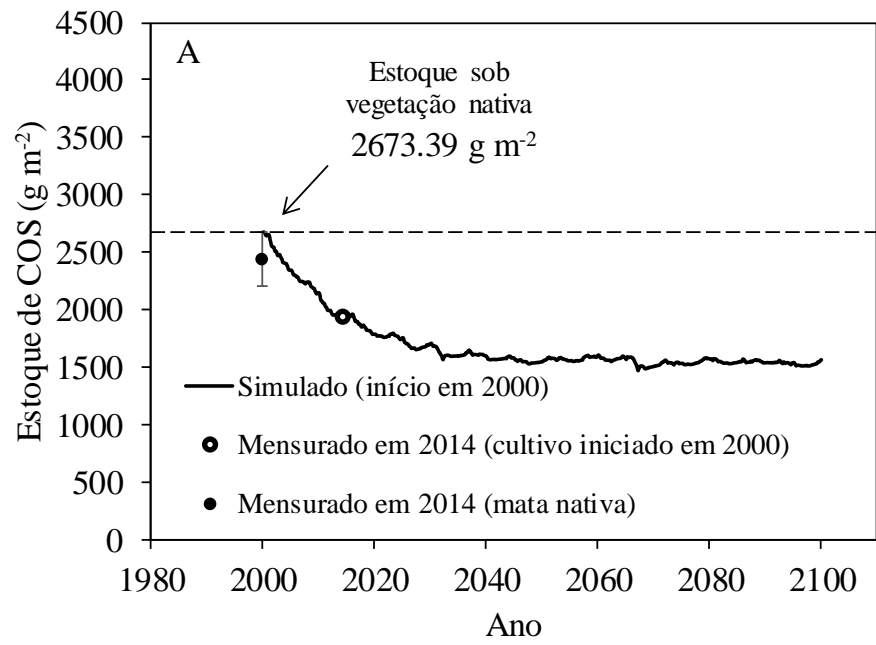
Após os ajustes descritos na Tabela 3 para as áreas de Neossolo Regolítico e Argissolo Vermelho Amarelo, o modelo simulou apropriadamente a dinâmica dos estoques de COS nas áreas de vegetação nativa e cultivos agrícolas, visto que os valores simulados variaram entre 6,16 (NrNV) e 17,4% (NrCC4) em relação aos valores observados (Tabela 7). É importante destacar, que no sistema ArCC30 a modelagem resultou na redução do COS, resultado que é o inverso do dado observado, o qual mostrou que após 30 anos de uso agrícola houve um aumento de 6.7% no estoque de carbono do solo.

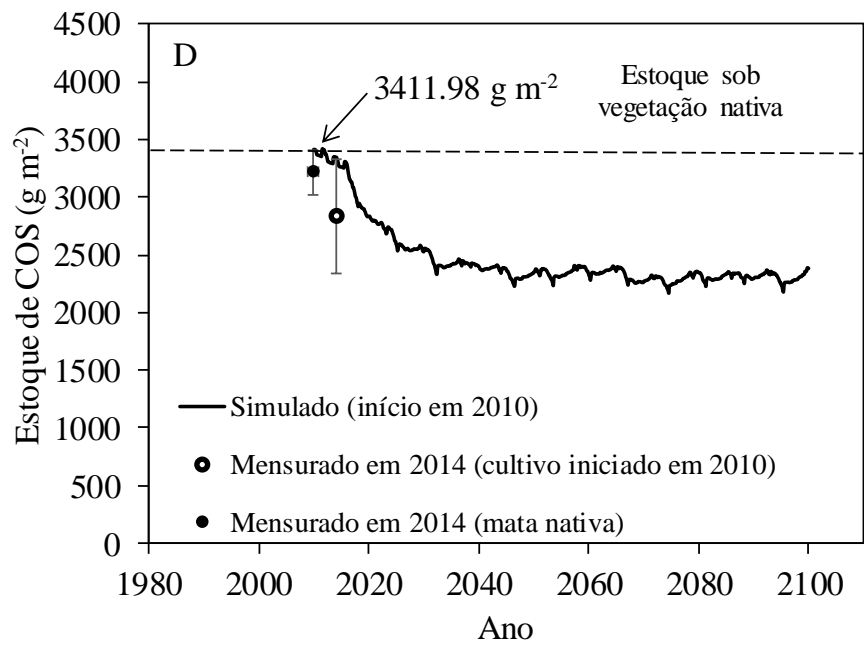
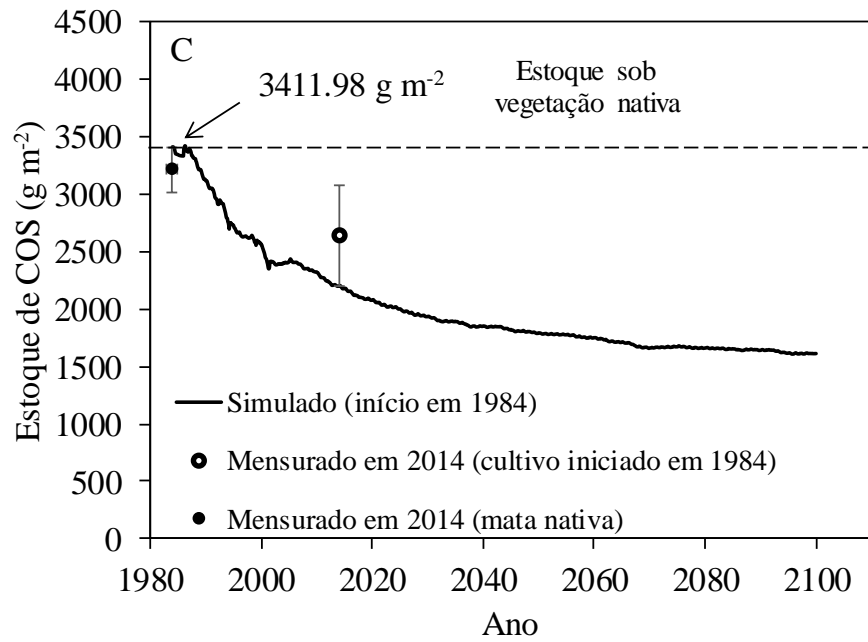
Tabela 7. Estoques de carbono orgânico total ( $\text{g m}^{-2}$ ) observados e estimados nas áreas de vegetação nativa e cultivo agrícola após o ajuste, porcentagem de tendência (PBIAS, %) e raiz quadrada do erro médio (RMSE,  $\text{g m}^{-2}$ )

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Sistema de uso do solo</b>	<b>Observado</b>	<b>Simulado</b>	<b>PBIAS</b>	<b>RMSE</b>
Neossolo Regolítico	NrNV	3214,0	3411,98	-6,16	14,07
	NrPa10	2644,0	2204,10	16,64	20,97
	NrCC4	2833,0	3326,51	-17,42	22,22
Argissolo Vermelho	ArNV	3300,0	3814,61	-15,59	22,68
Amarelo	ArCC30	3521,0	2960,69	15,91	23,67

Avaliando especificamente os dados simulados para o período presente, observou-se que houve perdas de COS em todos os sistemas de uso do solo. No Neossolo Quartzarênico, as perdas foram de 27 e 9% nas áreas de cultivo com 15 e 4 anos, respectivamente (Figura 6A e B). A maior perda foi observada na área de Neossolo Regolítico com pastagem, com perda de 35,4% do estoque inicial de carbono (Figura 6C), enquanto que na área com 4 anos de cultivo houve uma redução de 2,5% em relação a vegetação nativa (Figura 6D). No sistema NrPa10, foi possível observar dois comportamentos distintos durante o período avaliado (Figura 6C). O primeiro, durante o tempo com cultivo agrícola (1983 a 2003), houve uma redução de 30% nos estoques de COS. Já nos dez anos com pastagem (2004 a 2014) observou-se uma redução de 8,16%. No sistema cultivado por trinta anos no Argissolo, o modelo indicou uma perda de 22,4% do estoque de COS (Figura 6E).

Ao realizar a simulação futura do COS (até 2100), observou-se que nas áreas com cultivo agrícola, NqCC4, NqCC15, NrCC4 e ArCC30 as perdas de COS são respectivamente, de 42,2; 41,6; 30,2 e 24,0% quando comparadas aos solos sob vegetação nativa. No entanto, estas perdas devem ocorrer aos 37, 41, 30 e 30 anos após o início do uso agrícola das respectivas áreas. Isto demonstra, portanto, que um novo equilíbrio dinâmico do carbono do solo para estas condições de solo/clima e manejo, deverá ocorrer entre trinta e quarenta anos. Já o sistema NrPa10, o qual teve 20 anos de agricultura seguidos por 10 anos de pastagem, e continuou com pasto no cenário até 2100, mostrou que a perda de COS será de 52,7%, e que um novo equilíbrio dinâmico só será alcançado após 99 anos de uso.







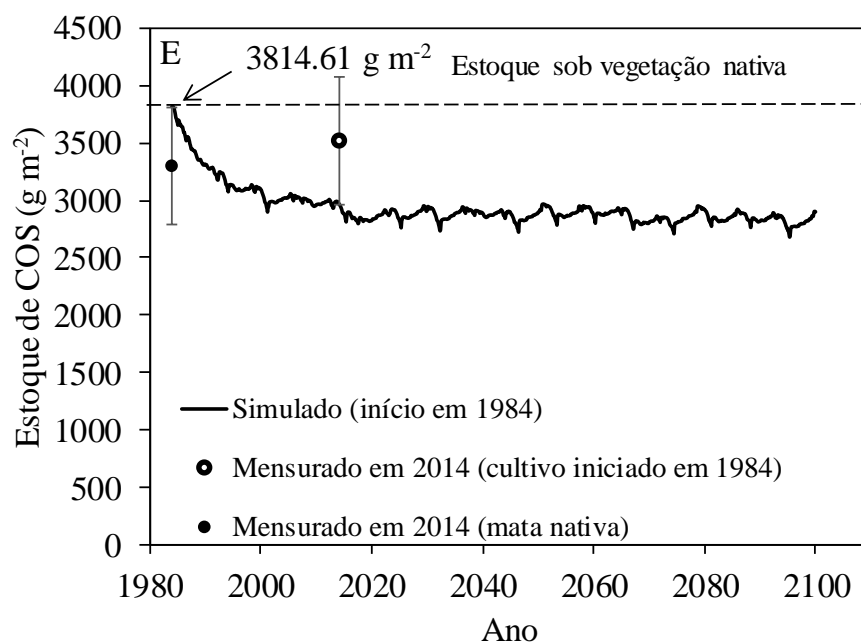


Figura 6. Simulação do CENTURY na conversão de vegetação nativa para agricultura. (A) Neossolo Quartzarênico com 15 anos de cultivo de milho e feijão; (B) Neossolo Quartzarênico com 4 anos de cultivo de milho e feijão; (C) Neossolo Regolítico com cultivo de pastagem durante 10 anos; (D) Neossolo Regolítico com 4 anos de cultivo de milho e feijão; (E) Argisolo Vermelho Amarelo com 30 anos de cultivo de milho e feijão.

Desta forma, a diminuição da taxa de perda de COS no manejo com pastagem está provavelmente associada ao não revolvimento do solo, visto que a área em questão estava no momento da amostragem do solo há 10 anos sem nenhum tipo de mobilização do solo, sendo que tem sido amplamente difundido o efeito negativo do revolvimento do solo sobre a matéria orgânica (BORTOLON et al., 2011; MAIA et al., 2013; SANT-ANNA et al., 2016; ACAR; CELIK; GÜNAL, 2018; SARKER et al., 2018). Além disso, há de se levar em consideração também o papel do sistema radicular das gramíneas, o qual é mais efetivo na produção de raízes finas de rápida decomposição, que facilitam a proteção e agregação do solo (CONTANT et al., 2001; CONRAD et al., 2018; LIEBIG et al., 2018). Isso foi observado neste sistema de uso (NrPa10), em que houve aumento significativo dos macroagregados, quando relacionados aos outros sistemas de uso (GONZAGA, 2017).

Em relação ao maior período para se atingir um novo steady-state na área de pastagem, e a conseqüente maior perda total de COS quando comparada as áreas de cultivo agrícola, isto provavelmente se deve ao tipo de manejo assumido neste sistema, que adotou um pastejo sem nenhum tipo de renovação ou práticas de melhoria do pasto, como por exemplo pastejo

rotacionado, adubação, calagem, inclusão de adubo verde. Em relação aos sistemas agrícolas, o CENTURY estimou um novo steady-state em períodos menores após a mudança de uso no solo, principalmente em ArCC30, período este que aconteceu logo após a época da coleta dos dados experimentais. Uma possível explicação é a sensibilidade do modelo à textura do solo, já que o CENTURY inclui funções que aumentam a estabilização da matéria orgânica com o aumento do teor de argila (CERRI et al., 2004), e a área de Argissolo (ArCC30) é a que possui maior teor de argila.

Um fator associado às perdas de COS estar relacionado à simulação dos diferentes manejos. A mudança de uso no solo, práticas de manejos culturais, manejo de irrigação e outros fatores agronômicos são imprescindíveis em simulações computacionais. Perdas de COS em simulações com o CENTURY foram descritas por diversos autores (TORNQUIST et al., 2009; BORTOLON et al., 2011), com redução do carbono do solo em torno de 30% em períodos de cultivo agrícola. De acordo com os autores, diferentes manejos podem ser adotados, evitando a perda de COS, priorizando o menor distúrbio do solo.

Outro aspecto que merece destaque, trata da diferença entre o dado observado no sistema ArCC30, o qual mostra que houve um aumento do estoque de COS nos 30 anos de uso do solo, e o simulado, que aponta para uma perda total de 24% do carbono. Esta avaliação é que tal divergência se deve mais a uma situação específica da área de estudo, do que da capacidade de simulação do modelo, visto que, a maioria dos estudos disponíveis (FRAGA e SALCEDO, 2004; NUNES et al., 2006; MAIA et al., 2007; FRACETTO et al., 2012; BARROS et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015; GONZAGA, 2017), demonstra que o sistema convencional de cultivo no semiárido brasileiro leva a perdas significativas de COS. Portanto, o aumento do SOC no ArCC30 deve-se provavelmente aos seguintes aspectos: i) maior conteúdo de argila nesta área, pois é amplamente conhecida o papel das argilas na formação de complexos organominerais os quais são essenciais para proteção física e química da MOS (VON LÜTZOW et al., 2006; CAVALCANTE et al., 2016), ii) aporte de resíduos de culturas agrícolas, especialmente feijão, que por ser uma leguminosa pode fornecer mais nitrogênio ao solo, contribuindo positivamente para a manutenção do COS e conseqüentemente da estrutura do solo (BOWLES et al., 2014; KONTOPOULOU et al., 2015), iii) os períodos de pousio que podem ter contribuído com a regeneração de parte da vegetação nativa, incluindo o crescimento do estrato herbáceo, gerando a produção e aporte de resíduos orgânicos ao solo, e iv) o maior índice pluviométrico desta região, com média histórica de aproximadamente 1000 mm. Essa média é decorrente por esta área estar próxima à região de serra, com maiores índices pluviométricos comparados às áreas de Delmiro Gouveia e Pariconha, bem como apresentar um índice pluviométrico maior que as

médias do semiárido (aproximadamente 600 mm). Assim, faz-se necessário desenvolver os ajustes necessários no modelo CENTURY, para que o mesmo possa refletir de forma mais adequada situações como esta.

Em relação à performance do modelo com os parâmetros ajustados para condições de clima e solos do semiárido de Alagoas, o CENTURY apresentou coeficientes estatísticos satisfatórios (Tabela 8; Figura 7). Já em relação ao CD, o resultado mostra que em geral, 80 % dos dados observados são explicados pelo modelo, indicando um bom ajuste do modelo em relação aos parâmetros iniciais. Esse comportamento é confirmado com o valor do coeficiente de correlação, com 81% dos dados simulados representando os mensurados. Quando comparado com o resultado sem os ajustes (Tabela 3), a eficiência do modelo (EF) passa de -0.77 (Tabela 6) para 0.57 (Tabela 8), indicando que valores simulados descrevem melhor o valor da média das medições. Através da regressão linear há a comprovação da eficiência do modelo na comparação entre dados simulados e observados, com uma superestimativa dos dados simulados em relação aos observados de apenas 2.6% (Figura 7).

Tabela 8. Parâmetros estatísticos na avaliação do modelo CENTURY com os dados observados quando simulados com ajuste para as áreas de estudo.

<b>Testes estatísticos</b>	
r = coeficiente de correlação de Pearson	0,81
CD = coeficiente de determinação	0,80
EF = eficiência da modelagem	0,57
RMSE = raiz quadrada do erro médio	12,17
E = erro relativo	-1,11
t	3,45
t (critical 95%)	2,44

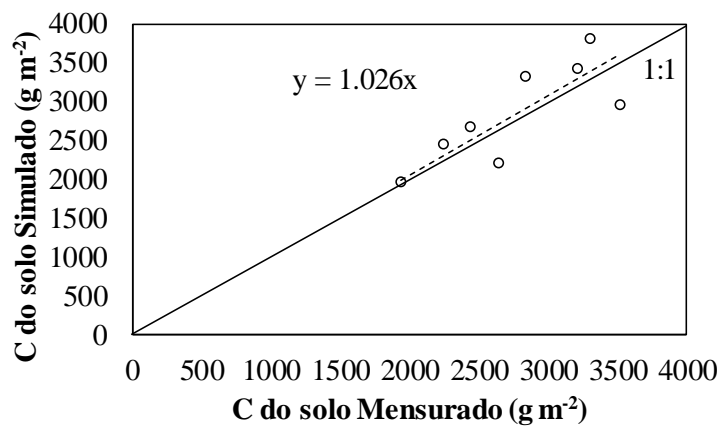


Figura 7. Regressão linear dos dados simulados pelo CENTURY quando simulados com o ajuste para as áreas de estudo.

A eficiência de modelos é avaliada por diversos autores (SMITH et al., 1997; BORTOLON et al., 2011; YANG et al., 2014; ALTHOFF et al., 2018). Relacionado ao CENTURY, essa eficácia é descrita por Smith et al. (1997), que mostram a acurácia do CENTURY quando comparado a outros modelos na determinação do COS. O erro relativo (E) apresentado no estudo (Tabelas 6 e 8) apresentaram-se dentro dos limites descrito pelos autores.

#### 4. CONCLUSÕES

Os ajustes feitos por Althoff et al. (2018) para a vegetação nativa (Caatinga) se mostraram adequados para simular outras áreas de vegetação nativa no semiárido do Brasil, e também áreas agrícolas com menor tempo de cultivo, mas não para áreas com maior tempo de uso do solo (> 30 anos).

Os resultados indicam que o CENTURY precisa de ajustes para avaliar sistemas com maior tempo de uso. Os ajustes foram realizados basicamente nas taxas de decomposição e na taxa de transferência do carbono lento para o passivo, sugerindo que com o tempo, o uso do solo no semiárido brasileiro leva a diminuição das taxas de decomposição da matéria orgânica do solo. Após os ajustes, o modelo CENTURY simulou satisfatoriamente a dinâmica presente (até 2014) do COS na conversão de vegetação nativa para sistemas agrícolas e pastagem.

Os resultados mostraram perdas de carbono em todos os sistemas que variaram entre 2,5 e 35,4%. Já a simulação futura (até 2100), indica que os estoques de COS devem continuar diminuindo e atingir perdas totais entre 24 e 42,2% nos sistemas agrícolas, e 52,7% na área sob pastagem. Evidenciou-se ainda, que os sistemas agrícolas devem alcançar um no steady-state do COS entre 30 e 41 anos após a conversão, enquanto que no uso com pastagem sem adoção

de práticas de renovação ou recuperação, um novo steady-state só é atingido após, aproximadamente 99 anos.

Portanto, nossos resultados demonstram que o modelo CENTURY pode ser usado com confiabilidade para avaliar a dinâmica de carbono do solo em diferentes regiões do semiárido do Brasil, incluindo a estabilização em áreas de vegetação nativa, bem como o impacto da conversão em sistemas agrícolas e pastagem, e com os ajustes necessários pode representar uma importante ferramenta de avaliação de diferentes cenários de manejo do solo, que permitam concomitantemente testar práticas que permitam promover o sequestro de carbono e a melhoria da qualidade dos solos do semiárido brasileiro.

## REFERÊNCIAS

ACAR, M., CELIK, I., GÜNAL, H. Effects of long-term tillage systems on aggregate-associated organic carbon in the eastern Mediterranean region of Turkey. **Eurasian J. Soil Sci.** v.7(1), p.51-58, 2018.

ALTHOFF, T.D., MENEZES, R.S.C., CARVALHO, A.L., PINTO, A.S., SANTIAGO, G.A.C.F., OMETTO, J.P.H. B., VON RANDOW, C., SAMPAIO, E.V.S.B. Climate change impacts on the sustainability of firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresina municipality, Northeast Brazil. **For. Ecology and Management.** v.360, p.367-375, 2016.

\_\_\_\_\_; MENEZES, R.S.C., PINTO, A.S., PAREYN, F.G.C., CARVALHO, A.L., MARTINS, J.C.R., CARVALHO, E.X., SILVA, A.S.A., DUTRA, E.D., SAMPAIO, E.V.S B. Adaptation of the CENTURY model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. **Agriculture, Ecosystems and Environment.** v.254, p.26-24, 2018.

ALVARO-FUENTES, J., LOPEZ, M.V., ARRUE, J.L., MORET, D., PAUSTIAN, K. Tillage and cropping effects on soil organic carbon in Mediterranean semiarid agroecosystems: Testing the CENTURY model. **Agriculture, Ecosystems and Environment.** v.134, p.211-217, 2009.

BARROS, J.D.S., CHAVES, L.H.G., PEREIRA, W.E. Carbon and nitrogen stocks under different management systems in the Paraíba "Sertão". **African Journal of Agricultural Research.** v.10(3), p.130-136, 2015.

BORTOLON, E.S.O., MIELNIZUK, J., TORNQUIST, C.G., LOPES, F., BERGAMASCHI, H. Validation of the CENTURY model to estimate the impact of agriculture on soil organic carbon in Southern Brazil. **Geoderma**. v.167-168, p.156-166, 2011.

\_\_\_\_\_; MIELNICZUK, J., TORNQUIST, C.G., LOPES, F., GIASSON, E., BERGAMASCHI, H. Potencial de uso do modelo CENTURY e SIG para avaliar o impacto da agricultura sobre os estoques regionais de carbono orgânico do solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**. v.36, p.831-849, 2012.

BOWLES, T.M., ACOSTA-MARTÍNEZ, V., CALDERÓN, F., JACKSON, L.E. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. **Soil Biol. Biochem.** v.68, p.252–262, 2014.

BRANDANI, C.B., ABBRUZZINI, T.F., WILLIAMS, S., EASTER, M., CERRI, C.E.P., PAUSTIAN, K. Simulation of management and soil interactions impacting SOC dynamics in sugarcane using the CENTURY model. **GCB Bioenergy**. gcb.12175, 2014.

BUSTAMANTE, M.C, ROITMAN, I., AIDE, M., ALENCAR, A., ANDERSON, L.O., ARAGÃO, L., ASNER, G.P., BARLOW, J., BERENGUER, E., CHAMBERS, J., COSTA, M.H., FANIN, T., FERREIRA, L.G., FERREIRA, J., KELLER, M., MAGNUSSON, W.E., MORALE-BARQUERO, L., MORTON, D., OMETTO, J.P.H.B., PALACE, M., PERES, C., SILVÉRIO, D., TRUMBORE, S., VIEIRA, I.C.G. Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. **Global Change Biology**, v.22(1), p.92-109, 2015.

CAVALCANTI, E.P., SILVA, V.P.R., SOUZA, F.A.S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Rev. Bras. Eng. Agr. e Ambiental**. v.10, p.140-147, 2006.

CERRI, C.E.P., PAUSTIAN, K., BERNOUX, M., VICTORIA, R.L., MELILLO, J.M., CERRI, C.C. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the CENTURY model. **Global Change Biology**. v.10, p.815-832, 2004.

CONCEIÇÃO, M.C.G., MATOS, E.S., BIDONE, E.D., RODRIGUES, R.A.R., CORDEIRO, R.C. Changes in soil carbon stocks under integrated crop-livestock-forest system in the Brazilian Amazon region. **Agricultural Sciences**. v.8, p.904-913, 2017.

CONRAD, K., DALAL, R.C., FUJINUMA, R., MENZIES, N.W. Soil organic carbon and nitrogen sequestration and turnover in aggregates under subtropical leucaena–grass pastures. **Soil Research**. v.56, p.632–647, 2018.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS, 1997.

FERREIRA, A.C.C.F., LEITE, L.F.C., ARAÚJO, A.S.F., EISENHAEUER, N. Land-use type effects on soil organic carbon and microbial properties in a semiarid region of northeast Brazil. **Land Degrad. Develop.** v.27(2), p.171-178, 2014.

FERREIRA, E.A.B., BUSTAMANTE, M.M.C., RESCK, D.V.S., FIGUEIREDO, C.C., PINTO, A.S., MALAQUIAS, J.V. Carbon Stocks in compartments of soil organic matter 31 years after substitution of native cerrado vegetation by agroecosystems. **Rev. Bras. Ci. Solo.** V40:e0150059, 2016.

FRACETTO, F.J.C., FRACETTO, G.G.M., CERRI, C.C., FEIGL, C.J., SIQUEIRA NETO, M. Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na caatinga. **Rev. Bras. Ci. Solo.** v.36, p.1545-1552, 2012.

GOIS, G., SOUZA, J.L., SILVA, P.R.T., OLIVEIRA JR, J.F. Caracterização da desertificação no estado de Alagoas utilizando variáveis climáticas. **Rev. Bras. de Meteorologia.** v.20(3), p.301-314, 2005.

GONZAGA, G.B.M. **Dinâmica da matéria orgânica do solo, estoques de carbono e susceptibilidade ao aumento da temperatura no semiárido de Alagoas**. Tese (Doutorado em agronomia: produção vegetal), 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **The physical science basis: Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge, Cambridge University Press, 2006.

KONTOPOULOU, C.K., BILALIS, D., PAPPAS, V.A., REES, R.M., DIMITRIOS, S. Effects of organic farming practices and salinity on yield and greenhouse gas emissions from a common bean crop. **Scientia Horticulturae.** v.183, p.48-57, 2015.

LAI, L., KUMAR, S., CHINTALA, R., OWENS, V., CLAY, D., SCHUMACHER, J., NIZAMI, A.S., LEE, S.S., RAFIQUE, R. Modeling the impacts of temperature and precipitation changes on soil CO<sub>2</sub> fluxes from a Switchgrass stand recently converted from cropland. **Journal of Environmental Sciences.** v.43, p.15-25, 2016.

LEITE, L.F.C., MENDONÇA, E.S., MACHADO, P.L.O.A., FERNANDES FILHO, E.I., NEVES, J.C.L. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plow systems using the CENTURY model. **Geoderma,** v.120, p.283-295, 2004.

LIEBIG, M.A., HENDRICKSON, J.R., FRANCO, J.G., ARCHER, D.W., NICHOLS, K., TANAKA, D.L. Near-Surface Soil Property Responses to Forage Production in a Semiarid Region. **Soil Science Society of America Journal**, v.82(1), p.223-230, 2018.

MAIA, S.M.F. **Compartimentos da matéria orgânica e perdas de solo e água em sistemas agroflorestais e convencional no trópico semiárido cearense**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), 2004.

\_\_\_\_\_, XAVIER, F.A.S., OLIVEIRA, T.S., MENDONÇA, E.S., ARAÚJO FILHO, J.A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. **R. Árvore**. v.30(5), p.837-848, 2006.

\_\_\_\_\_, XAVIER, F.A.S., OLIVEIRA, T.S., MENDONÇA, E.S., ARAÚJO FILHO, J.A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semiarid region of Ceará, Brazil. **Agroforest Syst.** v.71, p.127-138, 2007.

\_\_\_\_\_, CARVALHO, J.L.N., CERRI, C.E.P., LAL, R., BERNOUX, M., GALDOS, M.V., CERRI, C.C. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. **Soil & Tillage Research**. v.133, p.75-84, 2013.

MARTINS, J.C.R. **Adaptação do modelo CENTURY para simulação da dinâmica do carbono em cultivo de braquiária ou milho no nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado em ciências: Fontes renováveis de energia), 2015.

MENEZES, R.S.C., SAMPAIO, E.V.S.B., GIONGO, V., PÉREZ-MARIN, A.M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Braz. J. Biol.** v.72, p.643-653, 2012.

NUNES, L.A.P.L., ARAUJO FILHO, J.A., MENEZES, R.I.Q. Impacto de queima e do pousio sobre a qualidade de um solo sob Caatinga no semiárido nordestino. **Caatinga**. v.19(2), p.200-208, 2006.

OGLE, S.M., BREIDT, F.J., PAUSTIAN, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. **Biogeochemistry**. v.72, p.87-121, 2005.

OUYANG, W., SHAN, Y., HAO, F., LIN, C. Differences in soil organic carbon dynamics in paddy fields and drylands in northeast China using the CENTURY model. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.194, p.38-47, 2014.



PARTON, W.J., SCURLOCK, J.M.O., OJIMA, D.S. et al. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. **Global Biogeochemical Cycles**. v.7, p.785-809, 1993.

SACRAMENTO, J.A.A.S., ARAUJO, A.C.M., ESCOBAR, M.E.O., XAVIER, F.A.S., CAVALCANTE, A.C., OLIVEIRA, T.S. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **R. Bras. Ci. Solo**. v.37, p.784-795, 2013.

SARKER, J.R., SINGH, B.P., WARWICK J. DOUGHERTY, W.J., FANG, Y., BADGERY, W., HOYLE, F.C., DALAL, R.C., COWIE, A.L. Impact of agricultural management practices on the nutrient supply potential of soil organic matter under long-term farming systems. **Soil & Tillage Research**. v.175, p.71-81, 2018.

SANT-ANNA, S.A.C., JANTALIA, C.P., VILELA, J.M.S.L., MARCHÃO, R.L., ALVES, B.J.R., URQUIAGA, S., BODDEY, R.M. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. **Nutr Cycl Agroecosyst**. v.180(1), p.101-120, 2016.

SILVA-OLAYA, A.M., CERRI, C.E.P., WILLIAMS, S., CERRI, C.C., DAVIES, C.A., PAUSTIAN, K. Modelling SOC response to land use change and management practices in sugarcane cultivation in South-Central Brazil. **Plant Soil**. v.410, p.483-498, 2017.

SMITH, P., SMITH, J.U., POWLSON, D.S., MCGILL, W.B., ARAH, J.R.M., CHERTOV, O.G., COLEMAN, K., FRANKO, U., FROLKING, S., JENKINSON, D.S., JENSEN, L.S., KELLY, R.H., KLEIN-GUNNEWIEK, A.P.A. Comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. **Geoderma**. v.81, p.153-225, 1997.

SOUSA, F.P., FERREIRA, T.O., MENDONÇA, E.S, ROMERO, R.E, OLIVEIRA, J.G.B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. Agriculture, **Ecosystems & Environ**. v.148, p.11–21, 2012.

TORNQUIST, C.G., MIELNICZUK, J., CERRI, C.E.P. Modeling soil organic carbon dynamics in Oxisols of Imburá (Brazil) with the CENTURY model. **Soil & Tillage Res**. v.105, p.33-43, 2009.

VILELA, E.F., MENDONÇA, E.S. Impacto de sistemas agroflorestais sobre a matéria orgânica do solo: modelagem de carbono e nitrogênio. **Coffe Science**. Lavras. v.8 (3), p.354-363, 2013.

VON LÜTZOW, M.V., KÖGEL-KNABNER, I., EKSCHEMITT, K., MATZNER, E., GUGGENBERGER, G., MARSCHNER, B., FLESSA, H. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review. **European Journal of Soil Science**. v.57(4), p.426-445, 2006.

WEBER, M.A., MIELNICZUK, J., TORNQUIST, C. G. Changes in soil organic carbon and nitrogen stocks in long-term experiments in Southern Brazil simulatede with CENTURY 4.5. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, 40:e0151115, 2016.

XAVIER, F.A.S., MAIA, S.M.F., OLIVEIRA, T.S., SÁ MENDONÇA, E. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na chapada da Ibaipaba – CE. **R. Bras. Ci. Solo**. v.30, p.247-258, 2006.

XU, W., CHEN, X., LUO, G., LIN, Q. Using the CENTURY model to assess the impact of land reclamation and management practices in oasis agriculture on the dynamics of soil organic carbon in the arid region of North-western China. **Ecological Complexity**. v.8, p.30-37, 2011.

YANG, J.M., YANG, J.Y, LIU, S., HOOGENBOOM, G. An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. **Agricultural Systems**. 127, 81-89, 2014.

## **CAPÍTULO 2: IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DA IRRIGAÇÃO NOS ESTOQUES DE CARBONO EM DIFERENTES TIPOS DE SOLO NO SEMIÁRIDO DE ALAGOAS, NORDESTE DO BRASIL**

### **Resumo**

O conhecimento da dinâmica do carbono orgânico do solo (COS) é de fundamental importância no correto uso e manejo do solo, seja para estudos que foquem na dinâmica atual do COS ou estudos com cenários futuros, os quais podem contemplar sistemas de manejo e ou mudanças climáticas. O presente estudo objetivou utilizar o modelo CENTURY 4.5 na simulação da dinâmica do COS em áreas do semiárido de Alagoas sob diferentes cenários de mudança do clima em agricultura de sequeiro e irrigada. O estudo foi realizado com uma base de dados de três diferentes tipos de solos (Neossolo Quartzarênico, Argissolo e Neossolo Regolítico), localizados em Alagoas. Como dados de entrada para o modelo, foram utilizados: densidade do solo, pH, granulometria, temperaturas máximas e mínimas e precipitação pluviométrica. Em específico, no CENTURY 4.5, foram utilizados dados de entrada de temperaturas máximas e mínimas e precipitação pluviométrica nos diferentes cenários climáticos, proveniente dos modelos Eta-HadGem, Eta-MIROC5 e dados médios entre os dois modelos, utilizando duas forçantes radiativas (RCP4.5 e RCP8.5). Foi ainda considerado um aumento na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico de 379 ppm para 538 ppm (RCP4.5) e 379 ppm para 936 ppm (RCP8.5) até o ano de 2099. O manejo de irrigação foi dividido em duas partes: a primeira, simulando diferentes níveis de irrigação em um cenário de base (simulação presente) com o objetivo de identificar o nível ótimo de irrigação; a segunda, utilizando o nível ótimo de irrigação nos cenários de mudanças climáticas. Foram realizadas simulações do período futuro (2015-2099) para os seguintes cenários: i) agricultura de sequeiro sem considerar as mudanças climáticas; ii) agricultura de sequeiro, mas submetido as condições de mudanças do clima (temperatura, precipitação, e aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico); iii) agricultura irrigada levando em consideração os fatores de mudança do clima. Como dados de saída do CENTURY 4.5, foram avaliados o carbono orgânico do solo (COS) e o carbono da biomassa acima do solo. Observou-se que o modelo CENTURY 4.5 foi eficiente na simulação do SOMSC, tanto nas simulações de diferentes níveis de irrigação, como nos cenários futuros. Em relação ao comparativo entre manejo de sequeiro e irrigado, a adição de água foi capaz de elevar uma quantidade de COS, mas não suficiente para superar a vegetação nativa.

**Palavras-chave:** forçante radiativa; carbono orgânico do solo; impactos climáticos; modelagem; agricultura convencional.

### **Abstract**

The knowledge of soil organic carbon (SOC) behavior is of fundamental importance in the correct use and soil management, especially in studies that focus on the SOC dynamics, either in the current period or for future scenarios, which may include systems management or climate change. The present study aimed to use the CENTURY 4.5 model in the simulation of SOC dynamics in areas of the Alagoas semiarid under different climate change scenarios (with increasing temperature and atmospheric CO<sub>2</sub> concentration) in rainfed agriculture and irrigation. The study was carried out with a database of three different types of soils (Entisols Quartzipsamments, Entisols Psamments and Ultisols), located in Alagoas. As general input data for the model, soil density, pH, grain size, maximum and minimum temperatures and rainfall were used. In CENTURY 4.5, maximum and minimum temperature and rainfall data were used in the different climatic scenarios, using the Eta-HadGem, Eta-MIROC5 models and mean data between the two models, using two radiative forcings (RCP4.5 and RCP8.5). An increase in atmospheric CO<sub>2</sub> concentration from 379 ppm to 538 ppm (RCP4.5) and 379 ppm to 936 ppm (RCP8.5) by the year 2099 was also considered. Irrigation management was divided into two parts: the first, simulating different levels of irrigation in a baseline scenario (present simulation) with the objective of identifying the optimal level of irrigation; the second, using the optimal level of irrigation in the scenarios of climate change. Simulations of the future period (2015-2099) were carried out for the following scenarios: i) rainfed agriculture without considering climate change; ii) rainfed agriculture, but subjected to conditions of climate change (temperature, precipitation, and increase of atmospheric CO<sub>2</sub>); iii) irrigated agriculture taking into account the factors of climate change. As output data from CENTURY 4.5, the soil organic carbon (SOC) and the biomass carbon above the soil were evaluated. He observed that the CENTURY 4.5 model was efficient in the simulation of the SOMSC, both in simulations of different levels of irrigation, and in future scenarios. In relation to the comparison between irrigated and dryland management, the addition of water was able to raise an amount of SOC, but not enough to overcome native vegetation.

**Keywords:** radiative forcing; soil organic carbon; climate impacts; modeling; conventional agriculture.

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento dos fluxos de carbono no solo (COS) é de fundamental importância no ambiente agrícola. A dinâmica do C do solo em diferentes cenários, incluindo mudanças climáticas, é um potencial indicador da condição dos cultivos agrícolas, bem como pode ser uma ferramenta importante para subsidiar a escolha ou proposição de sistemas de manejos que propiciem a mitigação das emissões de gases do efeito estufa (SOBOCKÁ et al., 2007). Para isso, há a necessidade do uso de modelos matemáticos que associem o COS com parâmetros climáticos, ambientais e do solo. Dentre vários, o modelo biogeoquímico CENTURY tem se mostrado essencial quando se trata do conhecimento do COS nos mais diversos ambientes (SMITH et al., 1997), ao redor do planeta, tanto nos mais diversos biomas, bem como na transição de vegetação nativa para cultivos agrícolas (CERRI, et al., 2004; BRANDANI, et al., 2014; SILVA-OLAYA et al., 2017).

Se tratando do ambiente semiárido, estudos que envolvam o CENTURY são escassos, restritos apenas a regiões específicas e com poucas informações sobre a transição da vegetação nativa para sistemas de cultivos agrícolas, principalmente no tocante às condições de mudanças climáticas (ALVARO-FUENTES et al., 2009; ALVARO-FUENTES; PAUSTIAN, 2011; ALTHOFF et al., 2016; ALTHOFF et al., 2018). Althoff et al. (2016) foram pioneiros na geração de informações sobre o crescimento da vegetação nativa do semiárido do Brasil, conhecida como Caatinga. Os autores utilizaram diferentes sistemas de corte da vegetação, em sistema de mudanças climáticas. Isso foi de fundamental importância para geração de informações sobre COS utilizando o modelo CENTURY no semiárido brasileiro. Diferente de Althoff et al. (2016), Alvaro-Fuentes e Paustian (2011), observaram o comportamento do COS em sistemas de manejos agrícolas, tanto em sequeiro como irrigado, evidenciando a importância de estudos que envolvam a modelagem do COS em ambientes irrigados.

O semiárido brasileiro é caracterizado por possuir precipitação pluvial média anual inferior a 800 milímetros e índice de aridez até 0,5, totalizando uma área próxima de 1 milhão de km<sup>2</sup> (BRASIL, 2017a; BRASIL, 2017b). Por ser densamente habitada, a agricultura é fator primordial nessa região, principalmente pela agricultura convencional. Porém, um dos fatores preponderantes da menor produção de alimentos é a escassez hídrica, cabendo aos governos locais adotarem medidas que redirecionem água de irrigação para estas regiões (CIRILO, 2008). No estado de Alagoas, Nordeste do Brasil, a implantação de um canal do perímetro irrigado, conhecido como Canal do Sertão, tem modificado a sazonalidade dos manejos agrícolas da região, possibilitando ao agricultor manter cultivos em todo ano, através do uso da irrigação (VIEIRA et al., 2008). Porém, além do conhecimento sobre o manejo de irrigação a ser adotado

pelo produtor rural, há a necessidade de obter informações em relação à adição de carbono ao solo, seja através de práticas de manejo, bem como pelo aumento do aporte de matéria verde ao solo, que pode diferenciar em ambiente irrigado ou em sequeiro, cabendo à modelagem computacional estimar a quantidade de COS (LEITE; MENDONÇA, 2003; SOBOCKÁ et al., 2007; ALTHOFF et al., 2016), nas condições atuais ou em cenários climáticos.

Na simulação de cenários futuros, há a necessidade do conhecimento de modelos que estimem a climatologia em diversos locais do planeta. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), se diversas sanções não forem impostas na conservação do meio ambiente, o planeta Terra poderá ter um acréscimo em até 5,0 °C na temperatura média até 2099 (IPCC, 2013). Porém, estas simulações são descritas através de modelos globais, havendo a necessidade de ajustes regionais por meio dos modelos climáticos regionais (RCMs), que desempenham papel fundamental nas simulações climáticas em escalas geográficas menores (estados e cidades, por exemplo). De acordo com o 5º relatório do IPCC (AR5), os cenários seguem o critério das forçantes radiativas (RCPs – Representativos de concentração, ou *Representative Concentration Pathway*), variando de um cenário otimista (RCP 2.6) ao mais pessimista (RCP 8.5) (IPCC, 2013; CHOU et al., 2014). O aumento da temperatura e diminuição da precipitação pluvial descritas nos modelos globais ou regionais ocasionam em mudanças na agricultura, principalmente no aporte de C ao solo. Estudos mostram que simulações com cenários climáticos podem reduzir em até 20% a produtividade de cana-de-açúcar quando simulados com o Century (CARVALHO et al., 2015) e na redução de aproximadamente 40% da vegetação nativa do semiárido brasileiro (Caatinga) (ALTHOFF et al., 2016). Porém, não há informações sobre cenários climáticos futuros em sistemas agrícolas na região semiárida do Brasil, principalmente no que se refere à dinâmica do COS. Com isso, o presente estudo objetivou utilizar o modelo Century 4.5 na simulação da dinâmica do COS em áreas do semiárido alagoano sob diferentes cenários de mudanças do clima (com aumento de temperatura e concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico) em agricultura de sequeiro e irrigada.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Região de estudo, sistemas de manejo e tipos de solo**

O estoque de carbono do solo em diferentes cenários futuros foi simulado em três municípios localizados na região semiárida do estado de Alagoas (Figura 1). As condições climáticas variam de acordo com as áreas de estudo e tipos de solo, sendo apresentadas na Figura 2.

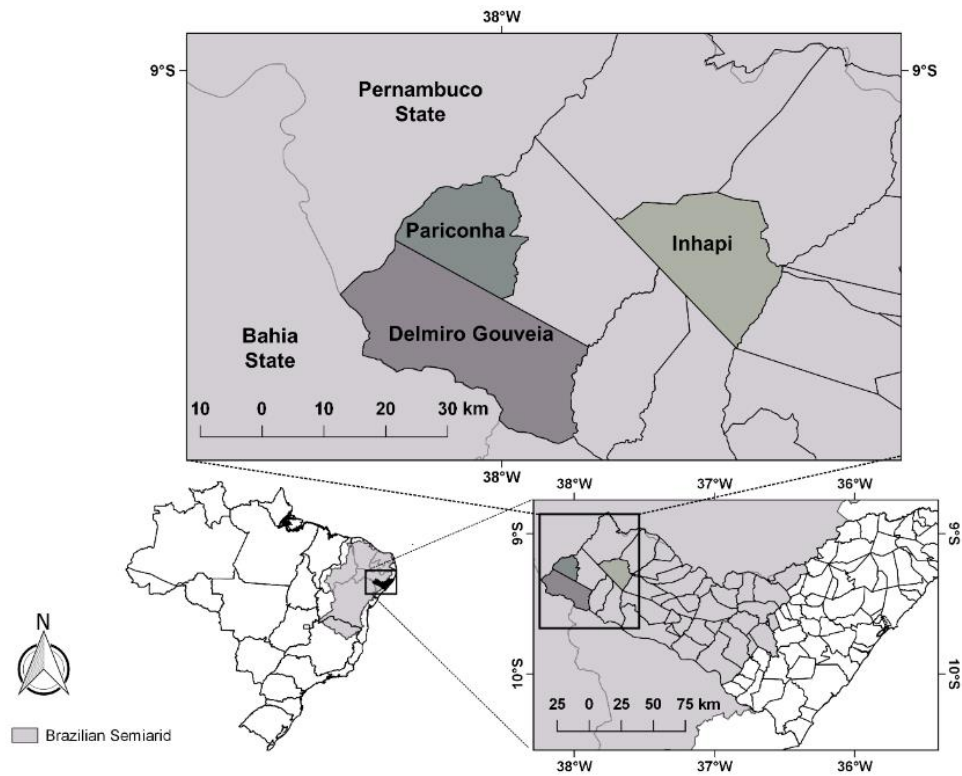


Figura 1. Localização das áreas de estudo no estado de Alagoas, Brasil.

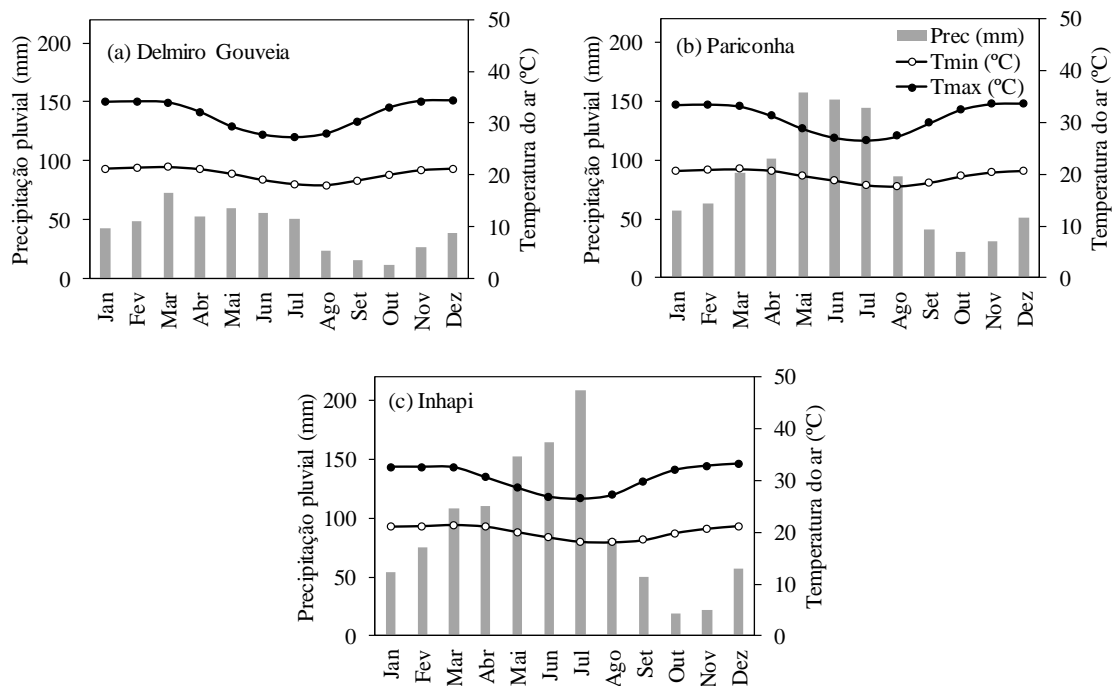


Figura 2. Condições climáticas das diferentes áreas de estudo.

Todas as áreas de estudo são áreas produtivas e não experimentais, que alternam os cultivos sem seguir uma sequência lógica (Tabela 1). Os resíduos das culturas são geralmente disponibilizados para o pastoreio de animais, e são consumidos quase na sua totalidade. O manejo do solo é baseado na lavoura convencional com aração por tração animal. Sistemas convencionais de cultivo no semiárido brasileiro são também caracterizados por ciclos de 4 a 5 anos consecutivos de cultivo seguidos por períodos de 2 a 3 anos de pousio, quando são novamente utilizados para a agricultura. Para este estudo adotou-se 4 anos de cultivo e 3 de pousio. As culturas utilizadas no estudo foram: milho, feijão e pastagem. A área de pastagem é dominada por capim-pangola (*Digitaria Umfolozi*) e estava no momento da amostragem do solo por 10 anos sem sofrer nenhum tipo de revolvimento do solo, mas anteriormente, esta área foi cultivada por 20 anos com milho e feijão, em diferentes períodos, sob as mesmas práticas (preparo do solo, pastejo de resíduos culturais e período de pousio) adotadas nas demais áreas agrícolas.

Em cada município foi selecionada uma fazenda que tivesse áreas com cultivo convencional próximas a área de vegetação nativa para representar a condição original do solo. Com finalidade de selecionar essas áreas, foi levado em consideração o conhecimento sobre as práticas de uso e manejo da terra adotadas na fazenda desde a conversão da vegetação nativa, e a área de plantio a 0,2 km de vegetação nativa com paisagem, com tipo de solo e textura semelhantes, totalizando 8 áreas avaliadas. Em cada uma das oito áreas, amostras de solo foram coletadas de cinco trincheiras (50 cm x 50 cm x 50 cm de profundidade) nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade. Em laboratório, as amostras foram secas ao ar e peneiradas com malha de 2 mm para remover pedras e fragmentos de raízes antes da análise. As subamostras foram masseradas e passadas em peneiras de 100 mesh (0,149 mm) para determinação do carbono total.

O carbono orgânico total do solo (COS) foi medido por combustão a seco usando um analisador elementar orgânico (Thermo Scientific-Flash 2000). A densidade do solo (BD) foi medida em cada camada amostrada usando um anel de aço volumétrico (100 cm<sup>3</sup>). Para cada camada de solo, o estoque SOC foi calculado multiplicando a concentração de C (g g<sup>-1</sup>) por BD (g cm<sup>-3</sup>) e espessura de camada (cm). O pH e granulometria foram determinados de acordo com EMBRAPA (1997). As propriedades físico-químicas do solo são descritas na Tabela 2.



Tabela 1. Tipos de solo, descrição dos sistemas de uso e coordenadas geográficas dos locais de estudo

<b>Sistemas de uso</b>	<b>Região</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>	<b>Tipo de solo</b>
Vegetação nativa (Caatinga) – NqNV	Delmiro Gouveia	09°29'004" S; 37°56'24,3" W 255 m de elevação	Neossolo Quartzarênico (Nq)
Lavoura com quatro anos de cultivo com feijão e milho – NqCC4			
Lavoura com 15 anos de cultivo com milho e feijão – NqCC15	Inhapi	09°12'13,20 " S; 37°44'11,44' 'W 320 m de elevação	Argissolo Vermelho Amarelo (Ar)
Vegetação Nativa (Caatinga) – ArNV			
Lavoura com 30 anos de cultivo de milho e feijão – ArCC30	Pariconha	09°17'04,7" S, 38°02'43,4" W 421 m de elevação	Neossolo Regolítico (Nr)
Vegetação Nativa (Caatinga) – NrNV			
Lavoura com quatro anos de cultivo de milho e feijão – NrCC4	Pariconha	09°17'04,7" S, 38°02'43,4" W 421 m de elevação	Neossolo Regolítico (Nr)
Lavoura com 30 anos de cultivo de milho e feijão e pastagem nos últimos dez anos – NrPa10			

Tabela 2. Granulometria, densidade do solo (BD) e pH (0 a 20 cm de profundidade) em vegetação nativa e áreas agrícolas no estado de Alagoas, Brasil.

	Textura (%)			BD (g cm <sup>-3</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )
	Areia	Silte	Argila		
	0-20 cm				
NqNV	88,8 ± 1,8	2,7±2,8	8,5±1,0	1,4±0,02	4,4±0,06
NqCC15	86,5 ± 2,3	5,0±6,9	8,4±4,6	1,5±0,01	5,0±0,14
NqCC4	88,6±4,0	4,6±1,6	6,8±2,4	1,4±0,00	4,7±0,30
NrNV	88,5±1,2	7,2±2,4	4,3±1,3	1,5±0,01	5,1±0,08
NrPa10	85,3±2,4	11,6±1,7	3,0±0,6	1,6±0,02	5,9±0,10
NrCC4	77,8±3,7	14,7±3,0	7,5±0,7	1,5±0,02	5,4±0,04
ArNV	64,3±3,5	15,9±2,4	19,8±5,8	1,5±0,00	5,4±0,21
ArCC30	58,3±6,3	19,9±4,8	21,8±1,6	1,5±0,01	5,9±0,06

## 2.2 Cenários climáticos

### 2.2.1 Modelos climáticos

Os dois modelos globais adotados foram o HadGem e o MIROC5. O modelo HadGem é um modelo climático global desenvolvido pelo Centro Hadley (COLLINS et al., 2011), possuindo uma resolução de 1,875 graus de longitude e 1,275 graus de latitude, com representação da vegetação e representação do ciclo do carbono. Já o MIROC5 é um modelo japonês de resolução 150 km na horizontal e 40 níveis na vertical, que compõe vários componentes climáticos e ambientais na sua composição (WATANABE et al., 2010). Estes modelos globais foram adaptados em um modelo regional (definido como Eta, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE) e executados para operar na América do Sul, com o modelo atualizando a concentração do carbono atmosférico a cada 3 anos (CHOU et al., 2014).

Já os cenários adotados no estudo obedecem às forçantes radiativas antropogênicas totais no final do século XXI, sendo equivalentes a diferentes níveis de concentração dos gases do efeito estufa, conhecidos como *Representative Concentration Pathways* (RCPs). Neste trabalho, foram considerados os cenários RCP 8.5 e RCP 4.5 que correspondem a forçantes radiativas de 8,5 Wm<sup>-2</sup> e 4,5 Wm<sup>-2</sup>, respectivamente. (IPCC, 2013; CHOU et al., 2014).

Para avaliar os efeitos das mudanças climáticas na dinâmica do COS, sete cenários foram simulados durante o período de cultivo até o ano 2100. Esses cenários climáticos consistiram de: i) cenário base (referência) o qual adotou dados médios de precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas das áreas de estudo; ii) utilização dos dados de temperatura e precipitação do modelo Eta-HadGEM, para forçantes radiativas de 4.5 W m<sup>-2</sup> e 8.5 W m<sup>-2</sup>, RCP4.5 e RCP8.5, respectivamente; iii) uso do modelo Eta-MIROC5 também para os RCPs

4.5 e 8.5; e iv) foi utilizado ainda a média dos dados de temperatura e precipitação dos dois modelos (Eta-HadGEM e Eta-MIROC) (Tabela 3).

Tabela 3. Médias da precipitação total anual, máxima e mínima temperatura do ar dos diferentes cenários climáticos até o ano de 2100.

	Precipitação (mm ano <sup>-1</sup> )	Tmax (°C)	Tmin (°C)
Delmiro Gouveia			
Baseline <sup>1</sup>	517,65	31,88	20,22
RCP4.5HD <sup>2</sup>	572,12	33,55	21,48
RCP4.5MRC <sup>3</sup>	550,88	32,74	21,15
RCP4.5MEAN <sup>4</sup>	561,50	33,14	21,50
RCP8.5HD <sup>5</sup>	442,18	34,87	21,84
RCP8.5MRC <sup>6</sup>	481,51	33,42	21,54
RCP8.5MEAN <sup>7</sup>	462,34	34,15	22,07
Pariconha			
Baseline	1021,27	31,61	19,82
RCP4.5HD	509,54	33,53	21,84
RCP4.5MRC	994,79	32,74	21,18
RCP4.5MEAN	752,16	33,13	21,51
RCP8.5HD	371,72	34,89	22,63
RCP8.5MRC	875,54	33,44	21,61
RCP8.5MEAN	623,63	34,16	22,12
Inhapi			
Baseline	1102,60	31,61	19,82
RCP4.5HD	1118,34	33,52	21,84
RCP4.5MRC	1066,21	32,72	21,77
RCP4.5MEAN	1092,27	33,12	21,51
RCP8.5HD	1099,02	34,85	22,65
RCP8.5MRC	949,18	33,41	21,61
RCP8.5MEAN	1024,10	34,13	22,14

<sup>1</sup>Valores históricos, extrapolados até o ano de 2100; <sup>2</sup>forçante radiativa de 4.5 W m<sup>-2</sup> no modelo Eta-HadGEM; <sup>3</sup>forçante radiativa 4.5 W m<sup>-2</sup> no modelo Eta-MIROC5; <sup>4</sup>forçante radiativa de 4.5 W m<sup>-2</sup> com dados médios; <sup>5</sup>forçante radiativa de 8.5 W m<sup>-2</sup> no modelo Eta-HadGEM;

<sup>6</sup>forçante radiativa de  $8.5 \text{ W m}^{-2}$  no modelo Eta-MIROC5; <sup>7</sup>forçante radiativa de  $8.5 \text{ W m}^{-2}$  com dados médios.

O trabalho foi realizado de acordo com as seguintes etapas:

- I) definição dos modelos climáticos, utilizando os modelos Eta-HadGem, Eta-MIROC5 e dados médios entre os dois modelos;
- II) correção dos dados climáticos (temperatura e precipitação) para as regiões de estudo;
- III) uso do modelo Century na determinação da lâmina ótima no manejo de irrigação;
- IV) uso do modelo CENTURY na dinâmica do COS em cenários futuros, considerando ambientes em sequeiro (cenário de base) e irrigado.

## 2.2.2 Correções dos erros sistemáticos para os modelos Eta-HadGEM e Eta-MIROC5

### 2.2.2.1 Temperatura do ar

As previsões dos dados obtidos dos modelos possuem erros sistemáticos, principalmente devido a processos físicos relacionados à conversão do modelo global para regional. Para isso, foi necessário ajustar os dados dos diferentes modelos aninhados no Eta com base nos dados observados para verificar a magnitude dos erros sistemáticos.

Para temperatura do ar, a correção do erro (em °C) ocorreu conforme Carvalho et al (2015), subtraindo as médias mensais dos modelos com as médias mensais observadas, como segue:

$$ERRO \text{ SISTEMATICO} = TEMP_{Eta} - TEMP_{OBS} \quad (1)$$

onde:  $TEMP_{Eta}$  corresponde à temperatura (°C) simulada pelos diferentes modelos Eta e  $TEMP_{obs}$  corresponde à temperatura do ar mensurada. O período dos dados mensurados variou de 1960-2005.

Na correção dos dados de temperatura, uma série de dados foi utilizada. Em um primeiro período (1960-1983), os dados de temperatura foram utilizados no cálculo do erro sistemático. Já no segundo período (1984-2005), houve a verificação da correção dos dados corrigidos, em relação aos dados observados de temperatura (CARVALHO et al., 2015).

### 2.2.2.2 Precipitação pluvial

A abordagem utilizada para correção do erro sistemático da temperatura não foi aplicada aos dados de precipitação pluvial. A correção dessa variável foi conduzida através de um fator de multiplicação “c” (HEMPEL et al., 2013), definido como:

$$c = \sum_{i=1}^{m=30} P_i^{OBS} / \sum_{i=1}^{m=30} P_i^{Eta} \quad (2)$$

em que:  $P_i^{OBS}$  são os valores mensais das séries observadas da precipitação pluvial e  $P_i^{Eta}$  correspondem aos valores mensais dos diferentes modelos para o período climático atual. Os períodos anuais para cada área corresponderam aos seguintes anos: i) Delmiro Gouveia: período de 1960-2005 (45 anos); ii) Pariconha: 1960-1985 (25 anos) e; iii) Inhapi: 1961-1991 (30 anos).

O fator de multiplicação foi aplicado na série de dados de precipitação pluvial nos cenários futuros (período de 2014-2100), ajustando os dados modelados com o fator de multiplicação, como segue:

$$\check{P}_{ij}^{Eta} = c \cdot P_{ij}^{Eta} \quad (3)$$

## 2.3 Uso do modelo CENTURY na determinação das lâminas de irrigação nos cenários presente e futuros

Na determinação da quantidade de água a ser aplicada via irrigação para cada área do estudo, foram realizados os procedimentos descritos abaixo:

- I. Manejo do balanço de água do solo, utilizando diferentes lâminas de irrigação simuladas através do modelo CENTURY 4.5. Esta etapa consistiu em determinar uma lâmina de irrigação através de diferentes níveis de irrigação (0; 25; 50; 75; 100; 125 e 150%) da  $ET_c - P$  (Evapotranspiração da cultura menos precipitação pluvial);
- II. Obtenção da função da lâmina ideal: a resposta da lâmina ideal foi obtida utilizando curvas de regressão polinomial quadrática obtidas na comparação entre as diferentes lâminas de irrigação e o carbono da biomassa superior ao solo (AGLIVC) simulado pelo CENTURY, conforme a equação a seguir:

$$Y = a + bx + cx^2 \quad (4)$$

em que Y é a variável dependente; x é a variável independente; a, b e c são os coeficientes de ajuste.

Com o ajuste da função nas diferentes lâminas, foram determinadas as lâminas de irrigação ideais em cada sistema simulado pelo CENTURY 4.5, igualando-se a zero a primeira derivada das funções obtidas, conforme descrito a seguir:

$$Y = b + 2cx \therefore b - 2cx = 0 \therefore x = -b/2c \therefore \text{Lâmina Máxima} = -b/2c \quad (5)$$

III. Utilização das lâminas ótimas em cada um dos cenários climáticos: Após a realização dos passos I e II, com posse das lâminas ideais, foi realizada a aplicação de água via irrigação em todos os cenários climáticos descritos, no período de 2015 a 2099.

A Evapotranspiração da cultura (ETc) foi determinada em função do coeficiente da cultura (Kc) e ETo, como descrito:

$$ETc = ETo \times Kc \quad (6)$$

Os coeficientes das culturas foram obtidos através do Boletim FAO56 (ALLEN et al., 1998), descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Coeficiente das culturas do milho, feijão e pastagem.

	Milho	Feijão	Pastagem
	Kc		
Inicial	0,70	0,40	0,50
Médio	1,15	1,15	0,90
Final	1,05	0,35	0,85

O cálculo da Evapotranspiração potencial (ETo) foi determinada através da equação de Hargreaves, determinada através da temperatura máxima, mínima e média e radiação no topo da atmosfera, como segue:

$$ETo = 0,0023 \times (T_{med} + 17,8) \times (T_{max} - T_{min})^{1/2} \times R_a \times 0,408 \quad (7)$$

em que:

ETo – evapotranspiração potencial de referência, em mm dia<sup>-1</sup>;

T<sub>med</sub> – temperatura média diária, em °C;

$T_{\max}$  – temperatura máxima média diária, em °C;

$T_{\min}$  – temperatura mínima média diária, em °C;

$R_a$  – radiação no topo da atmosfera, em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

#### **2.4 Estoque de carbono, carbono da biomassa acima do solo e manejo de irrigação utilizando o modelo CENTURY**

Para simular o comportamento do estoque de C nas diferentes áreas, foi utilizado o modelo CENTURY, versão 4.5. O modelo representa as frações da matéria orgânica do solo e para que seja utilizado com eficiência, há a necessidade de introduzir dados de entrada, como informações climáticas, do solo e do ambiente de estudo (PARTON et al., 1993). Nesse estudo, os dados de precipitação pluvial foram provenientes de séries históricas (Figura 2) obtidas na base de dados da Agência Nacional das Águas do Brasil (Hidroweb), e para os cenários futuros foram usados os dados dos modelos regionais EtaHadGEM e EtaMIROC5, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (CHOU et al., 2014). Foi ainda utilizado dados médios dos dois modelos na determinação do estoque de C. Já os valores das temperaturas máximas e mínimas foram gerados a partir de Gois et al. (2005) e pelo modelo estimaT (CAVALCANTI et al., 2006) no período histórico, e estimados através dos modelos climáticos Eta HadGem e Eta MIROC5 (CHOU et al., 2014), bem como pela média dos dois modelos.

As simulações com o CENTURY 4.5 foram realizadas em 3 cenários:

- I. Agricultura de sequeiro sem considerar as mudanças climáticas (cenário baseline);
- II. Agricultura de sequeiro, mas submetido as condições de mudanças do clima (temperatura, precipitação, e aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico);
- III. Agricultura irrigada levando em consideração os fatores de mudança do clima.

Após inserção dos dados necessários para simulação do CENTURY, este foi inicializado para estabilização do COS durante um período de 7000 anos nas áreas de vegetação nativa, sendo previamente calibrado e validado para as condições de estudo, simulando então os cenários previamente descritos. As modificações adotadas estão descritas na Tabela 5.

O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico seguiu conforme o proposto por Meinshausen et al. (2011), adotando uma concentração de 379 ppm no início das simulações atingindo 538 ppm no RCP 4.5 e 936 ppm no RCP 8.5. No cenário de base (baseline) não foi considerado aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico. No modelo CENTURY, no arquivo fix.100, foram modificados os parâmetros CO2PPM(1), CO2PPM(2) e CO2RMP, que correspondem ao valor

inicial de CO<sub>2</sub> atmosférico, valor final do CO<sub>2</sub> atmosférico e condição de aumento do CO<sub>2</sub> em relação à taxa de crescimento das plantas, respectivamente.

Foi determinado ainda o carbono da biomassa acima do solo, para critério de comparação da biomassa entre as áreas de cultivo nos diferentes cenários climáticos. Para isso, utilizou-se o parâmetro AGLIVC (carbono da biomassa acima do solo, em g m<sup>-2</sup>) como dado de saída do modelo. Para o manejo de irrigação, dentro do modelo CENTURY, os dados de quantidade de água (em centímetros) foram inseridos no arquivo IRRI.100, que é relacionada ao manejo de irrigação, modificando o parâmetro “AUIRRI” igual a zero, indicando que a irrigação automática não será utilizada e incluindo valores no parâmetro “IRRAMT”, que condiciona a quantidade de água a ser aplicada independentemente do estado dela no solo, indicando que haverá a aplicação da quantidade desejada de água no modelo. Essas modificações foram inclusas nas etapas 1 e 2 do tópico 2.3.

Foi utilizado ainda como dado de saída do CENTURY o parâmetro “PET”, referente à evapotranspiração potencial de referência, calculado através do método de Linacre, com finalidade de comparação com a ETo estimada por Hargreaves, descrita no tópico 2.3. Esta comparação foi descrita através da determinação do coeficiente de determinação, com dados observados (eixo x – neste caso, Hargreaves) e estimados (eixo y – dados de saída do modelo) forçados a passar pela origem, gerando um coeficiente angular da regressão linear simples (b), através da equação do tipo  $Y=b.X$  (MORIASI et al., 2007).

Tabela 5. Valores originais e alterados de parâmetros fixos da vegetação nativa e cultivo nas regiões de estudo, semiárido de Alagoas.

<b>Parâmetro fixo (fix.100)</b>			
	<b>Parâmetro</b>	<b>Valor original*</b>	<b>Valor utilizado</b>
<b>EqNV</b>	<i>DEC3(1)<sup>1</sup></i>	7.0	7.0
	<i>DEC3(2)<sup>2</sup></i>	6.5	6.5
	<i>DEC4<sup>3</sup></i>	0.007	0.007
	<i>DEC5<sup>4</sup></i>	0.25	0.25
	<i>PS2S3(1)<sup>5</sup></i>	0.003	0.003
<b>EpNV</b>	<i>DEC3(1)<sup>1</sup></i>	7.0	6.0
	<i>DEC3(2)<sup>2</sup></i>	6.5	5.85
	<i>DEC4<sup>3</sup></i>	0.007	0.0045
	<i>DEC5<sup>4</sup></i>	0.25	0.25
	<i>PS2S3(1)<sup>5</sup></i>	0.003	0.0085
<b>UINV</b>	<i>DEC3(1)<sup>1</sup></i>	7.0	6.0
	<i>DEC3(2)<sup>2</sup></i>	6.5	6.5
	<i>DEC4<sup>3</sup></i>	0.007	0.0045
	<i>DEC5<sup>4</sup></i>	0.25	0.40
	<i>PS2S3(1)<sup>5</sup></i>	0.003	0.0068
<b>Em todos os sistemas</b>	<i>VARATI(1,1)<sup>5</sup></i>	18.00	28.85



<i>VARAT1(2,1)</i>	8.00	13.71
<i>VARAT2(1,1)</i>	40.00	26.49
<i>VARAT2(1,2)</i>	12.00	19.50
<i>VARAT3(1,1)</i>	20.00	12.24
<i>VARAT3(1,2)</i>	6.00	6.99

<sup>1</sup> decomposição da matéria orgânica na parte estrutural. <sup>2</sup> máxima taxa de decomposição da matéria orgânica do solo na parte ativa. <sup>3</sup> máxima decomposição da matéria orgânica do solo na parte lenta. <sup>4</sup> máxima decomposição da matéria orgânica do solo na parte passiva. <sup>5</sup> fração que é transferida do compartimento lento para o passivo. <sup>6</sup> máxima/mínima relação C/N nos compartimentos ativo, lento e passivo.\*valores retirados de Althoff et al. (2018a) e default do modelo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Correção dos dados de temperatura do ar nos modelos regionais ETA-HadGEM e ETA-MIROC5

O modelo Eta-HadGEM se ajustou na variação sazonal da temperatura no cenário climático atual (1960-1983). As previsões do modelo mostram que os erros sistemáticos foram ocasionados por processos físicos e atmosféricos nas diferentes regiões (Figura 3; Figura 4). Os resultados mostram que o modelo Eta-HadGEM subestimou as temperaturas mínimas (Tmin) e máximas (Tmax) nas áreas de Pariconha e Inhapi. Esse comportamento não foi observado na área de Delmiro Gouveia na temperatura máxima, onde houve superestimativa nos meses de junho a agosto (Figura 3b). Nas áreas de Pariconha e Inhapi (Tmax), as menores subestimativas também foram relacionadas aos meses de junho a agosto, variando de 0.10 a 0.72 °C em Pariconha e 0,44 a 1,07 °C em Inhapi.

Para Tmin, o erro sistemático foi considerado alto, com valores subestimando em até 4,0 °C nos municípios avaliados (Figura 4). Para Tmax, apesar de apresentar erro sistemático subestimando em 4,0 °C, essa variável climática resultou em menores erros. Os maiores erros nessa variável foram encontrados nos meses mais secos (outubro a abril). A Figura 4 mostra a eficiência da correção do erro sistemático no período de 1984-2005, apresentando erros menores que 1,0 °C na temperatura mínima e 1,1 °C na temperatura máxima, mostrando que o modelo foi eficiente após a correção dos dados.

Em relação ao modelo Eta-MIROC5 (Figura 5; Figura 6), houve também uma boa representação do modelo em relação ao período histórico (Figura 5). Os resultados mostram que houve uma subestimativa do modelo em relação aos dados históricos de Tmin e Tmax, havendo uma tendência principalmente em Tmax dos dados simulados pelo Eta-MIROC5 se

aproximarem aos observados nos períodos seco (Figura 5b; Figura 5d; Figura 5e). Este comportamento é comprovado ao observar os resultados do erro sistemático quando comparados Tmin e Tmax, com Tmax possuindo menores erros nos períodos de junho a setembro (Figura 6).

A área de Delmiro Gouveia foi a que possuiu menores erros sistemáticos antes da correção dos dados gerados pelo modelo Eta-MIROC5, com uma variação máxima de 4,09 °C para Tmin e 5,62 °C para Tmax (Figura 6a; Figura 6b). A eficiência da correção mostra que o erro sistemático variou de 1,38 °C em Tmin de Delmiro Gouveia (Figura 6a) até 3,57 °C em Tmax de Inhapi (Figura 6f). Observa-se que apesar do modelo Eta-MIROC5 apresenta-se satisfatório na correção dos dados de temperatura, tem-se que, comparado com o modelo Eta-HadGem, os erros sistemáticos foram superiores, mostrando a eficácia do modelo Eta-HadGem em relação à estimativa de temperatura do ar.

Ao simular os dados corrigidos em cenários futuros, nas diferentes RCP's, observa-se que há uma variação de temperatura entre RCP4.5 e RCP8.5 (Tabela 6). Essa diferença é ocasionada pelo próprio comportamento do modelo em relação à forçante radioativa, já que há uma tendência de aumento de temperatura quando há um aumento da radiação solar na atmosfera. Os resultados mostram que houve uma variação entre 1,73 °C até 1,79 °C na RCP4.5 do modelo Eta-HadGem, enquanto uma menor variação foi observada no modelo Eta-MIROC5 (1,48 até 1,53 °C) na mesma forçante. Na forçante RCP8.5 do modelo Eta-HadGem, a região que obteve um maior aumento de temperatura foi em Delmiro Gouveia, com um acréscimo de 4,75 °C em relação ao ano de 2006. No modelo Eta-MIROC5 este acréscimo variou de 3,23 (Delmiro Gouveia) até 3,32 (Pariconha).

Estas simulações são de essencial importância no que se refere aos impactos socioeconômicos, que levam o produtor rural a definir novas estratégias no processo de implementação de culturas agrícolas. Mudanças climáticas, com aumento de aproximadamente 4,0 °C de temperatura (Tabela 6) pode identificar possíveis precauções em relação ao manejo agrícola, principalmente em relação ao cuidado com o solo, adoção de novas práticas culturais, ou até mesmo adoção de outros cultivos na região de estudo. Os modelos em questão apresentaram aumento na temperatura média, apesar de estudos abodarem extremos de aproximadamente 6,0 °C em RCP8.5 em regiões da América do Sul (CHOU et al., 2014).

Tabela 6. Temperaturas médias nos anos de 2006 e 2099 e diferença entre os dois anos, para as áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, nos modelos Eta-HadGem e Eta-MIROC5.

Eta-HadGem									
	Delmiro Gouveia			Pariconha			Inhapi		
	2006	2099	Diferença	2006	2099	Diferença	2006	2099	Diferença
RCP4.5	26,52	28,31	+1,79	26,53	28,28	+1,75	26,57	28,3	+1,73
RCP8.5	26,48	31,23	+4,75	26,50	31,22	+4,72	26,52	31,19	+4,67
Eta-MIROC5									
	Delmiro Gouveia			Pariconha			Inhapi		
	2006	2099	Diferença	2006	2099	Diferença	2006	2099	Diferença
RCP4.5	25,98	27,46	+1,48	25,96	27,49	+1,53	25,95	27,46	+1,51
RCP8.5	25,73	28,96	+3,23	25,78	29,10	+3,32	25,79	29,05	+3,26

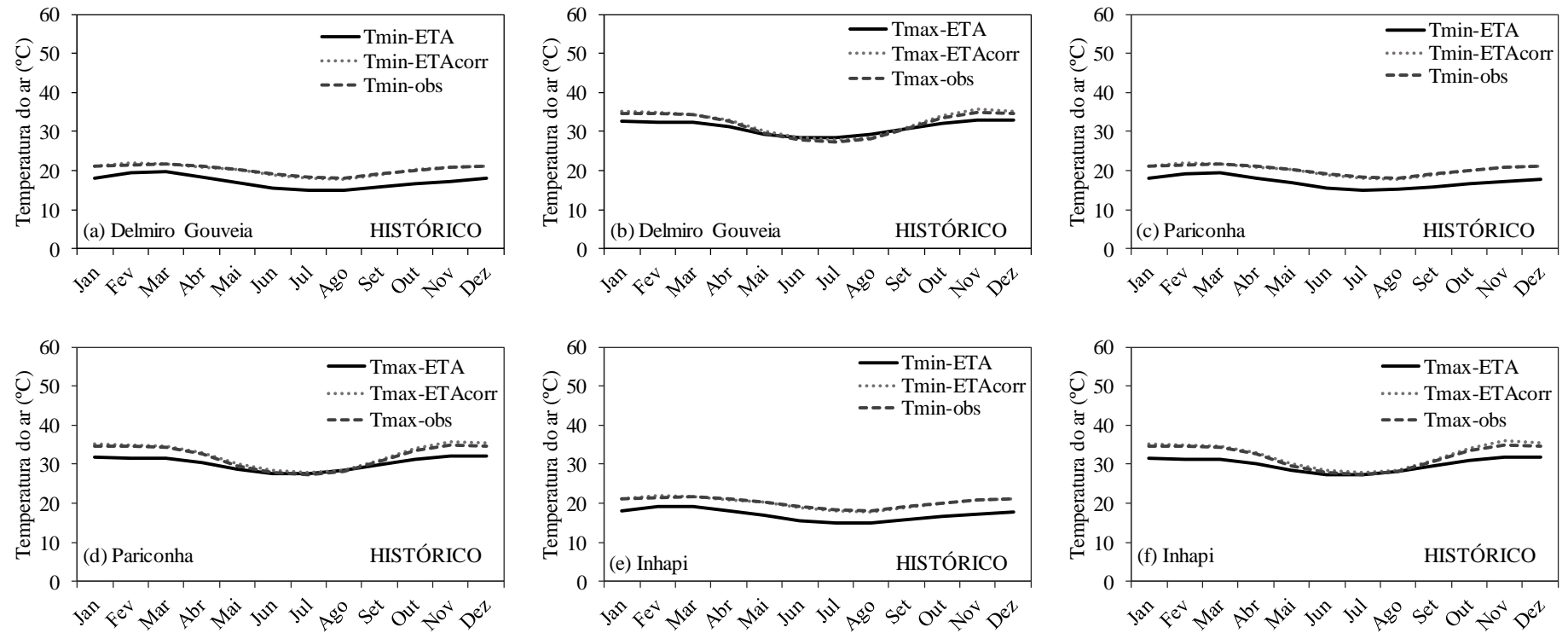


Figura 3. Temperatura máxima e mínima observadas, simuladas pelo modelo EtaHadGEM e corrigidos no clima histórico em Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, Alagoas, Brasil.

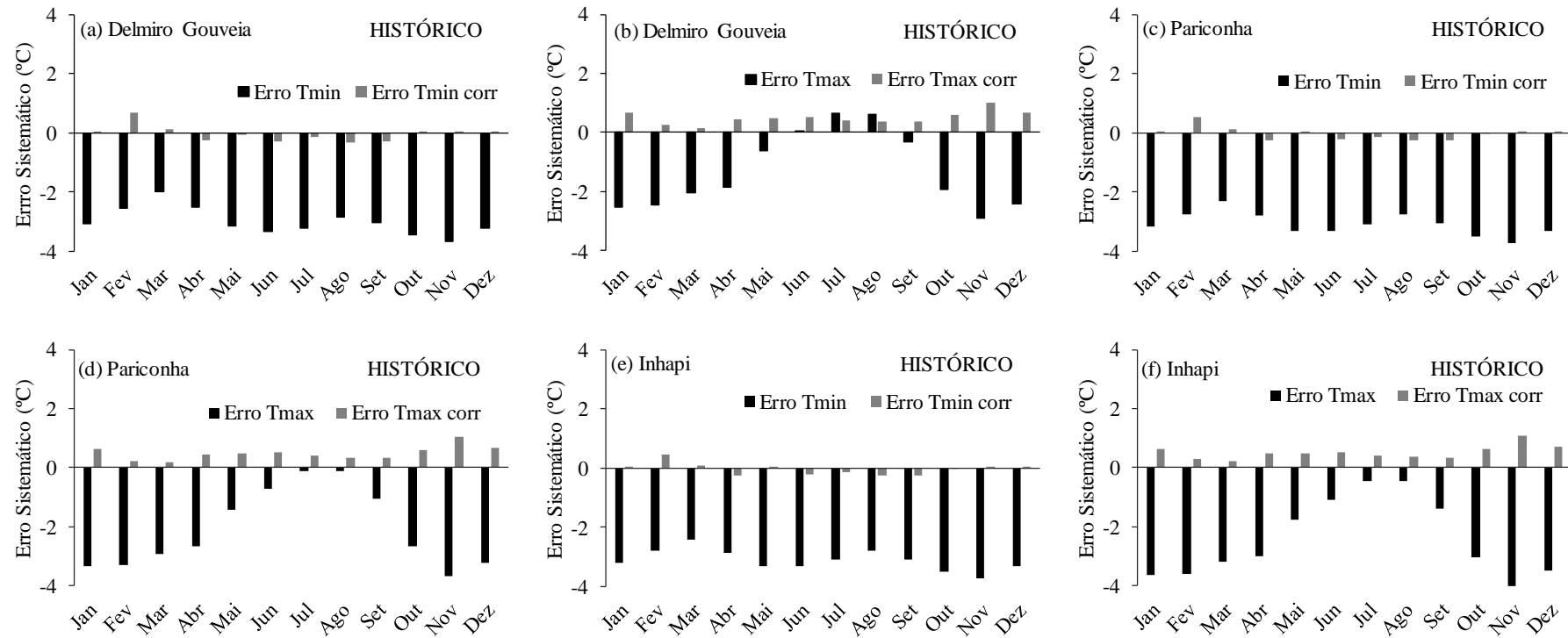


Figura 4. Erro sistemático (bias) entre dados de temperaturas mínimas e máximas simulados pelo modelo Eta-HadGEM e cenário atual nas regiões de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, Alagoas, Brasil.

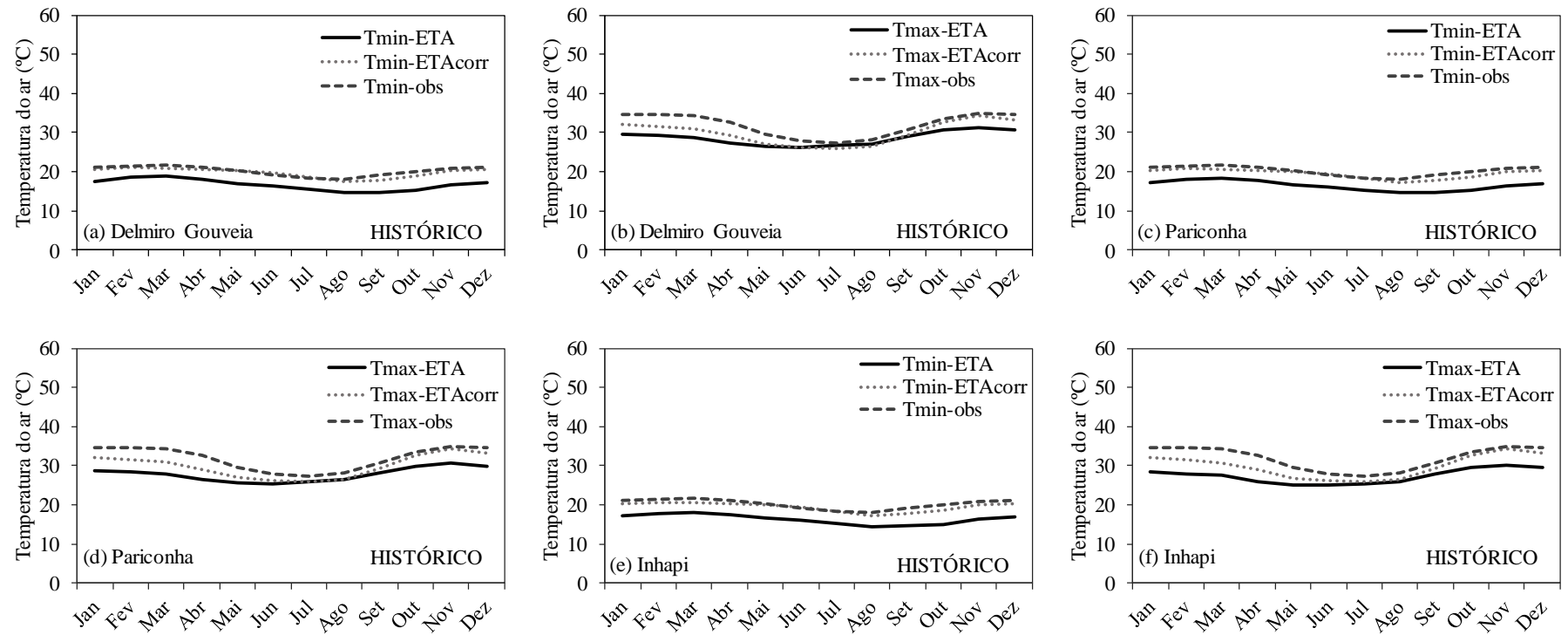


Figura 5. Temperatura máxima e mínima observadas, simuladas pelo modelo EtaMIROC5 e corrigidos no clima histórico em Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, Alagoas, Brasil.

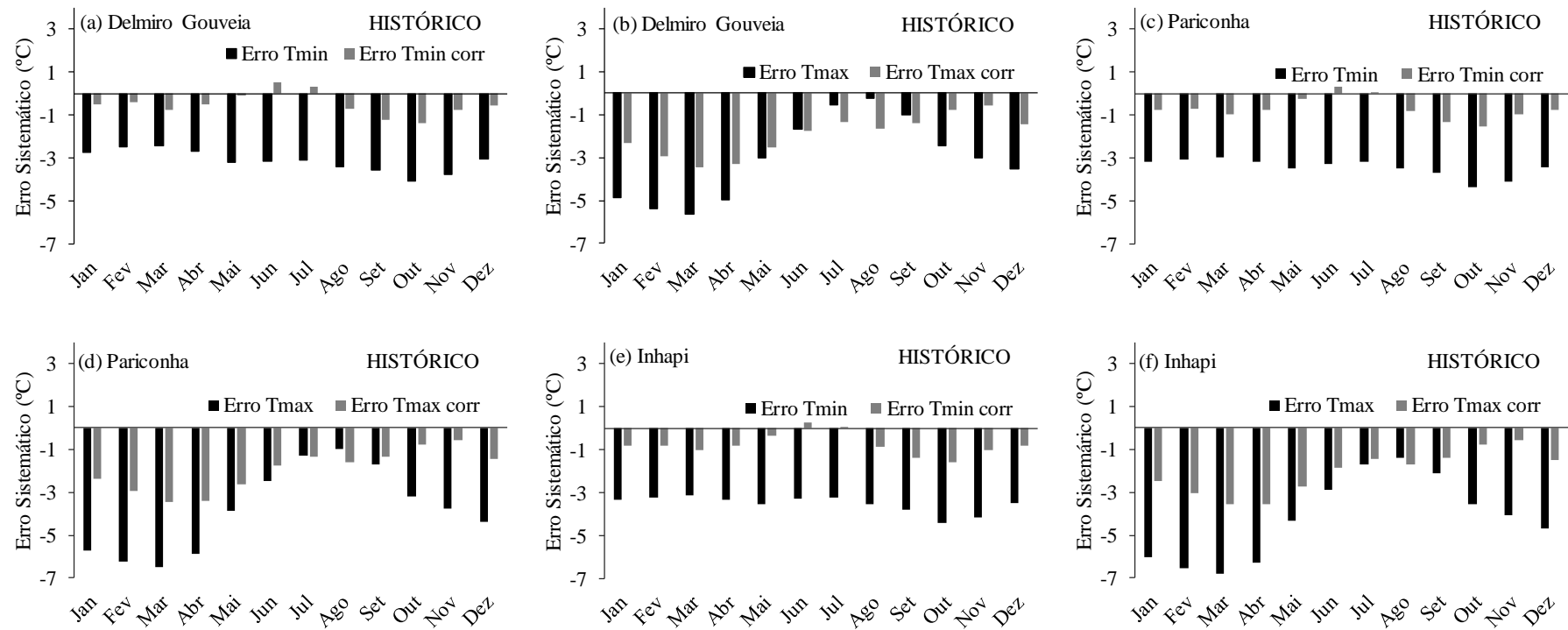


Figura 6. Erro sistemático (bias) entre dados de temperaturas mínimas e máximas simulados pelo modelo Eta-MIROC5 e cenário atual nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, Alagoas, Brasil.

### 3.2 Correção dos dados de precipitação pluvial

A precipitação pluvial estimada pelos modelos Eta-HadGem e Eta-MIROC5 representaram a variação da chuva em relação ao período observado (Figura 7). Em relação ao modelo Eta-HadGem, este subestimou os dados observados de chuva, com maiores subestimativas em Pariconha e Inhapi (Figura 7b; Figura 7c). Essa subestimativa média (somatório de janeiro até dezembro) foi de 240,48; 199,10 e 235,53 mm simulados pelo Eta-HadGem, indicando subestimativas de 53, 80 e 78% em relação aos dados históricos observados, em Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, respectivamente.

Diferente do modelo Eta-HadGem, o Eta-MIROC5 apresentou superestimativas em relação aos dados históricos observados, principalmente nos períodos de janeiro a abril em Pariconha e Inhapi, e janeiro a maio em Delmiro Gouveia (Figura 7d; Figura 7e; Figura 7f). Após as correções, em ambos os modelos, os dados simulados se assemelharam aos dados observados. Essa correção foi de fundamental importância nas simulações de períodos futuros, nas diferentes forçantes radioativas, gerando cenários de precipitação pluvial, tanto no modelo Eta-HadGem, como no Eta-MIROC5 (Figura 8).

Observa-se ainda que o modelo Eta-MIROC5 foi aquele que representou melhor o cenário histórico de precipitação pluvial. O cenário RCP8.5 em Pariconha e Inhapi apresentou um acréscimo de 363,20 e 461,70 mm na precipitação pluvial quando comparados os anos de 2006 e 2099 (Figura 8d; Figura 8e). Os demais cenários, nos dois modelos avaliados, obtiveram precipitação pluvial inferior no ano de 2099, quando comparado com o ano de 2006. Outro fato a ser observado é que o modelo Eta-HadGem estima um acréscimo de precipitação pluvial na forçante RCP4.5 durante os anos de 2031 a 2085. Este acréscimo é observado também nos últimos anos de simulação na forçante RCP8.5, principalmente na região de Inhapi (Figura 8e), com um acréscimo de aproximadamente 1500 mm nesta época.



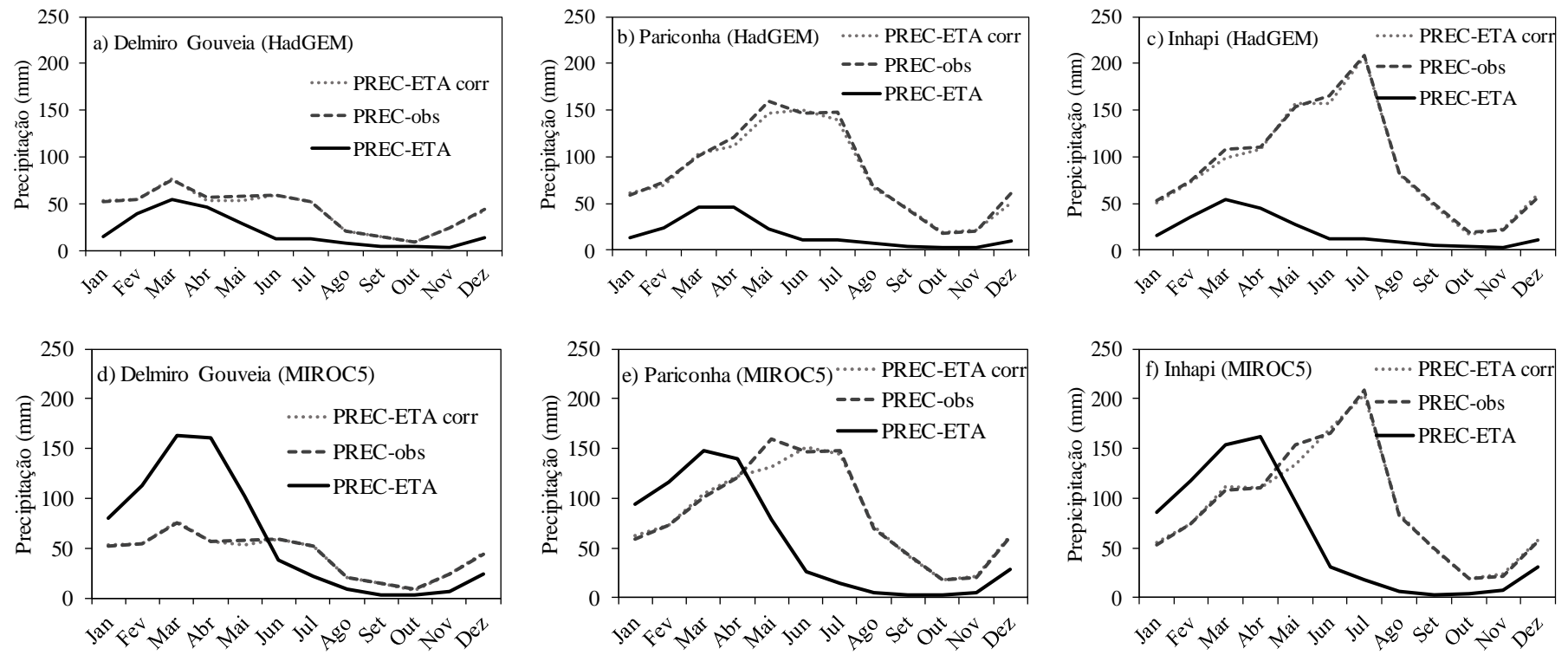


Figura 7. Precipitação pluvial mensal medida, simulada pelos modelos EtaHadGEM e EtaMIROC5 e corrigidas para o clima histórico nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, Alagoas, Brasil.

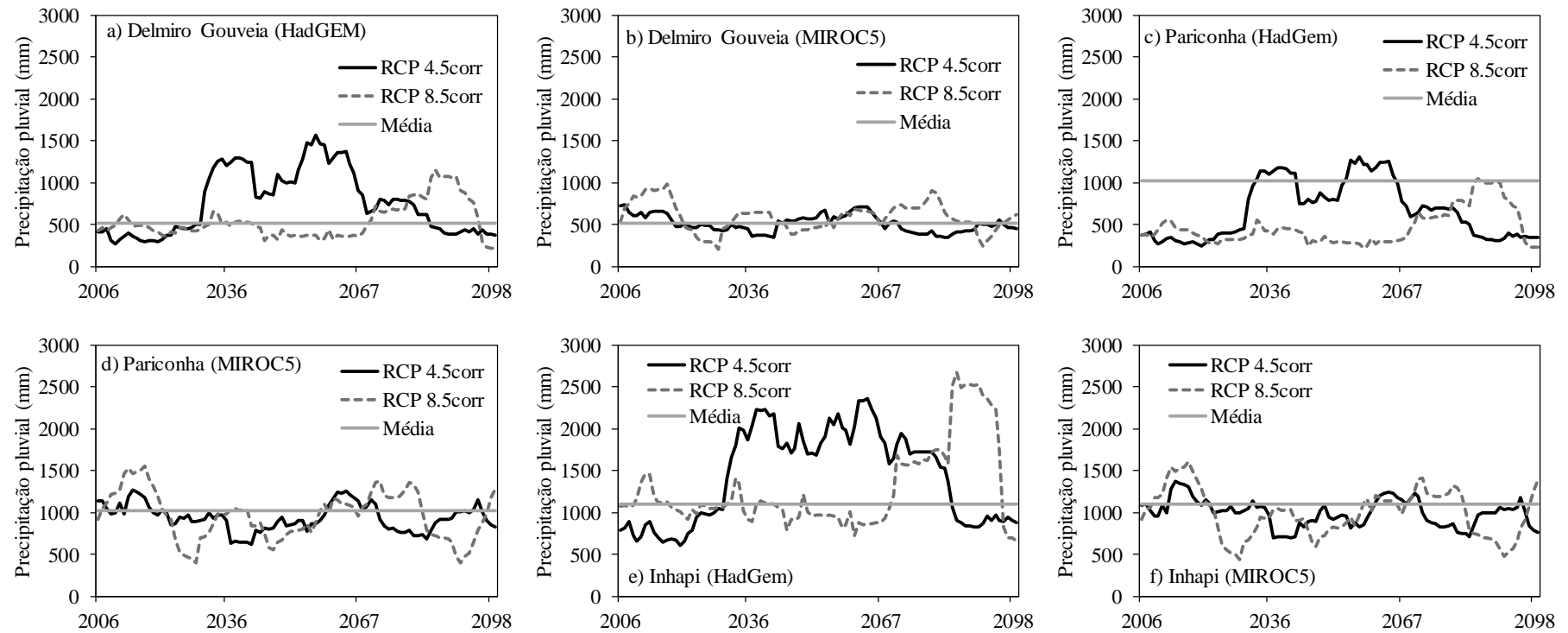


Figura 8. Precipitação para diferentes cenários climáticos (ano de 2006-2099), nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, Alagoas, Brasil. A linha média corresponde à normal climatológica do cenário de base.

### 3.3 Simulação das lâminas de irrigação no cenário de base com o CENTURY

As simulações com o CENTURY 4.5 apresentaram eficiência quando relacionado com as lâminas de irrigação. Os indicadores gerados através das simulações são de suma importância, pois não há estudos científicos que estejam relacionados ao manejo de culturas agrícolas sob diferentes porcentagens de lâminas de irrigação com o modelo CENTURY4.5. Tem-se que em quatro dos sistemas avaliados o coeficiente de determinação ficou acima dos 90%, indicando uma excelente resposta do modelo em relação aos níveis de irrigação (Figura 9a; Figura 9b; Figura 9d; Figura 9e). Coincidentemente, a eficiência do coeficiente de determinação foi nas áreas de sistemas agrícolas. A área com sistema de pastagem apresentou um coeficiente próximo aos 70% (Figura 9c), o que pode ser explicado ao manejo da pastagem ser contínuo, sem implantação de períodos de pousio ou renovação da pastagem.

A lâmina ótima foi definida para cada uma das áreas de cultivo, através da derivada das equações na Figura 9. No sistema NqCC15 (Figura 9a), a derivação da equação resultou em uma lâmina de 13,31 mm, ou seja, uma aplicação de 41% a mais da lâmina padrão. Este valor foi muito acima dos demais sistemas agrícolas, provavelmente explicado pelo solo ser bastante arenoso, juntamente com o tempo de simulação do modelo (período de 15 anos de cultivo), ou por culturas como o milho necessitarem de uma alta quantidade de água para o seu desenvolvimento (STEHFEST et al., 2007), fato que não foi observado em NrPa10, cultivado com pastagem, obtendo uma lâmina de 4,87 mm. NqCC4, NrCC4 e ArCC30 possuíram uma lâmina média de 10,95; 7,99 e 7,64 mm, respectivamente.

Estudos com o modelo CENTURY (e modelos derivados do CENTURY, como o DayCent) restringem o processo de irrigação apenas para manter o manejo hídrico próximo da disponibilidade de água no solo, como meio de adicionar água aos sistemas agrícolas (BANDARANAYAKE et al., 2003; SOBOKCÁ et al., 2007; STEHFEST, et al., 2007), não existindo pesquisas que correlacionem diferentes lâminas hídricas com a produção de biomassa, gerando informações de diferentes lâminas apenas em outros modelos de simulação do COT (ZHAO; HU; STAHR, 2013). Porém, estudos externos à modelagem, apresentam resultados próximos em relação à quantidade de água ideal a ser adicionada, mostrando que o modelo pode ser capaz de representar esta situação (KARASU et al., 2015; SALEH et al., 2018). Com isso, o modelo encontra-se apto na simulação de cenários futuros nas diferentes forçantes radioativas.

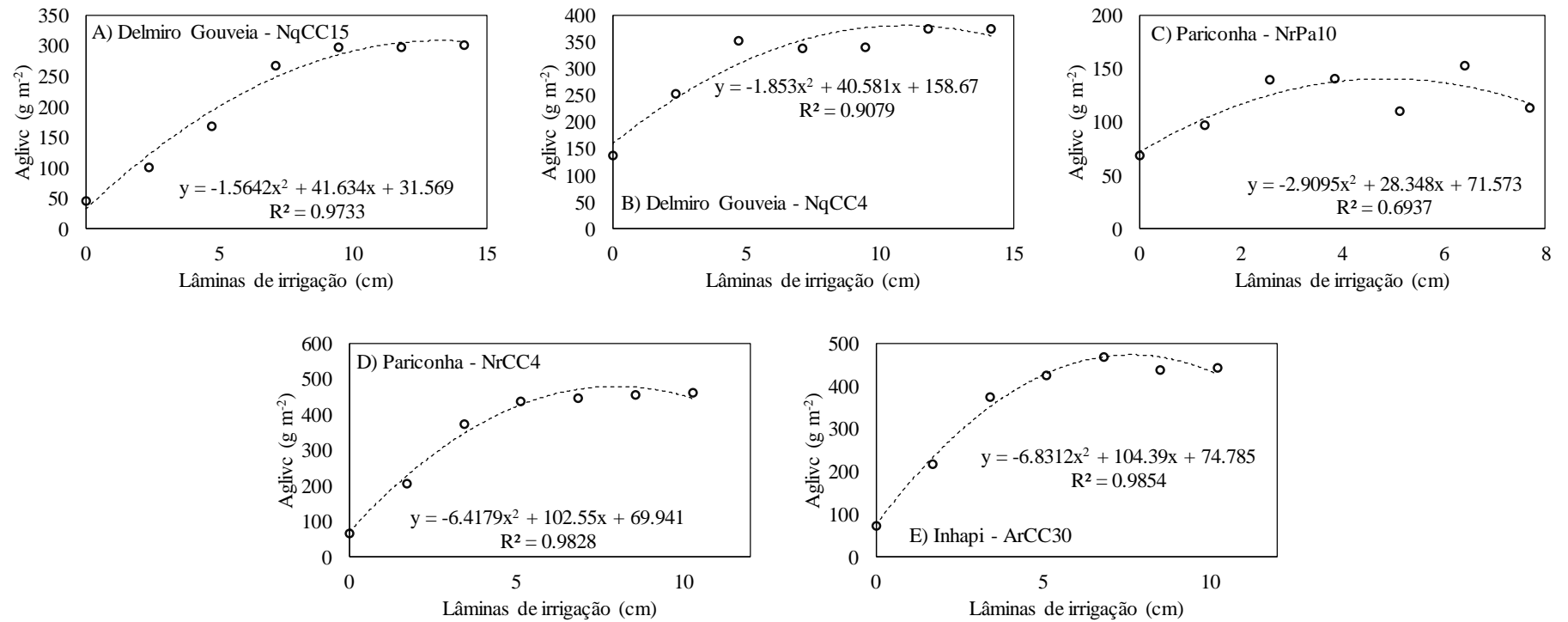


Figura 9. Carbono da biomassa acima do solo (aglyvc) submetido a diferentes níveis de irrigação no período histórico, nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi.

### 3.4 Evapotranspiração potencial

A evapotranspiração potencial (ET<sub>o</sub>) estimada por Hargreaves e simulada no CENTURY (calculada através da equação de Linacre) são apresentadas para os cenários futuros, nas diferentes forçantes radioativas, nos modelos Eta-HadGem, Eta-MIROC5 e dados médios entre os modelos (MÉDIA), conforme as Figuras 10, 11 e 12. Observa-se que em todas as simulações o modelo CENTURY subestima a ET<sub>o</sub> em aproximadamente 20 %. Os dados médios foram aqueles que melhor representaram o comparativo entre a ET<sub>o</sub> calculada por Hargreaves e simulada pelo modelo CENTURY através da equação de Linacre. Vale salientar que foi de suma importância o cálculo da ET<sub>o</sub> por Hargreaves na utilização da estimativa da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>).

Os coeficientes de determinação em todos os casos ficaram próximos de 50%, indicando uma resposta moderada na comparação dos dados (SMITH et al., 1997). Um dos fatores que implicam nesta questão é devido as equações possuírem variáveis distintas, responsáveis pelo ajuste da ET<sub>o</sub> na mesma localidade. Apesar de ambas levarem em consideração a temperatura, a equação de Hargreaves possui a radiação solar no topo da atmosfera como parâmetro diferente, enquanto a equação de Linacre utiliza a altitude, latitude e temperatura no ponto de orvalho (HARGREAVES, 1974; LINACRE, 1977). Os dados gerados pelo coeficiente angular  $b$  da equação linear ( $Y=b.x$ ) poderá ser utilizado como fator de correção em estudos futuros que levem em consideração estimativa da ET<sub>o</sub> pela metodologia de Hargreaves.

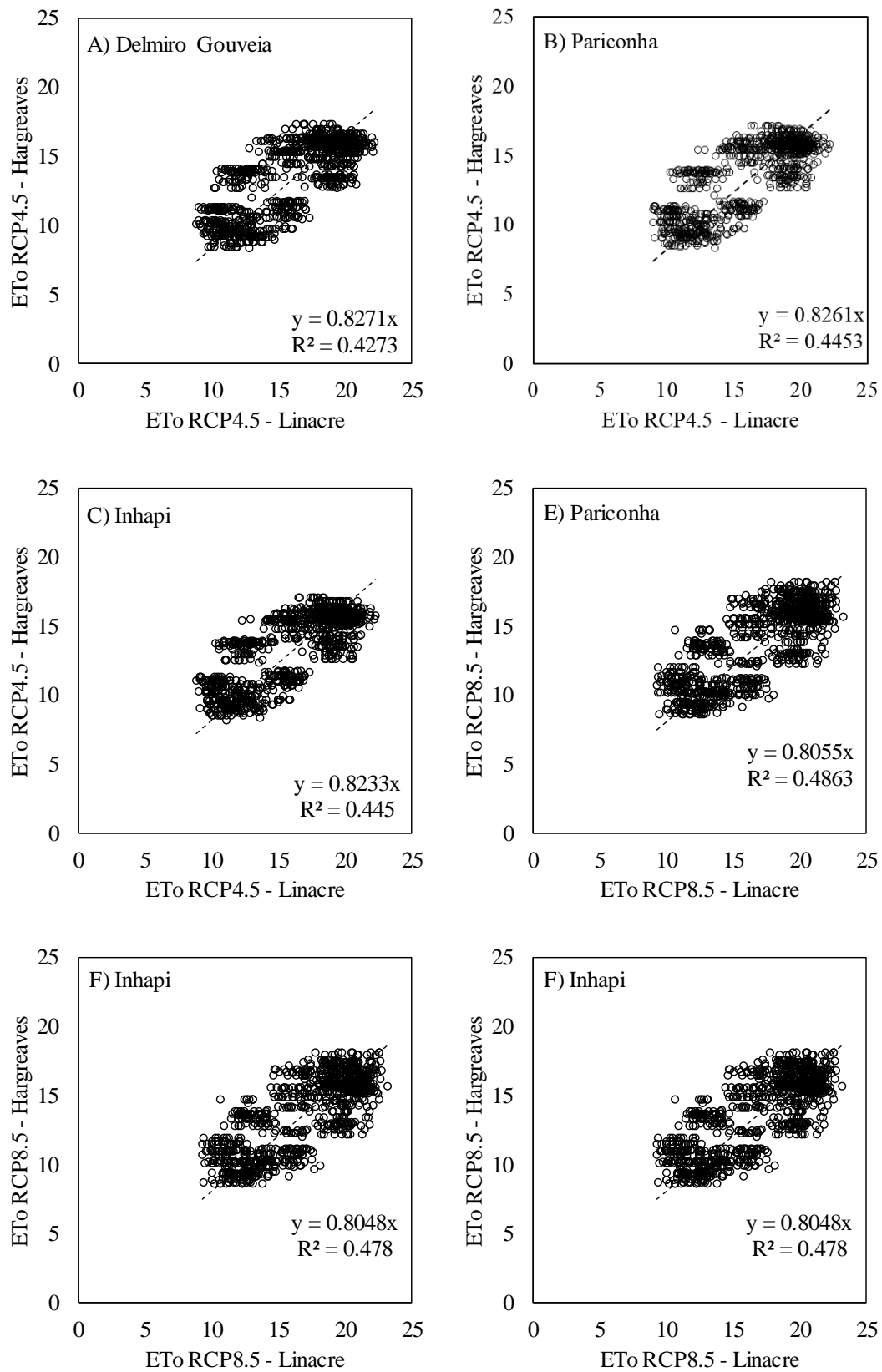


Figura 10. Evapotranspiração potencial (ETo), em centímetros, observada pelo cálculo de Hargreaves e estimada pelo modelo CENTURY através da equação de Linacre para o modelo HadGem, nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi.

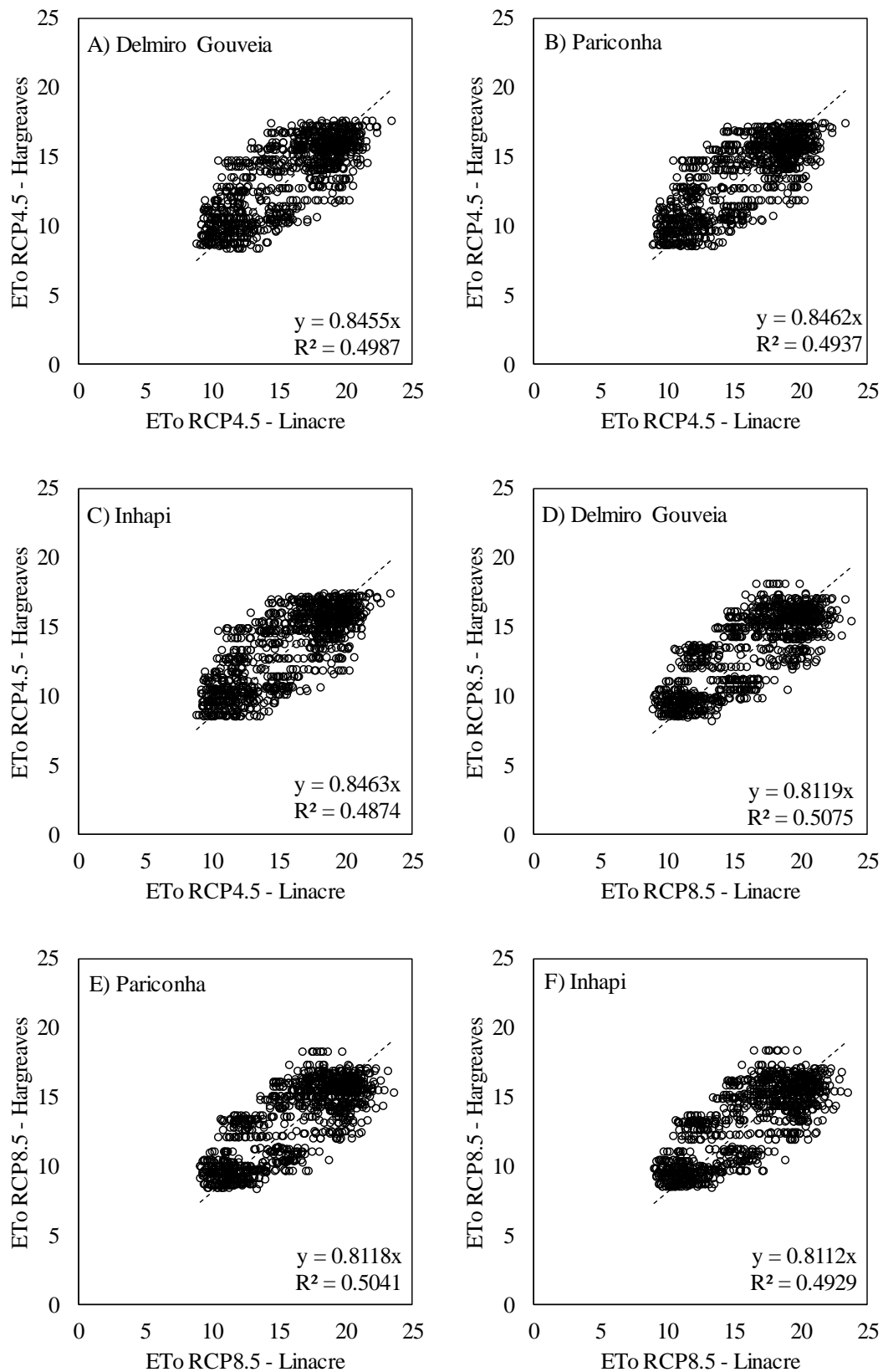


Figura 11. Evapotranspiração potencial (ETo), em centímetros, observada pelo cálculo de Hargreaves e estimada pelo modelo CENTURY através da equação de Linacre para o modelo MIROC5, nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi.

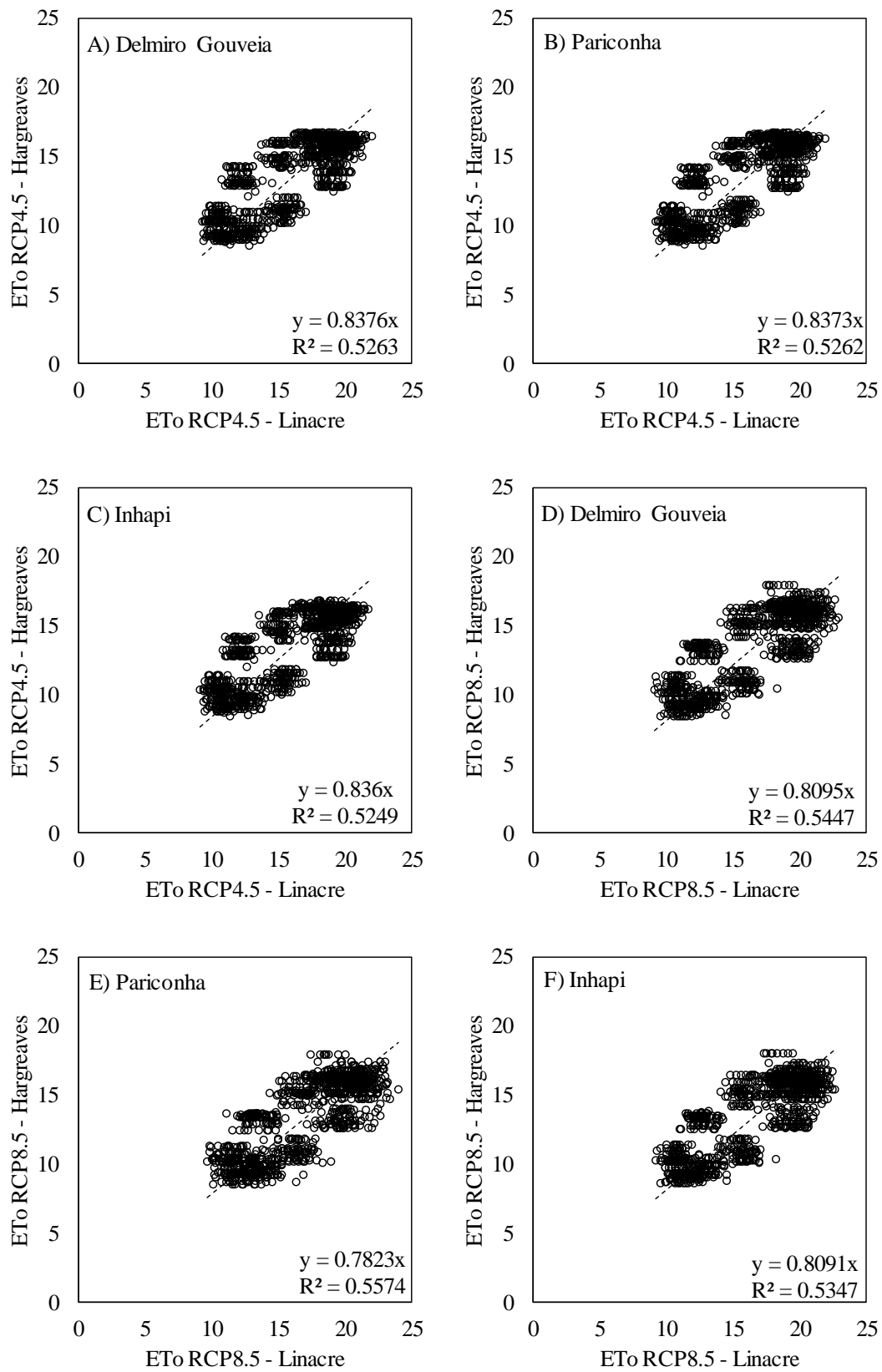


Figura 12. Evapotranspiração potencial (ETo), em centímetros, observada pelo cálculo de Hargreaves e estimada pelo modelo CENTURY através da equação de Linacre para média dos modelos HadGem e MIROC5, nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi.



### 3.4 Estoque de Carbono em cenários futuros

O estoque de C nos sistemas agrícolas, em manejo de sequeiro e irrigado são apresentados nas Figuras 13 e 14, respectivamente e na Tabela 7. Observa-se que o estoque de C é menor quando o ambiente foi mantido em sequeiro, o que pode ser explicado pelo fato dos sistemas de cultivo serem implantados apenas em época de chuva. O estoque no cenário base variou de 2898 g de C m<sup>-2</sup> em um Argissolo a 1544 g de C m<sup>-2</sup> em um Neossolo Quartzarênico (Tabela 7). De acordo com a Figura 13 pode-se ainda observar que a dinâmica do C se assemelha em todos os cenários climáticos, mesmo em relação ao cenário de base, principalmente quando o solo se torna mais argiloso.

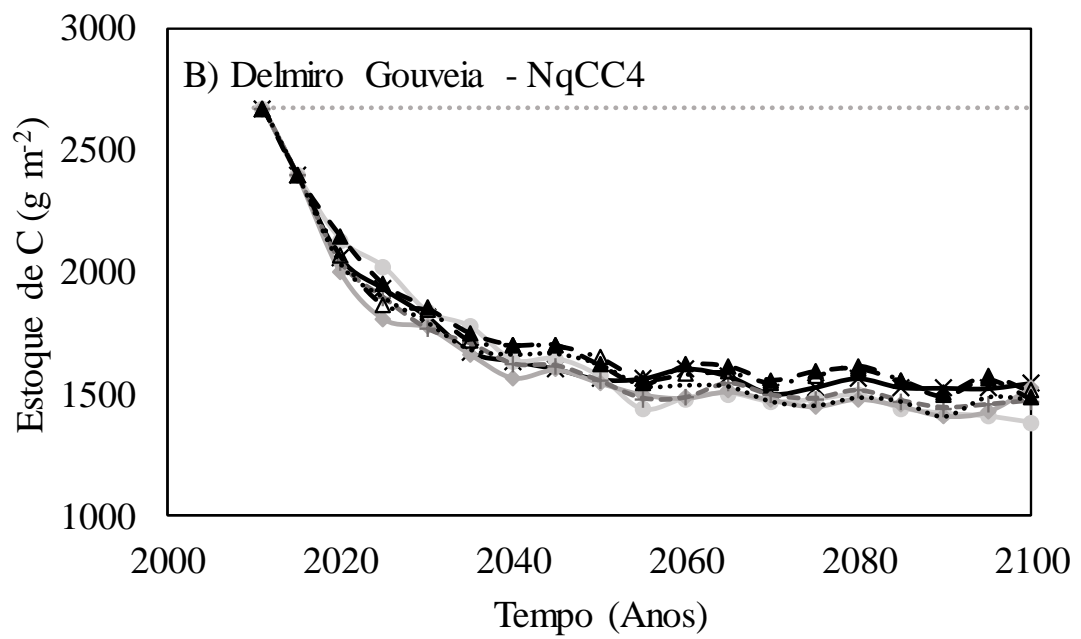
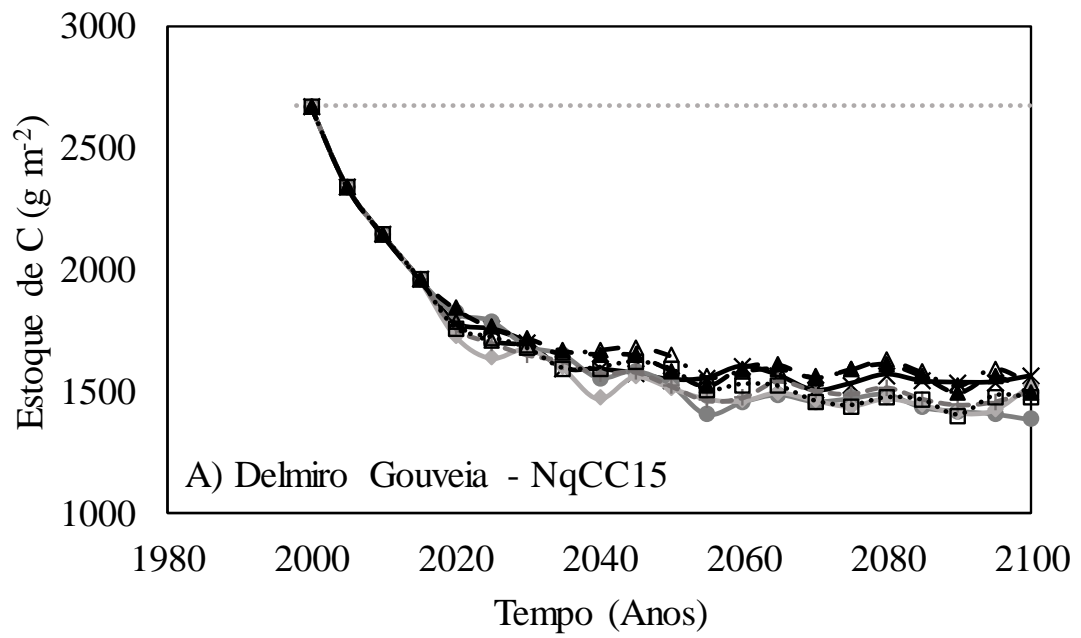
Ao comparar o cenário de base com os cenários climáticos em sequeiro (Tabela 7) observa-se que apenas os cenários Eta HadGem (RCP4.5 e RCP8.5) em NrPa10, Eta MIROC5 (RCP4.5) em ArCC30 e dados Médios RCP4.5 em NrCC4 e RCP8.5 em NrPa10 resultaram no aumento do COS no último ano de simulação (2099), variando de 0,2 % a 4,0 % de adição, havendo perda de C nas demais simulações. Ainda de acordo com a Tabela 7, ao comparar a adição de água via irrigação, observa-se que há acréscimo de C em todos os sistemas agrícolas, exceto no sistema de pastagem, que adicionou C apenas quando simulado com dados do Eta MIROC5 na RCP8.5.

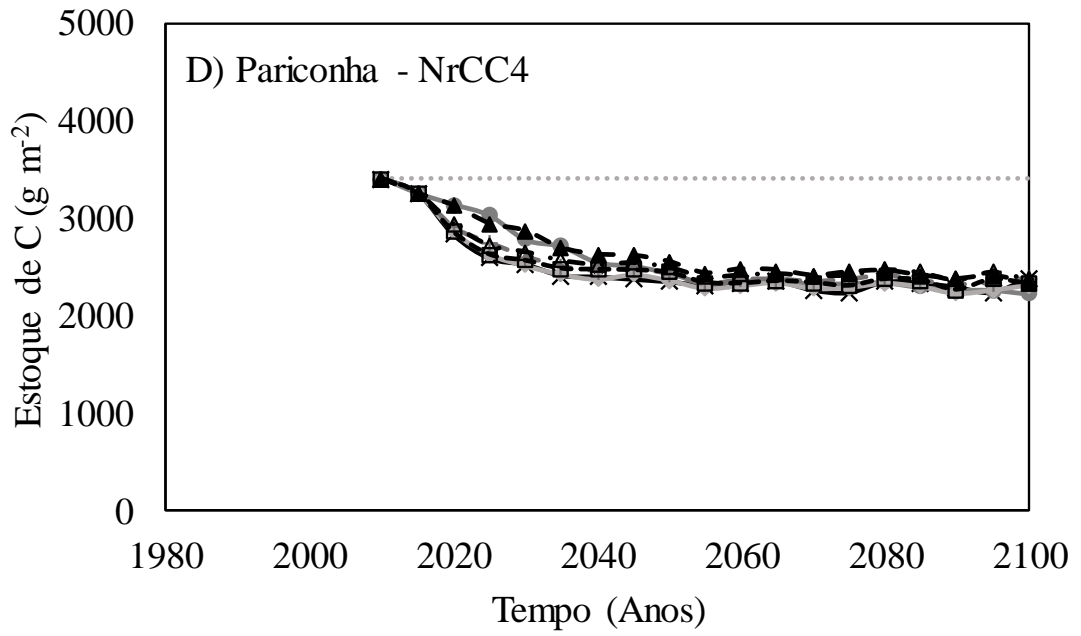
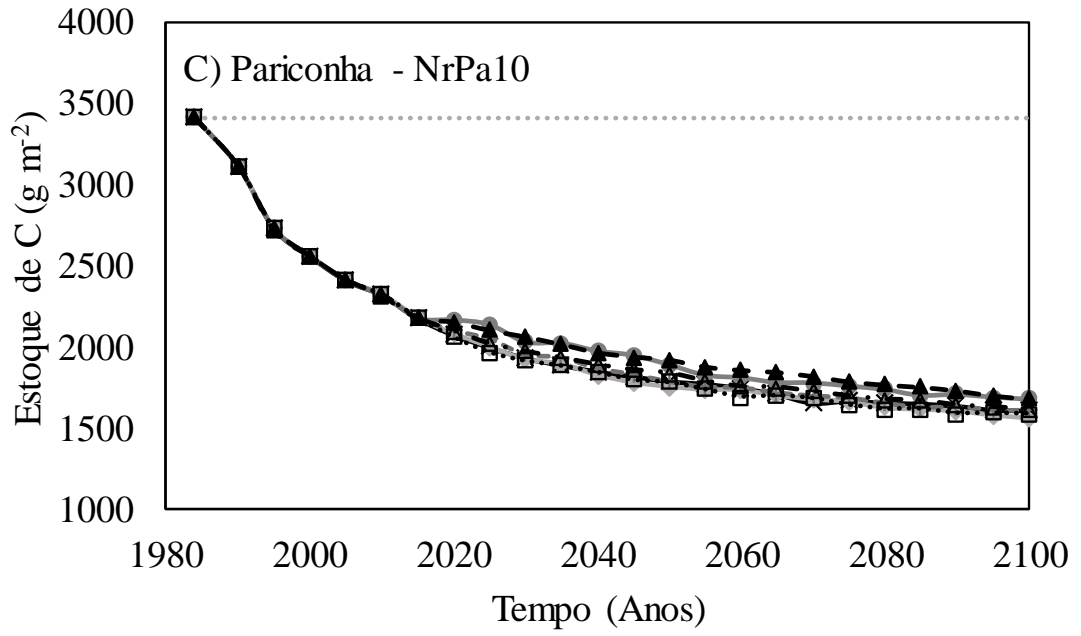
Em relação à adição de água via irrigação, houve semelhança na dinâmica do COT nos cenários de mudanças climáticas (Figura 14). Quando comparado com o cenário de base, houve um maior acréscimo de C nas simulações de mudanças climáticas, com perdas de aproximadamente 11 % no cenário de base. Outro compostamento interessante é que a forçante radioativa RCP8.5 em todos os sistemas de cultivo foi aquele que promoveu menores perdas de COT. Observa-se ainda que a perda de C está intimamente relacionada com a textura do solo. A área com cultivos sobre Argissolo vermelho amarelo (ArCC30) foi aquela que obteve menores perdas de C ao longo do tempo (Figura 14e; Tabela 8). A maior perda em áreas de pastagem pode ser relacionada ao período de atividade do pasto no campo, sem utilização de rotação do pasto, utilização de períodos de pousio ou o não renovação da pastagem, ocasionando em formação de pasto degradado. Em relação as menores perdas em RCP8.5, estas podem estar relacionadas à fisiologia das plantas C4, como o milho, devido a eficiência do processo fotossintético. Comportamento semelhante ocorre em simulações com o CENTURY na produtividade da cana-de açúcar em regiões tropicais do nordeste do Brasil (CARVALHO et al., 2015). Plantas C4 são capazes de reduzir a taxa de transpiração, estimulando o crescimento e a absorção de CO<sub>2</sub> foliar, mantendo a relação hídrica da planta, que por sua vez reduz o uso de água em toda a planta, conservando a umidade do solo. O contrário, em

condições de estresse hídrico, ocasionará em condutância estomática reduzida, restringindo a fotossíntese, com consequência na diminuição do rendimento das plantas (GHANNOUM et al., 2000; LEAKEY, 2009).

Na tabela 8 são apresentados os resultados do comparativo da perda de COS entre os diferentes cenários e os estoques nas áreas de vegetação nativa. Houve em todas as situações perdas significativas do C do solo a qual variou de 32 a 56 % em sistema com pastagem (RCP4.5) e cultivo agrícola (RCP8.5). As menores porcentagens nos ambientes irrigados mostram a eficiência da adição de água na dinâmica de C, ocasionada principalmente pela capacidade de ter mais de uma safra ao ano, quando comparado com cultivos em ambiente de sequeiro, aumentando o aporte de C ao solo.

O uso de modelos climáticos é de essencial importância, principalmente na estimativa do estoque de C. Os sistemas de cultivos sofrem influência do manejo que é utilizado, havendo a necessidade da adoção de sistemas agrícolas que visem o aumento de C no ambiente semiárido. A associação entre a modelagem climática e simulação da dinâmica de C é de fundamental importância em estudos na região semiárida do Brasil, havendo a necessidade de se expandir os estudos de COS nesta região (ALTHOFF et al., 2016; ALTHOFF et al., 2018a; ALTHOFF et al., 2018b).





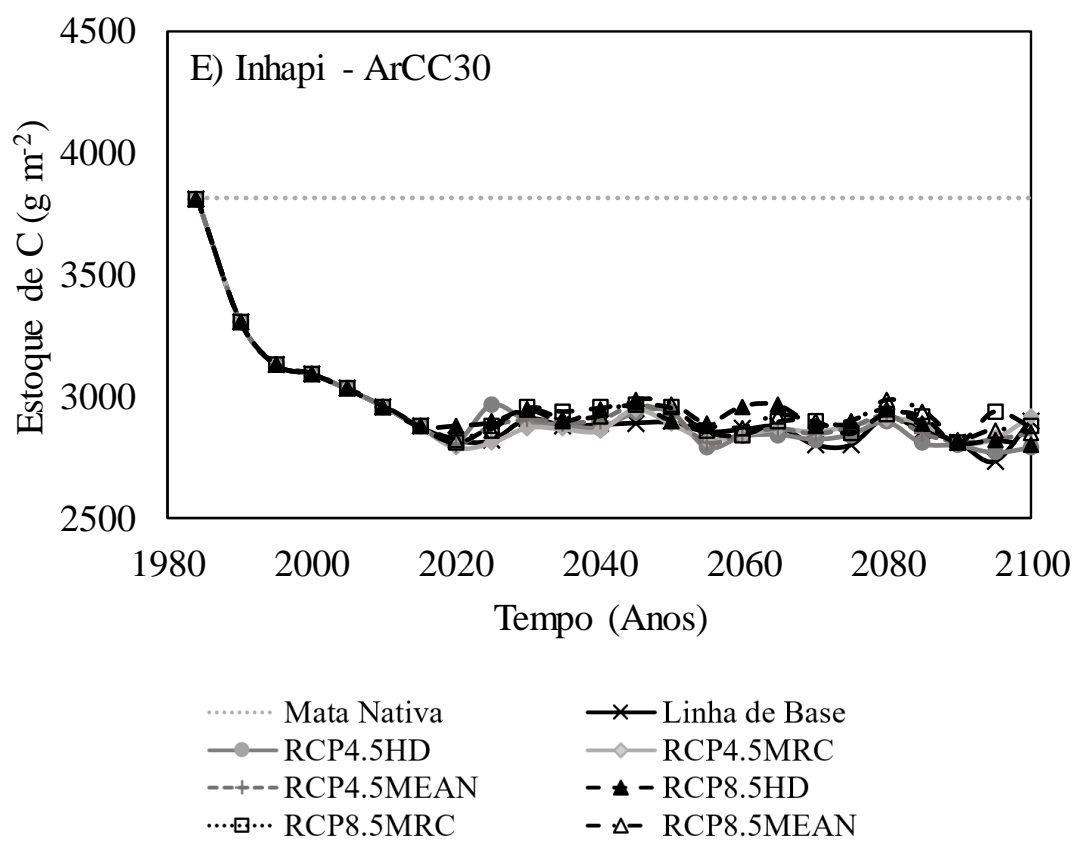
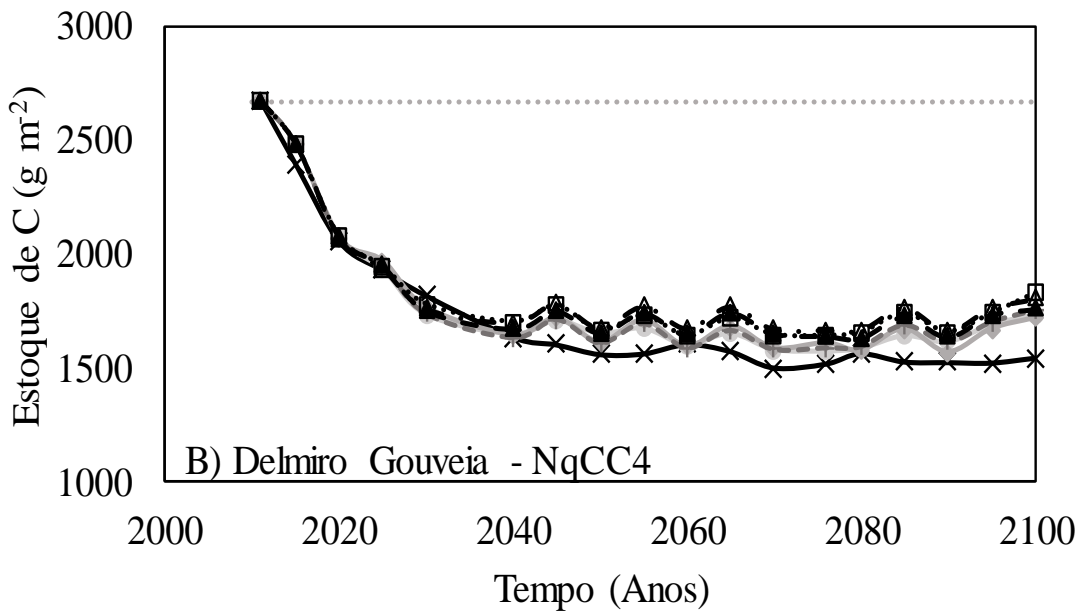
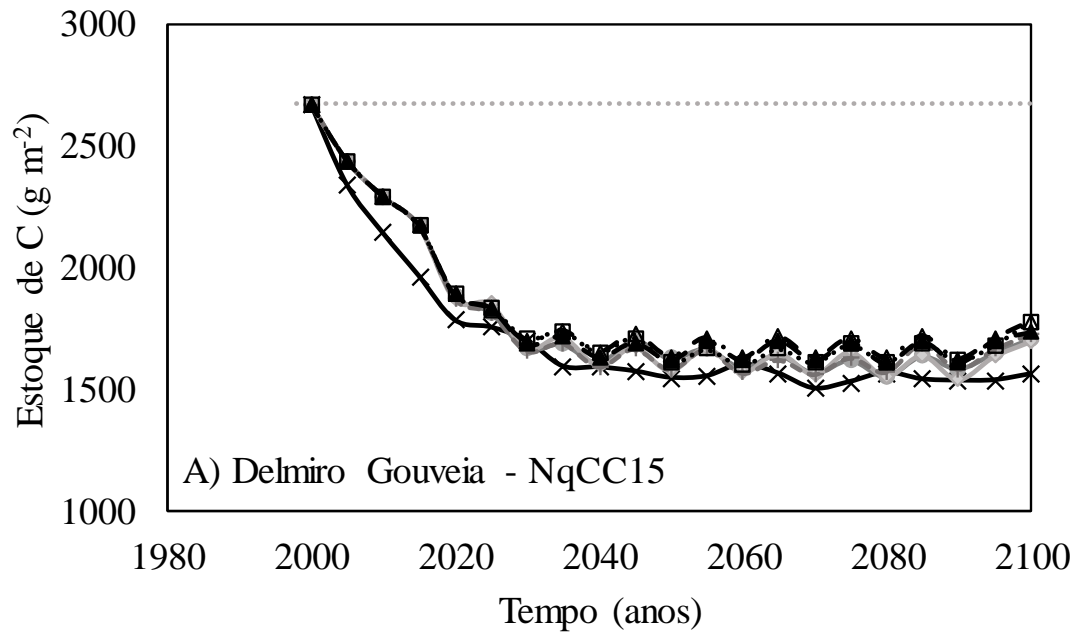
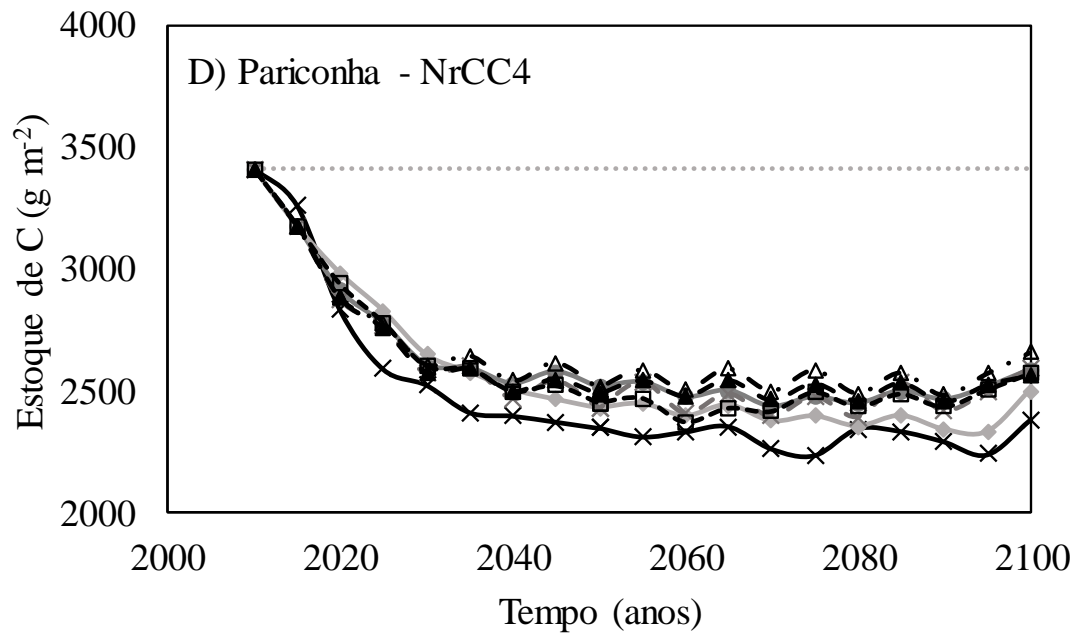
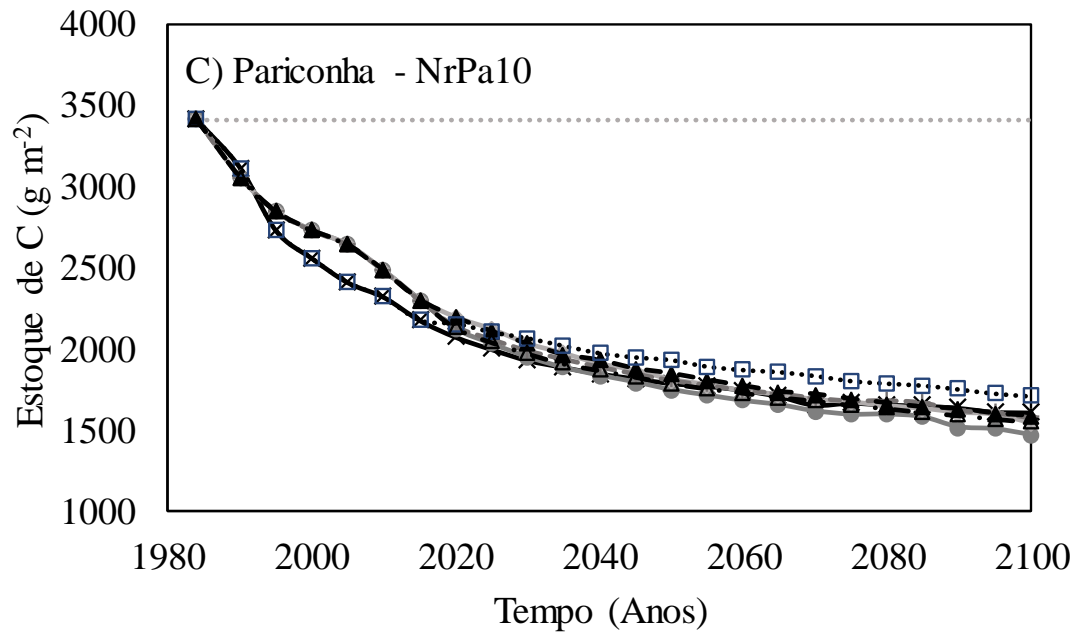


Figura 13. Estoque de carbono do solo ( $\text{g m}^{-2}$ ) em função de diferentes cenários climáticos futuros em regime de sequeiro, para as áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi.





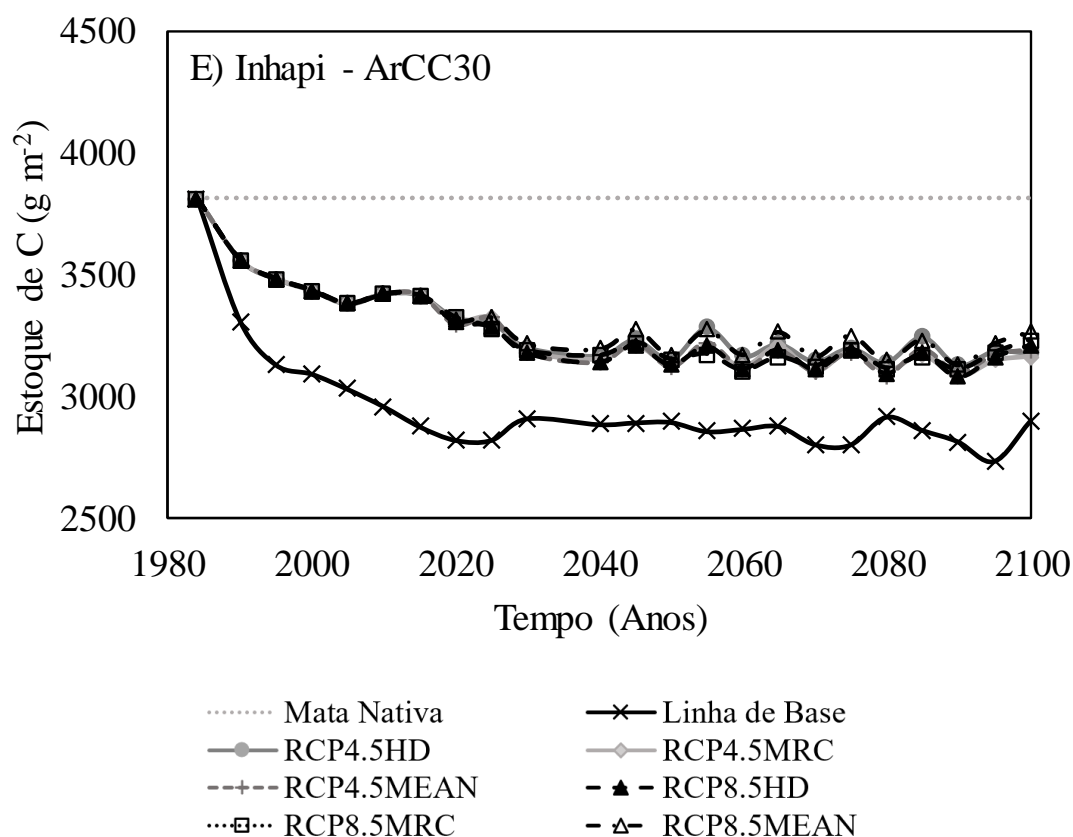


Figura 14. Estoque de carbono do solo ( $\text{g m}^{-2}$ ) em função de diferentes cenários climáticos futuros submetidos à irrigação, para as áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi.

Tabela 7. Carbono orgânico total (COT) no último ano de cultivo agrícola, em ambiente de sequeiro e irrigado nos diferentes cenários.

	Eta – HadGem		Eta – MIROC5		MÉDIA		
<b>Sequeiro</b>							
Delmiro Gouveia							
	Linha de base	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
NqCC15	1561,24	1387,19	1492,51	1524,60	1476,74	1501,06	1540,24
NqCC4	1544,81	1380,90	1484,67	1524,07	1474,62	1470,54	1513,40
Pariconha							
NrPa10	1612,42	1679,71	1680,78	1556,16	1587,94	1609,17	1616,37
NrCC4	2380,99	2230,89	2333,35	2320,37	2330,21	2388,40	2378,35
Inhapi							
ArCC30	2898,75	2790,99	2803,24	2917,14	2880,17	2849,05	2855,75
<b>Irrigado</b>							
Delmiro Gouveia							
	Linha de base	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
NqCC15	1561,24	1708,49	1734,86	1699,24	1780,13	1730,94	1778,86
NqCC4	1544,81	1732,33	1761,30	1717,61	1828,31	1755,05	1805,57
Pariconha							



NrPa10	1612,42	1470,27	1585,10	1542,22	1712,09	1582,45	1554,39
NrCC4	2380,99	2586,55	2562,81	2501,27	2570,76	2593,52	2656,78
Inhapi							
ArCC30	2898,75	3181,09	3212,57	3166,46	3231,98	3192,24	3267,64

Tabela 8. Perda de carbono do solo (%) nas áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, em diferentes cenários futuros e período histórico, para o ano de 2099, em ambiente de sequeiro e irrigado.

	NqCC15	NqCC4	NrPa10	NrCC4	ArCC30
<b>Sequeiro</b>					
Histórico	-41,60	-42,22	-52,74	-30,22	-24,01
RCP4.5HD	-48,11	-48,35	-50,77	-34,62	-26,83
RCP4.5MRC	-42,97	-42,99	-54,39	-31,99	-23,53
RCP4.5MEAN	-43,85	-44,99	-52,84	-30,00	-25,31
RCP8.5HD	-44,17	-44,46	-50,74	-31,61	-26,51
RCP8.5MRC	-44,76	-44,84	-53,46	-31,71	-24,50
RCP8.5MEAN	-42,39	-43,39	-52,63	-30,29	-25,14
<b>Irrigado</b>					
RCP4.5HD	-36,09	-35,20	-56,91	-24,19	-16,61
RCP4.5MRC	-36,44	-35,75	-54,80	-26,69	-16,99
RCP4.5MEAN	-35,25	-34,35	-53,62	-23,99	-16,32
RCP8.5HD	-35,11	-34,12	-53,54	-24,89	-15,78
RCP8.5MRC	-33,41	-31,61	-49,82	-24,66	-15,27
RCP8.5MEAN	-33,46	-32,46	-54,44	-22,13	-14,34

Um ponto importante no manejo de carbono do solo é identificar quando ocorre um novo estado de equilíbrio (quando o balanço de perdas e ganhos de carbono tornam-se iguais). Nas simulações com o CENTURY 4.5, nas regiões de estudo, em sua maioria, obtiveram o equilíbrio do COS, definido como *Steady-State* (Tabela 9). Esta estabilização ocorre principalmente devido ao tipo de solo em questão, com solo mais argiloso obtendo um menor tempo para atingir o *Steady-State*. A área ArCC30, com Argissolo vermelho amarelo alcança sua estabilização 34 anos após a implementação do cultivo de milho e feijão, ou seja, quatro anos após o início das simulações, em 2015. Pode-se observar ainda que áreas com aplicação de água via irrigação obtiveram menores períodos para alcançar o *Steady-State*, exceto para NrPa10. Outro fator preponderante nas simulações com o CENTURY4.5 foi o tipo de cultivo

utilizado. A área com pastagem continua com perdas de C ao longo do tempo, com equilíbrio próximo ao ano de 2099 (Figura 14c; Tabela 9). Nas demais áreas, o tempo de Steady-State variou em relação ao cenário histórico avaliado, mas estes não foram capazes de acrescentar COS acima do estoque da vegetação nativa. De acordo com Brandani et al. (2015), fatores como manejo conservacionista, adição de resíduos e adição de matéria orgânica podem aumentar os estoques de COS ao longo prazo.

Buscando ter informações sobre a diferença entre o COS nos difentes RCP's, com manejo de irrigação e o período histórico em sequeiro, o carbono da biomassa viva acima do solo foi avaliado (Tabela 10). Apesar de algumas áreas apresentarem maiores quantidade de COS ao final do ciclo, o AGLIVC foi menor na última safra simulada nos RCPs em relação ao período histórico. Uma possível explicação é a capacidade dos diferentes solos reterem a água de irrigação e da chuva na camada superficial do solo, principalmente em solos cultivados com pastagem, em que há uma forte correlação entre a retenção de água no solo e a matéria orgânica do solo, reduzindo o estresse hídrico, gerando solos mais ricos em componentes orgânicos (ANKEBAUER; LOHEIDE II, 2017). Outra explicação é que o ganho de carbono em algumas áreas está relacionado ao manejo de irrigação adotado e ao não revolvimento do solo, visto que neste estudo há pouco revolvimento (ou nenhum, como no caso da área com pastagem) do solo (LUGATO; BERTI, 2008; BORTOLON et al., 2011; ACAR; CELIK; GÜNAL, 2018; SARKER et al., 2018), levando-se em consideração também o efeito da decomposição pelos microorganismos e do sistema radicular das plantas, que facilitam a proteção e agregação do solo (CONRAD et al., 2018; LIEBIG et al., 2018).

Tabela 9. Tempo de estabilização de carbono (em anos) para as áreas de Delmiro Gouveia, Pariconha e Inhapi, em diferentes cenários futuros, em ambiente de sequeiro e irrigado.

	EqCC15	EqCC4	EpPa10	EpCC4	UICC30
<b>Sequeiro</b>					
Histórico	42	37	108	30	34
RCP4.5HD	83	83	108	42	34
RCP4.5MRC	77	65	111	44	34
RCP4.5MEAN	89	79	105	43	34
RCP8.5HD	88	76	107	57	34
RCP8.5MRC	74	65	106	44	34
RCP8.5MEAN	53	77	106	43	34
<b>Irrigado</b>					
RCP4.5HD	60	46	108	35	34
RCP4.5MRC	48	40	111	48	34
RCP4.5MEAN	40	36	105	30	34
RCP8.5HD	48	36	107	36	34
RCP8.5MRC	50	47	106	48	34
RCP8.5MEAN	40	38	106	30	34

Tabela 10. Carbono da biomassa superior ao solo (AGLIVC) no ano em que houve a última safra.

<b>Aglivc (g m<sup>-2</sup>)</b>							
	Eta – HadGem*		Eta – MIROC5*		MÉDIA*		
<b>Delmiro Gouveia</b>							
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	Sem irrigação
EqCC15	331,52	374,25	270,02	284,82	270,22	333,77	324,37
EqCC4	303,60	370,84	260,23	263,71	258,90	309,76	333,90
<b>Pariconha</b>							
EpPa10	137,34	136,24	99,15	116,42	102,23	136,53	51,77
EpCC4	258,47	341,62	199,68	251,61	249,70	287,67	287,93
<b>Inhapi</b>							
UICC30	273,63	372,31	236,82	343,43	254,44	318,75	311,08

\*valor médio de três safras no último ano em que houve cultivo agrícola.

#### 4. CONCLUSÕES

Os dados gerados pelos modelos Eta mostraram que o semiárido Alagoano pode ser afetado pelas mudanças climáticas;

O modelo CENTURY4.5 simulou com eficiência as diferentes lâminas de irrigação, gerando indicadores de manejo de água no solo e nos cultivos estudados. A irrigação diminuiu em até 40% a perda de carbono (ArCC30), comparado com Baseline;

O manejo hídrico foi fator preponderante no aumento do COT quando comparado com sistemas de cultivo sem irrigação. O modelo Eta MIROC5 (RCP8.5) proporcionou maiores estoques de COT;

O modelo CENTURY4.5 tem um grande potencial para simular os possíveis impactos das mudanças climáticas no estudo COS, porém, estudos semelhantes necessitam ser expandidos em outras localidades do semiárido do Brasil.

#### REFERÊNCIAS

ACAR, M., CELIK, I., GÜNAL, H. Effects of long-term tillage systems on aggregate-associated organic carbono in the eastern Mediterranean region of Turkey. **Eurasian J. Soil Sci.** v.7(1), p.51-58, 2018.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. **FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 26–40, 1998.

ALTHOFF, T.D., MENEZES, R.S.C., CARVALHO, A.L., PINTO, A.S., SANTIAGO, G.A.C.F., OMETTO, J.P.H. B., VON RANDOW, C., SAMPAIO, E.V.S.B. Climate change impacts on the sustainability of firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresina municipality, Northeast Brazil. **For. Ecology and Management.** v.360, p.367-375, 2016.

\_\_\_\_\_, MENEZES, R.S.C., PINTO, A.S., PAREYN, F.G.C., CARVALHO, A.L., MARTINS, J.C.R., CARVALHO, E.X., SILVA, A.S.A., DUTRA, E.D., SAMPAIO, E.V.S.B. Adaptation of the CENTURY model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. **Agriculture, Ecosystems and Environment.** v.254, p.26-24, 2018.

\_\_\_\_\_; SILVA, R. R.; MARTINS, J. C.; WANDERLEY, L. S. A.; SALES, A. T.; MENEZES, S. C. Simulation of aboveground biomass production under different rainfall

scenarios and soil types in the Caatinga biome, Brazil. **Revista Geama**. v.4(2), p. 13-18, 2018.

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

\_\_\_\_\_, LOPEZ, M.V., ARRUE, J.L., MORET, D., PAUSTIAN, K. Tillage and cropping effects on soil organic carbon in Mediterranean semiarid groecosystems: Testing the CENTURY model. **Agriculture, Ecosystems and Enviroment**. v.134, p.211-217, 2009.

ANKEBAUER, K. J.; LOHEIDE II, S. P. The effects of soil organic matter on soil water retention and plant water use in a meadow of the Sierra Nevada, CA. **Hydrological Processes**. v.31, p.891–901, 2017.

BANDARANAYAKE, W; QIAN, Y. L.; PARTON, W. J.; OJIMA, D. S.; FOLLETT, R. F. Estimation of Soil Organic Carbon Changes in Turfgrass Systems Using the CENTURY Model. **Agron. J**. v.95, p.558–563, 2003.

BRANDANI, C.B., ABBRUZZINI, T.F., WILLIAMS, S., EASTER, M., CERRI, C.E.P., PAUSTIAN, K. Simulation of management and soil interactions impacting SOC dynamics in sugarcane using the CENTURY model. **GCB Bioenergy**. gcbb.12175, 2014.

BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE. **Resolução nº 107**, 27 de julho de 2017. 2p. 2017a.

BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE. **Resolução nº 115**, 23 de novembro de 2017, 27 de julho de 2017. 2p. 2017b.

BORTOLON, E.S.O., MIELNIZUK, J., TORNQUIST, C.G., LOPES, F., BERGAMASCHI, H. Validation of the CENTURY model to estimate the impact of agriculture on soil organic carbon in Southern Brazil. **Geoderma**. v.167-168, p.156-166, 2011.

CARVALHO, A.L., MENEZES, R.S.C, NÓBREGA, R.S., PINTO, A.S., OMETTO, J.P.H.B., VON RANDOW, C., GIAROLLA, A. Impact of climate changes on potential sugarcane yield in Pernambuco, northeastern region of Brazil. **Renewable Energy**. v.78, p.26-34, 2015.

CAVALCANTI, E.P., SILVA, V.P.R., SOUZA, F.A.S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Rev. Bras. Eng. Agr. e Ambiental**. v.10, p.140-147, 2006.

CERRI, C.E.P., PAUSTIAN, K., BERNOUX, M., VICTORIA, R.L., MELILLO, J.M., CERRI, C.C. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the CENTURY model. **Global Change Biology**. v.10, p.815-832, 2004.

CHOU, S.C., LYRA, A., MOURÃO, C., DERECZYNSKI, C., PILOTTO, I., GOMES, J., BUSTAMANTE, J., TAVARES, P., SILVA, A., RODRIGUES, D., CAMPOS, D., CHAGAS, D., SUEIRO, G., SIQUEIRA, G., MARENGO, J. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of climate change**. v.3, p.512-525, 2014.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, v.63, p.61-82, 2008.

COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNEY, N.; HALLORAN, P.; HINTON, T.; HUGHES, J.; JONES, C. D.; JOSHI, M.; LIDDICOAT, S.; MARTIN, G.; O'CONNOR, F.; RAE, J.; SENIOR, C.; SITCH, S.; TOTTERDELL, I.; WILTSHIRE, A.; WOODWARD, S. Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2. **Geosci. Model Dev**. v.4, p.1051–1075, 2011.

CONRAD, K., DALAL, R.C., FUJINUMA, R., MENZIES, N.W. Soil organic carbon and nitrogen sequestration and turnover in aggregates under subtropical leucaena–grass pastures. **Soil Research**. v.56, p.632–647, 2018.

GHANNOUM, O.; VON CAEMMERER, S.; ZISKA, L. H.; CONROY, J. P.. The growth response of C4 plants to rising atmospheric CO<sub>2</sub> partial pressure: a reassessment. **Plant, Cell and Environment**. v.23, p.931–942, 2000.

GOIS, G., SOUZA, J.L., SILVA, P.R.T., OLIVEIRA JR, J.F. Caracterização da desertificação no estado de Alagoas utilizando variáveis climáticas. **Rev. Bras. de Meteorologia**. v.20(3), p.301-314, 2005.

HARGREAVES, G. H. Estimation of potential and crop evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v.17, n.4, p.701-704, 1974.

HEMPEL, S., FRIELER, K., WARSZAWSKI, L., SCHEWE, J., PIONTEK, F. A trend-preserving bias correction e the ISI-MIP approach, earth system. **Dyn Discuss**.4: 49e92, 2013.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2013**. The physical Science basis. Working group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2216p., 2013.

KARASU, A.; KUSCU, H.; ÖZ, M.; BAYRAM, G. The Effect of Different Irrigation Water Levels on Grain Yield, Yield Components and Some Quality Parameters of Silage Maize (*Zea mays indentata* Sturt.) in Marmara Region of Turkey. **Not Bot Horti Agrobo**. v.43(1), p.138-145, 2015.

LEAKEY, A. D. B. Rising atmospheric carbon dioxide concentration and the future of C4 crops for food and fuel. **Proc. R. Soc. B**. v.276, p.2333–2343, 2009.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. Modelo CENTURY de dinâmica da matéria orgânica do solo: Equações e pressupostos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.4, p.679-686, jul-ago, 2003.

LIEBIG, M.A., HENDRICKSON, J.R., FRANCO, J.G., ARCHER, D.W., NICHOLS, K., TANAKA, D.L. Near-Surface Soil Property Responses to Forage Production in a Semiarid Region. **Soil Science Society of America Journal**, v.82(1), p.223-230, 2018.

LINACRE, E. T. A simple formula for estimating evapotranspiration rates in various climates, using temperature data alone. **Agricultural Meteorology**, v.18, p.409-424, 1977.

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 and Environment**. v.128, p.97-103, 2008.

MEINSHAUSEN, M., SMITH, S.J., CALVIN, K., DANIEL, J.S., KAINUMA, M.L.T., LAMARQUE, J.F., MATSUMOTO, K., MONTZKA, S.A., RAPER, S.C.B., RIAHI, K., THOMSON, A., VELDERS, G.J.M., VAN VUUREN, D.P.P. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. **Climatic Change**. v.109, p.213-241, 2011.

MORIASI, D.N., ARNOLD, J.G., VAN LIEW, M.W., BINGNER, R.L., HAMEL, R.D., VEITH, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Amer. Soc. of Agric. and Bio. Eng**. v.50(3), p.885-900, 2007.

PARTON, W.J., SCURLOCK, J.M.O., OJIMA, D.S. ET AL. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. **Global Biogeochemical Cycles**. v.7, p.785-809, 1993.

SALEH, S.; LIU, G; LIU, M.; JI, Y.; HE, H.; GRUDA, N. Effect of Irrigation on Growth, Yield, and Chemical Composition of Two Green Bean Cultivars. **Horticulturae**. v.4(3), p.1-10, 2018.

SARKER, J.R., SINGH, B.P., WARWICK J. DOUGHERTY, W.J., FANG, Y., BADGERY, W., HOYLE, F.C., DALAL, R.C., COWIE, A.L. Impact of agricultural management practices on the nutrient supply potential of soil organic matter under long-term farming systems. **Soil & Tillage Research**. v.175, p.71-81, 2018.

SMITH, P., SMITH, J.U., POWLSON, D.S., MCGILL, W.B., ARAH, J.R.M., CHERTOV, O.G., COLEMAN, K., FRANKO, U., FROLKING, S., JENKINSON, D.S., JENSEN, L.S., KELLY, R.H., KLEIN-GUNNEWIEK, A.P.A. Comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. **Geoderma**. v.81, p.153-225, 1997.

SOBOKA, J.; BALKOVIČ, J.; LAPIN, M. A CENTURY 5 Model Using for Estimation of Soil Organic Matter Behaviour at Predicted Climate Change. **Soil & Water Res**. v. 2 (1), p. 25-34, 2007.

STEHFEST, E.; HEISTERMANN, M.; PRIESS, J. A.; OJIMA, D. S.; ALCAMO, J. Simulation of global crop production with the ecosystem model DayCent. **Ecological modelling**. v.209, p. 203–219, 2007.

VIEIRA, L. L. A.; BARROS, T. T.; PIMENTEL, I. M. C.; FAIÃO, D.; PEDROSA, V. A. A futura oferta de água pelo canal do sertão alagoano. In.: IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. p. 1-18, 2008.

WATANABE, M.; SUZUKI, T.; O'ISHI, R.; KOMURO, Y.; WATANABE, S.; EMORI, S.; TAKEMURA, T.; CHIKIRA, M.; OGURA, T.; SEKIGUCHI, M.; TAKATA, K.; YAMAZAKI, D.; YOKOHATA, T.; NOZAWA, T.; HASUMI, H.; TATEBE, H.; KIMOTO, M. Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. **Journal of Climate**. v.23, p.6312-6335, 2010.

ZHAO, X; HU, K; STAHR, K. Simulation of SOC content and storage under different irrigation, fertilization and tillage conditions using EPIC model in the North China Plain. **Soil & Tillage Research**. v.130, p.128–135, 2013.



## ANEXOS

Os anexos estão disponíveis em:

[https://1drv.ms/w/s!Ap9WVvy2ySVNxgalRdM2P9tRx\\_m2G4g](https://1drv.ms/w/s!Ap9WVvy2ySVNxgalRdM2P9tRx_m2G4g)