



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE - CCBS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA - DECO

LORENA ALVES MATOS

**DINÂMICA DOS ESTOQUES DE CARBONO DO SOLO NO CULTIVO DE CANA
DE AÇÚCAR EM REGIÃO DE MATA ATLÂNTICA DE SERGIPE**

SÃO CRISTÓVÃO

2018.1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

LORENA ALVES MATOS

**DINÂMICA DOS ESTOQUES DE CARBONO DO SOLO NO CULTIVO DE CANA
DE AÇÚCAR EM REGIÃO DE MATA ATLÂNTICA DE SERGIPE**

Monografia apresentada à
Universidade Federal de Sergipe,
como parte das Exigências para
conclusão do Curso de Graduação em
Ecologia.

Orientador

Prof. Dr. Alexandre de Siqueira Pinto

SÃO CRISTÓVÃO-SE

2018.1

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Alexandre de Siqueira Pinto por ter me aceitado como sua orientanda, por toda a sua disponibilidade, atenção e paciência, por todo conhecimento adquirido durante esta caminhada, além dos conselhos que levarei para toda a vida, te admiro como pessoa e como professor. Um agradecimento carinhoso aos meus colegas do grupo de Modelagem, em especial a Fernanda Argolo que me auxiliou e incentivou em todos os momentos desta trajetória, por todo carinho e paciência, muito obrigada.

Agradeço aos meus amigos de turma e de curso, em especial a Fernanda, Marcela, Laíze e Lucas, pela parceria em Ecologia de campo. A Léo, Rodrigo, Édipo, Italy, Alice, Weverton, Galdênia e toda a equipe do R2, cada um de vocês foi peça chave em algum momento de minha vida acadêmica me ajudando a vencer desafios ao longo do caminho, sempre com muita alegria. Todos vocês são maravilhosos, vou guardar eternamente cada momento vivido juntos.

A minha família e amigos pelo apoio e compreensão em momentos difíceis desta jornada, quando precisei de um conselho, incentivos e forças para seguir em frente. Em especial aos meus pais Edileuza e José, por todo carinho e amor. Ao meu irmão Daniel, por me ler sem que eu precisasse sequer expressar alguma palavra, por todo companheirismo e cuidado comigo, obrigado. Ao Vagner por estar ao meu lado mesmo quando tudo parecia ruir, buscando me entender e me levantar. As minhas amigas Liliane e Viviane, por me ouvir, aconselhar e por todos os momentos felizes. Muito obrigada a todos!

.

RESUMO

No Brasil as maiores emissões de C estão ligadas as práticas agrícolas e o uso da terra. Neste contexto, os modelos de simulação da dinâmica de carbono (C) auxiliam na compreensão dos efeitos do uso da terra sobre a emissão de CO₂ e a distribuição de C nos compartimentos do solo. Assim sendo, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes coberturas vegetais nos estoques de C do solo e também simular diferentes cenários de mitigação da emissão de C para a atmosfera através do modelo Century. A metodologia aplicada em campo consistiu na coleta de solo nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, em cada camada foram coletadas amostras para a determinação da densidade do solo. Os estoques de C no solo foram estimados sob duas diferentes coberturas da terra, mata atlântica no município de São Cristóvão/SE e cana de açúcar no município de Laranjeiras/SE. Foi feita a calibração do modelo Century para Mata Atlântica, baseados nas variáveis climáticas e de características do solo. Após a calibração o modelo foi utilizado para simular cenários de cultivo de cana-de-açúcar para a região de Mata Atlântica de Sergipe. As análises estatísticas utilizadas foram o teste t para comparação entre as médias dos tratamentos, regressão linear (R^2) para fazer a relação entre os valores observados e simulados de estoques de C e COE para avaliar o desempenho do modelo Century. Foram encontrados valores significativamente maiores de densidade do solo na área de cana em comparação com a mata atlântica, que podem estar relacionados às práticas do cultivo da cana de açúcar. As análises dos de teor e estoque de C do solo entre as áreas de tratamento (mata x cana) não apresentaram diferença significativa em nenhuma das camadas amostradas, com exceção do teor de C na camada 0-10 cm, o qual foi significativamente maior na mata. O coeficiente de determinação foi $R^2=0,69$ e o Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe foi $COE=0,49$ mostrando que o modelo apresentou desempenho aceitável. O manejo alternativo da cana de açúcar sem queima da palhada na fase da colheita, apontou maiores estoques de carbono no solo. O acúmulo de carbono foi de $6,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ por conta da deposição e decomposição da palhada. A simulação demonstrou resultados satisfatórios em mensurar os estoques de carbono do solo sob os diferentes manejos, corroborando com os valores observados em campo.

Palavras-chave: gases do efeito estufa, modelagem ambiental, uso da terra, práticas de manejo.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Gases do Efeito Estufa e Aquecimento Global.....	3
2.2 Mitigação das emissões de GEE no cultivo da cana-de-açúcar.....	3
2.3 Modelo Century.....	4
3. METODOLOGIA.....	5
3.1 Área de Estudo.....	5
3.2 Amostragem do solo.....	5
3.3 Preparo das amostras de solo.....	5
3.4 Análises das amostras de solo.....	6
3.5 Modelagem da dinâmica de carbono.....	7
3.5.1 Execução do equilíbrio.....	7
3.5.2 Parametrização do modelo Century 4.5.....	7
3.5.3 Calibração do modelo Century 4.5.....	8
3.5.4 Validação do Modelo Century 4.5.....	9
3.6. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
4.1 Caracterização dos estoques de C e cobertura vegetal.....	11
4.2 Modelagem do uso da terra na Mata Atlântica de Sergipe.....	13
5. CONCLUSÕES.....	17
6. REFERÊNCIAS.....	18

1. INTRODUÇÃO

O efeito estufa é resultante da presença de alguns gases, os quais têm a propriedade de reter a radiação infravermelho (calor), reduzindo a quantidade de energia emitida pela superfície do planeta de volta para o espaço, resultando em aumento da temperatura da troposfera (Oliveira 2008). Estes gases são conhecidos como “gases do efeito estufa (GEE), entre eles, CH₄ (metano) N₂O (óxido nitroso) e vapor d’água. Entretanto, o gás que mais contribui para efeito estufa é o gás carbônico (CO₂) devido a sua concentração relativa na atmosfera ser maior em relação aos demais GEE’s além de ser o gás que, devido às atividades antrópicas, vem sendo emitido em grandes quantidades (Carvalho 2005).

A crescente mundial nas emissões dos gases do efeito estufa, decorrentes das atividades humanas (por exemplo, da extração e uso de combustíveis fósseis, desmatamento, queimada e mudanças no uso da terra) têm aumentado a temperatura média global, fenômeno conhecido como aquecimento global, sendo este, gerador de diversas mudanças no clima (Sampaio et al. 2008).

Diante da necessidade de desenvolver políticas internacionais sobre as mudanças do clima, na década de 90, foi adotada a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima com o objetivo de estabilizar as concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera (Miguez 2001). As discussões sobre as mudanças climáticas continuaram através de reuniões de Conferências das Partes (COPs) convocadas anualmente com a participação dos países signatários da Convenção Quadro. Um novo acordo global foi aprovado na COP 21, o Acordo de Paris, cujo objetivo é reduzir as emissões de gases de efeito estufa para todos os países desenvolvidos em desenvolvimento (MMA 2017).

De modo geral, a produção de energia no mundo é uma das principais atividades humanas responsáveis pela transferência do carbono estocado nos reservatórios fósseis para atmosfera (Ometto & Martinelli, 2008). Porém, o Brasil apresenta um padrão de emissões diferente do panorama global, onde as práticas agrícolas e mudanças no uso da terra em decorrência do desmatamento são as maiores responsáveis pelas emissões dos gases de efeito estufa. Cerca de 65% das emissões de CO₂ são resultantes da mudança no uso da terra e agropecuária, seguido do setor de energia que emite 26 %, e os outros 9% são provenientes de processos industriais e resíduos (SEEG 2016).

Nos ecossistemas terrestres, o solo é o compartimento com maior reserva de carbono. A matéria orgânica do solo é responsável pela ciclagem e retenção de nutrientes, agregação do solo e fonte de energia para a atividade biológica do solo (Roscoe et al.2006). A agricultura convencional, fundamentada no uso de arados e grades para o revolvimento e preparação do solo, colabora com as perdas de carbono, o qual acaba sendo transferido para a atmosfera (Carvalho 2005). Para evitar essas perdas, é necessário utilizar o manejo adequado do solo, de modo a estocar carbono, ocasionando um aumento nos estoques de C no solo, reduzindo a emissão dos gases do efeito estufa, amenizando as influências negativas do aquecimento global (Carvalho et al. 2010).

A Mata Atlântica está entre os biomas brasileiros mais afetados pela mudança no uso da terra, sendo que a produção de cana de açúcar um dos principais usos da terra neste bioma (Cerri et al. 2007). Segundo a União da Indústria de Cana de Açúcar (Unica 2008), em seu levantamento da safra de 2007/08, o cultivo de cana de açúcar no Brasil é destinado para a produção de etanol (54%), açúcar (44%) e bioeletricidade (2%).

As atividades relacionadas ao cultivo da cana de açúcar geram inúmeros impactos ambientais. Na fase de implantação da cultura, grandes áreas são desmatadas, o que ocasiona em perda de CO₂ para atmosfera. Durante o plantio, o revolvimento do solo quebra os agregados, modificando a estrutura do solo. Devido ao uso de máquinas pesadas durante a fase de plantio, na manutenção da cultura e na colheita, ocorre o processo de compactação e desgaste do solo (Rodrigues 2010). O uso da queimada na colheita da cana de açúcar ainda é feito em muitas partes do país, com o intuito de facilitar o corte e limpeza do terreno, porém traz impactos negativos para no teor e estoques de carbono, pois a utilização dessa técnica reduz cerca de 80% a palhada da cana, diminuindo a disponibilidade de matéria orgânica no solo (Rodrigues 2010, Luca et al. 2008), além de liberar para a atmosfera grandes concentrações de GEE, como dióxido de carbono, óxido nitroso e metano, aumentando o efeito estufa que é um dos principais problemas ambientais da atualidade (Roquim 2010, Campos 2003).

Nesse contexto, os modelos de simulação auxiliam no entendimento dos efeitos do uso da terra na dinâmica da matéria orgânica do solo, bem como as alterações dentro seus compartimentos. Avaliando os impactos dos sistemas de manejo sobre os estoques de C e N a longo prazo, testando cenários específicos e aperfeiçoando estratégias mitigadoras dos efeitos negativos dessas mudanças (Leite & Mendonça 2003). Entre os modelos de simulação da matéria orgânica do solo, o Century apresentou significativo potencial para simular as

dinâmicas de C e N em solos de ambientes tropicais (Leite et al. 2004, Vilela & Mendonça 2013).

Diante disto, o presente trabalho tem por objetivo apresentar a dinâmica de carbono no solo, por meio de simulações no Modelo Century, considerando cenários que incluem a substituição da Mata Atlântica por cultivo de cana de açúcar, com queima e sem queima da palhada na fase de colheita.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gases do Efeito Estufa e Aquecimento Global

O efeito estufa é um fenômeno natural resultante da existência de alguns gases na atmosfera, capazes de reter o calor emitido pela superfície terrestre. Por conta desses gases a Terra está em equilíbrio térmico, enviando para o espaço a mesma quantidade de energia que recebe do Sol, mantendo a temperatura média do planeta em 15°C (Ometto & Martinelli 2008).

Esse fenômeno reduz a perda de radiação infravermelha, pois o gás carbônico (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozônio (O₃) e o vapor d'água, tem a capacidade de vibrar e rotacionar suas moléculas nas mesmas bandas de frequência que a radiação infravermelha, sendo assim possível absorvê-la. O gás carbônico, o metano e o óxido nitroso são identificados como gases de efeito estufa de longa vida, por permanecer durante algumas décadas na atmosfera, influenciando diretamente no clima (Oliveira 2008). A constante elevação nas emissões dos gases de efeito estufa, provenientes de ações antrópicas, ocasionou um aumento abrupto na temperatura do planeta nas últimas décadas, indicando forte relação desse aumento com o aquecimento global, que é o responsável por diversas mudanças climáticas atuais.

2.2 Mitigação das emissões de GEE no cultivo da cana-de-açúcar

Para compreender melhor como utilizar estratégias do cultivo de cana-de-açúcar para mitigação dos GEE, a avaliação da dinâmica de carbono no solo é fundamental para entender como os estoques de carbono do solo funcionam e qual a influência do manejo sobre eles (Guimarães et al. 2002). Em virtude disto, Cerri et al. (2007) apresenta alguns aspectos que demonstram o potencial do ciclo de produção da cana, e uso dos seus produtos, para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, assim como no sequestro de carbono no solo. Revelando ações mitigadoras tais como, o uso do etanol em substituição a gasolina, e do bagaço da cana

como combustível nas caldeiras das fábricas, gerando energia elétrica, além da conversão da cana queimada para a colheita mecanizada (Macedo 1998, Macedo 2001, Cerri et al. 2007).

As tecnologias necessárias para a realização dessas ações estão em grande parte desenvolvidas, podendo ser aproveitadas pelo setor industrial a curto e médio prazo (Macedo 2001). De modo a oferecer o potencial para mitigação das mudanças climáticas, através da oferta de uma fonte alternativa de energia em substituição ao uso dos combustíveis fósseis sem a necessidade de subsídios excessivos ou infra-estrutura dispendiosa para o desenvolvimento (Cerri et al., 2007).

2.3 Modelo Century

Inicialmente o modelo Century (Parton et al.1987, Parton et al. 1988), foi desenvolvido para simular a dinâmica de carbono e nutrientes do solo em pastagens de ambientes temperados, com o êxito na realização desses estudos, e após alguns ajustes, começou a ser utilizado em ambientes tropicais (Leite et al. 2004, Bortolon et al. 2012, Wendling et al. 2014), tendo demonstrado boa capacidade para simular os efeitos de diferentes usos e manejos, sobre a dinâmica do carbono no solo.

O modelo Century consiste de vários submodelos: o submodelo de dinâmica de MO, o submodelo de água e o submodelo de produção vegetal. Os submodelos de água e de produção vegetal calculam as variáveis ambientais tais como a qualidade e quantidade dos resíduos vegetais, temperatura e umidade do solo, além da absorção de nutrientes feita pelas plantas, que são fundamentais para o submodelo de dinâmica da matéria orgânica. O modelo trabalha numa escala de metro quadrado e simula a camada superficial do solo (0- 20cm) usando uma etapa de tempo mensal. As variáveis de entrada requeridas pelo modelo são específicas de cada local, sendo estas a média da temperatura e precipitação mensal, textura do solo (areia, argila e silte), densidade do solo e os teores de C e N em diferentes compartimentos do solo (Leite & Mendonça 2003, Vilela & Mendonça 2013).

O submodelo de modelo de matéria orgânica do solo é baseado em três compartimentos (ativo, lento e passivo), separado pelo tempo de reciclagem e diferentes taxas de decomposição. Sendo o compartimento ativo constituído pela biomassa microbiana do solo, tendo fácil decomposição e apresentando tempo curto de reciclagem dos nutrientes, o compartimento lento é derivado de material resistente com tempo intermediário de reciclagem e o passivo que é um material muito resistente à decomposição, com longo tempo de reciclagem (Leite & Mendonça 2003).

3. METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A área de estudo está localizada no município de São Cristóvão/SE nas coordenadas de latitude 10°92'56" S e longitude 37° 19'91" W, com precipitação média anual de 1.779,8mm e temperatura média anual de 25,2°C, onde foram feitas as coletas de campo em mata atlântica próxima ao Instituto Federal de Sergipe. As coletas de campo referentes a cana de açúcar foram feitas no município de Laranjeiras/SE nas coordenadas de latitude 10°82'71" S e longitude 37° 23'59" W, precipitação média anual de 1.489,8mm e temperatura média anual de 25,0°C. O município de Laranjeiras está localizado na mesorregião Leste Sergipano, microrregião do Baixo Cotinguiba e geologicamente está inserido na bacia do Rio Sergipe. A cobertura da vegetação atual é predominante de áreas cultivadas, com pequenos fragmentos remanescentes de Mata Atlântica. (EMDAGRO 2008).

3.2 Amostragem do solo

Nos pontos determinados para a coleta do solo foram feitas trincheiras de 0,7 x 0,7m, as coletas foram separadas por camadas nas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm. Antes da coleta do solo em cada trincheira, foi determinada a densidade do solo de cada camada amostrada com três repetições, utilizando-se o método do anel volumétrico descrito em EMBRAPA (1997). Em cada camada coletou-se três amostras indeformadas para a determinação da densidade do solo. Para a retirada das amostras indeformadas foram utilizados anéis volumétricos cilíndricos de 08 cm de comprimento por 2,55 cm de diâmetro. Após as coletas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e encaminhadas para laboratório.

3.3 Preparo das amostras de solo

Após chegadas do campo, as amostras de solo indeformadas foram transferidas para as latinhas (pesa filtro), previamente taradas e levadas para a estufa de ventilação forçada a 105°C por 72 horas. Depois de retiradas da estufa as latinhas foram colocadas em dessecadores para o total resfriamento e em seguida foram pesadas em balança analítica de precisão para obtenção da massa seca de solo.

A densidade do solo foi determinada pela equação

$$D_s = m / V$$

Onde: D_s é a densidade solo (g.cm^{-3}), m é a massa do solo seco a 105°C por 72 horas (g) e V é o volume do cilindro utilizado para obtenção das amostras indeformadas de solo (cm^3).

3.4 Análises das amostras de solo

Os estoques totais de COS (Mg ha^{-1}) para cada profundidade amostrada foram calculados utilizando-se a massa de solo equivalente ajustado a espessura do solo para corrigir erros que poderiam ser introduzidos em virtude da variação na densidade do solo (D_s). Desta forma, os estoques totais de COS foram calculados pela equação (1).

$$(1) \text{ Estoque COS (Mg ha}^{-1}\text{)} = C_{\text{conc.}} * D_s * E * 10.000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} * 0,001 \text{ Mg kg}^{-1} * F_c$$

onde,

$C_{\text{conc.}}$ = concentração de C (kg Mg^{-1}); D_s = densidade do solo (Mg m^{-3}); E = espessura da camada; F_c = fator de correção $(1 - (\text{cascalhos \%} + \text{pedras \%}) / 100)$.

A massa de solo foi calculada utilizando-se a equação (2) e a espessura das camadas de solo foram ajustadas usando a equação (3).

$$(2) M_{\text{solo}} = D_s * E * 10.000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$$

onde,

M_{solo} = massa de solo por unidade de área (Mg ha^{-1})

$$(3) E_{\text{ad}} = (M_{\text{solo, equiv.}} - M_{\text{solo, camada}}) * 0.0001 \text{ ha m}^{-2} / D_s \text{ subsuperficial}$$

onde,

E_{ad} = Espessura adicional da camada sub superficial necessária para obter-se a massa de solo equivalente (m); $M_{\text{solo, equiv.}}$ = massa de solo equivalente; $M_{\text{solo, camada}}$ = massa da camada de solo mais pesada até 1 m de profundidade (Mg ha^{-1}); $D_s \text{ subsuperficial}$ = densidade da camada subsuperficial do solo (Mg m^{-3}).

3.5 Modelagem da dinâmica de carbono

A fase inicial do trabalho constitui no levantamento bibliográfico de informações básicas e específicas, necessárias para entender os processos ocorridos nos compartimentos de carbono no solo, bem como os fluxos da matéria orgânica em solos de Mata Atlântica. Os dados apanhados nesses estudos foram organizados em um banco de dados, contendo informações sobre os autores, localidade, pluviosidade, temperatura, textura do solo, produção de biomassa e estoque de carbono de cada área que foi utilizada como referência para a calibração do modelo Century.

Esses conjuntos de dados foram utilizados para compor os submodelos de água e produção vegetal do Modelo Century, responsáveis por calcular as variáveis ambientais essenciais para o submodelo de dinâmica do solo (Leite & Mendonça, 2003).

3.5.1 Execução do equilíbrio

Para a realização deste trabalho foi avaliado a capacidade de previsão do modelo Century, na estabilização da dinâmica do carbono nos compartimentos de solo e da parte área da vegetação nativa. Diante disto, foi realizada uma simulação de equilíbrio por 10000 anos para um fragmento de Mata Atlântica, em Itambé – PE (Martins 2015). Para calibrar o modelo para simulação do equilíbrio foi utilizado o estoque de carbono do solo, e na parte de produtividade apenas a biomassa foi comparada.

3.5.2 Parametrização do modelo Century 4.5

As variáveis climáticas utilizadas para inicializar o modelo Century foram obtidas da base de dados climáticos Climatempo.com.br, que apresentou um coeficiente de eficiência mais aceitável com relação a base de dados climate-data.org. A base Climatempo traz uma média histórica de 30 anos para cada localidade, com dados de precipitação pluviométrica mensal e as médias de temperatura máxima e mínima do ar.

Dados de características físicas e químicas do solo na camada de 0-20 cm, como o carbono total, textura (teores de areia, argila, silte), densidade e pH, necessários para inicializar o modelo, foram obtidos para cada uma das 10 áreas de referência utilizadas para calibrar o modelo para Mata Atlântica.

3.5.3 Calibração do modelo Century 4.5

A calibração do modelo consistiu no ajuste de parâmetros necessários para simulação da mata nativa, fazendo um comparativo entre os valores simulados e os valores reais obtidos em campo, presentes na literatura. Os parâmetros do modelo Century já haviam sido pré-ajustados para a região de Zona da Mata do Nordeste (Pernambuco) (Martins 2015), a partir destes pré-ajustes, foram feitos novos ajustes no arquivo TREE.100 do modelo referente ao tipo de floresta (Tabela 1). O modelo de produção vegetal divide a árvore em diversos compartimentos, raízes finas, tronco, galhos, raízes grossas e folhas com alocação de carbono para cada parte da planta. Para fazer a representação da mata para regiões tropicais, o conjunto de arquivos do modelo Century utilizados foi o TROPEG.

Tabela 1. Parâmetros do arquivo TREE.100 modificados para reproduzir a vegetação de Mata Atlântica no município de São Cristóvão, em Sergipe, no ano de 2018.

Parâmetros	Valores Originais	Valores Modificados
DECID ¹	2	0
PRDX (2) ²	0,37	0,22
FCFRAC (1,1) ³	0,3	0,32
FCFRAC (2,1) ⁴	0,25	0,21
FCFRAC (5,1) ⁵	0,08	0,01
KLAI ⁶	800	2000
MAXLAI ⁷	7,8	5

¹ Tipo de floresta – 0 floresta sempre verde; 1 floresta decídua; 2 floresta seca decídua.

² Produção primária bruta da floresta (g de biomassa m⁻² mês⁻¹).

³ Fração de alocação de carbono da nova produção de folhas para florestas juvenis.

⁴ Fração da alocação de carbono da nova produção de raízes finas para florestas juvenis.

⁵ Fração da alocação de carbono da nova produção de raízes grossas para florestas juvenis.

⁶ Massa de madeira (gC/m²) atingida quando metade da área foliar máxima teórica é alcançada.

⁷ Índice de área foliar máximo teórico alcançado em uma floresta madura.

De acordo com as primeiras análises observou-se a necessidade de fazer alguns ajustes na distribuição de carbono na planta para que as variáveis de resposta do modelo fossem mais próximas dos valores que são encontrados em campo (Tabela 2). Os demais arquivos não modificados continuaram com os valores originais do modelo.

Tabela 2. Parâmetros de saída do modelo ajustados com a distribuição de carbono na planta e estoque de carbono do solo, referentes ao município de São Cristóvão-SE, 2018.

Parâmetros	Valores Observados (Mg C ha ⁻¹)	Valores Simulados (Mg C ha ⁻¹)	Erro (%)
CROOTC ¹	20,3	23,4	15,1
FBRCHC ²	10,8	12,9	20,1
FROOTC ³	3,1	5,7	82,9
RLWODC ⁴	81,4	86,3	6,0
RLEAVC ⁵	2,4	2,2	-10,4
SOMSC ⁶	62,4	52,2	19,0

¹ Carbono no componente de raiz grossa do sistema florestal.

² Carbono nos galhos do sistema florestal.

³ Carbono no componente de raiz fina do sistema florestal.

⁴ Carbono no tronco do sistema florestal.

⁵ Carbono nas folhas do sistema florestal.

⁶ Carbono orgânico total do solo.

3.5.4 Validação do Modelo Century 4.5

A validação do modelo foi feita de forma local para testar sua eficácia em simular cenários para o estado de Sergipe, usando banco de dados independentes do banco de dados usado para calibração do modelo. Os dados para validar a mata nativa foram obtidos da Rede de C do NE em experimento de campo realizado no município de São Cristóvão, região de Mata Atlântica de Sergipe. Dados utilizados para validar o modelo quanto ao uso da terra, através do cultivo de cana de açúcar foram obtidos de experimento de campo da Rede de Carbono do Nordeste, no município de Laranjeiras/SE, sendo os parâmetros de entradas específicos para modelagem da cana de açúcar, extraídos do trabalho de Galdos (2007).

A partir desses dados independentes de campo foram criados cenários para simulação no modelo, o primeiro referente a mudança no uso da terra, demonstrando o impacto nos estoques de carbono do solo com a retirada da mata nativa para o plantio de cana de açúcar. O segundo cenário foi feito para simular a diferença nos estoques de carbono do solo entre as práticas de manejo referente ao plantio de cana de açúcar, com e sem queima da palhada no momento da colheita.

A simulação do cultivo de cana-de-açúcar foi feita por 30 anos, sendo cada ciclo de cana de 5 anos. No primeiro ano do ciclo, o plantio da cana (cana planta) foi realizado em julho e

colheita em junho do ano seguinte. Nos demais anos do ciclo (cana soca) a colheita foi realizada em junho de cada ano até completar 5 anos, com revolvimento do solo acontecendo apenas no primeiro ano de cada ciclo, pois nos anos seguintes do ciclo colhe-se a rebrota da cana.

Os valores utilizados como entrada para a calibração do Modelo Century tiveram intuito de criar uma condição ambiental específica, para aplicação dos cenários simulados. Para uma avaliação a longo prazo, do tipo de manejo nos estoques de carbono em cultivo de cana de açúcar, foram simulados dois cenários de produção. O esquema proposto para a construção dos cenários está de acordo com as técnicas utilizadas atualmente para a colheita de cana no Brasil. Sendo estes cenários definidos como: (a) colheita de cana com queima da palhada; (b) colheita mecanizada da cana sem queima da palhada.

3.6. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A comparação entre as médias de textura, densidade, pH, teor de C e estoque de C do solo entre os tratamentos (Mata Nativa x Cana) e entre profundidades (0-10 cm, 10-20 cm) dentro de cada tratamento foi realizada através de teste t. Antes da realização dos testes foi avaliada a normalidade dos dados através do teste de Shapiro-Wilks. Os testes de comparação de médias e normalidade foram realizados com o programa PAST, ao nível de significância de 5%.

Para avaliação da performance do modelo Century em simular os estoques de C do solo foram utilizados os testes de regressão linear (R^2) para escolher a melhor base de dados a ser utilizada para a calibração do modelo, bem como o Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (COE), calculado por meio da equação:

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Em - Es)^2}{\sum_{i=1}^n (Em - \overline{Es})^2}$$

em que Em é o evento observado; Es , o evento simulado pelo modelo; \overline{Es} , a média do evento no período de simulação; e n , o número de eventos.

Este coeficiente varia de 0 a 1, sendo que valores abaixo de 0,35 informa que a performance do modelo é “inaceitável”, valores entre 0,36 e 0,75 a performance pode ser considerada “aceitável” e acima deste valor a performance é considerada adequada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos estoques de C e cobertura vegetal

Foram encontrados valores significativamente maiores de densidade do solo na área de cana ($1,42 \text{ g cm}^{-3}$) em comparação com a mata nativa ($1,09 \text{ g cm}^{-3}$) (Tabela 3). Esse aumento pode estar relacionado com as práticas de cultivo da cana, gradagem, aração e o tráfego de máquinas, pois interfere na estrutura do solo, aumentando a densidade e diminuindo a porosidade (Souza et al. 2012, Barros et al 2013). Entretanto, o manejo não promoveu diferenças no pH do solo, uma vez que não houve diferença significativa, sendo um valor de 5,10 na mata nativa e 5,07 no cultivo de cana (Tabela 3). A classificação de ambos os solos foi argissolo, sendo está utilizada como critério para as comparações entre as duas áreas.

Ao analisar os valores de teor e estoque de carbono do solo entre as áreas de tratamento (mata x cana) na camada de 0-20 cm do solo notou-se uma tendência para diminuição dos mesmos na área sob cultivo de cana de açúcar ($1,0\%$ e $28,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente) em comparação com a mata nativa ($1,5\%$ e $32,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente) (Tabela 3). A diferença dos valores entre as áreas avaliadas, entretanto, não foi significativa, apesar de alguns autores demonstrarem que existe perda da matéria orgânica do solo e declínio no teor e estoques de carbono do solo logo nos primeiros anos após a conversão da floresta em cultivo de cana de açúcar (Silveira et al. 2000, Dominy et al. 2002). Assim como Silva et al. (2007), que em seu estudo encontrou uma diminuição significativa no teor de matéria orgânica e estoque de C, além de uma redução da estabilidade dos agregados logo após 2 anos de cultivo da cana de açúcar, o que deixou o solo mais suscetível a compactação. A grande variação nos valores de teor e estoque de C do solo entre as réplicas, e o baixo número de amostras por tratamento pode ser o motivo de não ter sido observado diferenças significativas entre as áreas estudadas.

Baseando-se em extensa revisão de experimentos de campo, Davidson & Ackerman, 1993 concluíram que cerca de 30% do carbono do solo é perdido após cultivo, tendo em vista que o cultivo de solos antes não cultivados, resulta na liberação de carbono do solo para atmosfera, podendo afetar tanto a fertilidade do solo quanto a carga de CO_2 atmosférico. Esta redução nos estoques de carbono no solo provavelmente ocorre, pois a fração da matéria orgânica mais fácil de metabolizar é

perdida com a conversão de um ambiente nativo para um sistema cultivável (Galdos 2007).

A diferença significativa encontrada no teor de C do solo na camada 0-10 cm entre os tratamentos analisados (mata e cana) pode ser explicada pelo revolvimento do solo que acontece na área de cana, expondo a matéria orgânica deixando-a disponível para os microrganismos decompositores do solo favorecendo a oxidação e decomposição da mesma (Goés et al. 2005), entretanto os valores de teor na camada mais profunda (10-20cm) e os valores de estoque de C entre as áreas nas diferentes camadas não apresentaram diferença significativa, o que pode indicar a necessidade de um maior esforço amostral para se verificar corretamente o efeito do cultivo de cana-de-açúcar.

Os valores de estoque de C do solo na camada 0 – 20 cm em área nativa verificados no presente estudo são intermediários em comparação com outros trabalhos realizados em Zona da Mata Nordestina. Carvalho (2014) encontrou estoque de 52,3Mg ha⁻¹ no município de Itambé-PE, enquanto Barros et al. (2013) encontraram 21,0Mg ha⁻¹ para área de mata no município de Capim-PB. Em relação aos valores de estoque de C no solo em cana, sob efeito da queima na colheita, o valor encontrado no presente trabalho também foi intermediário em comparação com áreas cultivadas no sudeste do país. Canellas et al. (2007) encontraram 36 Mg ha⁻¹ em Campos dos Goytacazes-RJ, enquanto Luca et al. (2008) encontraram 47,9 Mg ha⁻¹, 24,0 Mg ha⁻¹ e 20,9 Mg ha⁻¹ em três tipos de solo distintos no Estado de São Paulo. As diferenças entre esses valores de estoque de C devem-se a diferenças nas condições edafoclimáticas entre as regiões.

Tabela 3. Valores médios dos teores de carbono, estoque de carbono, densidade do solo e caracterização física e química das camadas do solo em área de Mata nativa (São Cristóvão/SE) e cana de açúcar (Laranjeiras/SE).

	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Densidade (g cm ⁻³)	pH (%)	Teor de C (%)	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)
0-10 cm							
Mata Nativa	*	*	*	0,97aA (0,08)	*	1,71aA (0,29)	16,64aA (3,68)
Cana	*	*	*	1,39bA (0,11)	*	0,95bA (0,22)	13,19aA (3,13)
10 -20 cm							
Mata Nativa	*	*	*	1,21aB (0,03)	*	1,31aA (0,15)	15,83aA (1,52)
Cana	*	*	*	1,46bA (0,10)	*	1,07aA (0,42)	15,47aA (5,50)
0-20 cm							
Mata Nativa	67a	17a	15a	1,09a (0,03)	5,07a	1,51a (0,21)	32,48a (5,21)
Cana	68a	15a	16a	1,42b (0,04)	5,10a	1,01a(0,24)	28,66a (0,24)

Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre os tratamentos (Mata Nativa x Cana) pelo Teste t de Student a 5%. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si entre as profundidades (0-10cm, 10-20cm) pelo Teste t de Student a 5%. Os valores entre parênteses referem-se aos desvios padrão da média de cada local.

4.2 Modelagem do uso da terra na Mata Atlântica de Sergipe

No que se refere a escolha da melhor base de dados utilizada para a calibração do modelo Century (Figura 1), algumas considerações importantes foram levadas em conta para a tomada de decisão. Utilizando como fonte de dados climáticos a base de dados Climatempo, foi observado um maior valor do coeficiente de determinação significativo ($r^2=0,69$, $p<0,05$), indicando que quase 70% da variação no estoque de C simulado é explicada pelos valores de estoque de C observado. Ao avaliar a performance do modelo pelo coeficiente de eficiência (COE) o valor de COE encontrado foi de 0,49, ou seja, o desempenho do modelo pode ser considerado aceitável (Nash e Sutcliffe 1970). Além dessas observações, pode-se notar através da equação da reta utilizando a base de dados Climatempo que a intercepção (5,05 Mg C ha⁻¹) e a inclinação (0,98) aproximam-se dos valores relacionados à relação perfeita entre os valores observados e simulados, representado pela linha 1:1(0 e 1, respectivamente). Portanto, a base de dados climática utilizada para as simulações de validação e simulação de manejo alternativo de cana-de-açúcar foi a disponível em Climatempo.com.br.

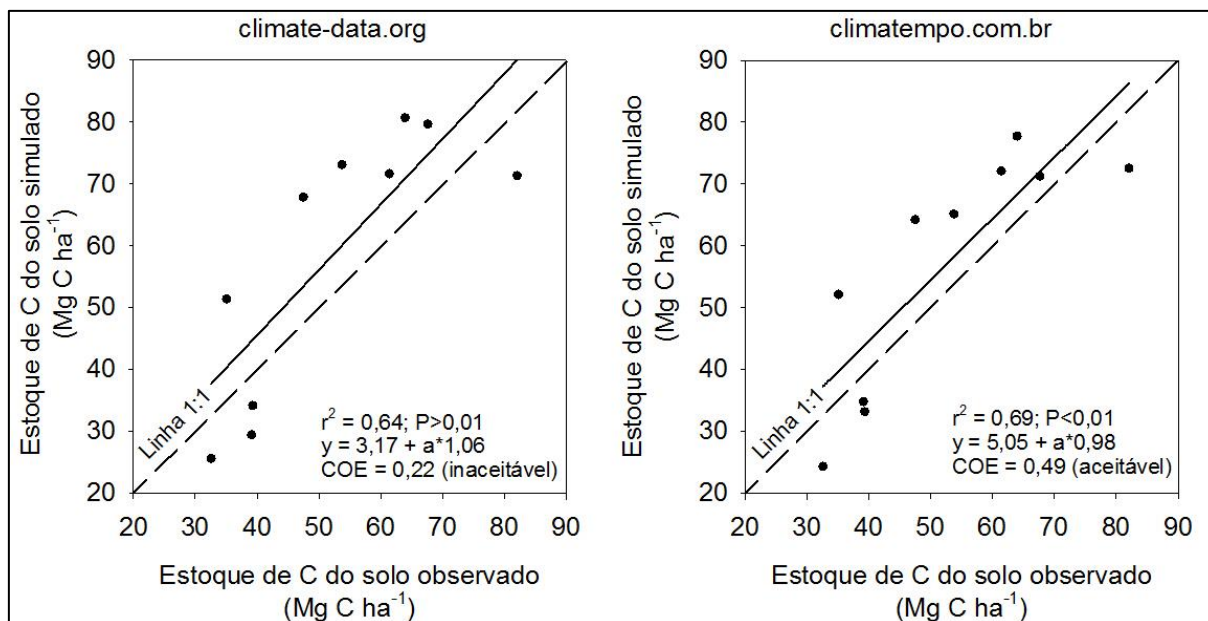


Figura 1. Relação entre os valores de estoque de carbono observado e simulado em áreas de Mata Atlântica com o uso de diferentes bases de dados climáticos.

Após a calibração do modelo para Mata Atlântica foi realizada uma validação local do modelo afim de verificar sua acurácia em estimar o estoque de C do solo em uma mata localizada em São Cristóvão/SE e também para o cultivo de cana-de-açúcar em Laranjeiras/SE. Para simular este uso da terra foram utilizados os arquivos do modelo Century ajustados por Galdos (2007). Observou-se erros do modelo de 3% para vegetação nativa e 16% para cana, sendo que valores de erro entre $\pm 20\%$ podem ser considerados aceitáveis (Figura 2). Quando a vegetação nativa foi convertida para cana houve uma diminuição gradativa do carbono, provavelmente em consequência da remoção mecânica da vegetação natural e da rápida decomposição da matéria orgânica, resultando em uma perturbação do equilíbrio do ecossistema natural, reduzindo o teor e os estoques de carbono do solo (Silva et al. 2007). Na literatura outros trabalhos também mostram essa tendência de diminuição (Barros et al. 2013, Carvalho 2014). Essa diminuição do carbono ocorre devido a degradação da estrutura da matéria orgânica do solo (Souza et al. 2009).

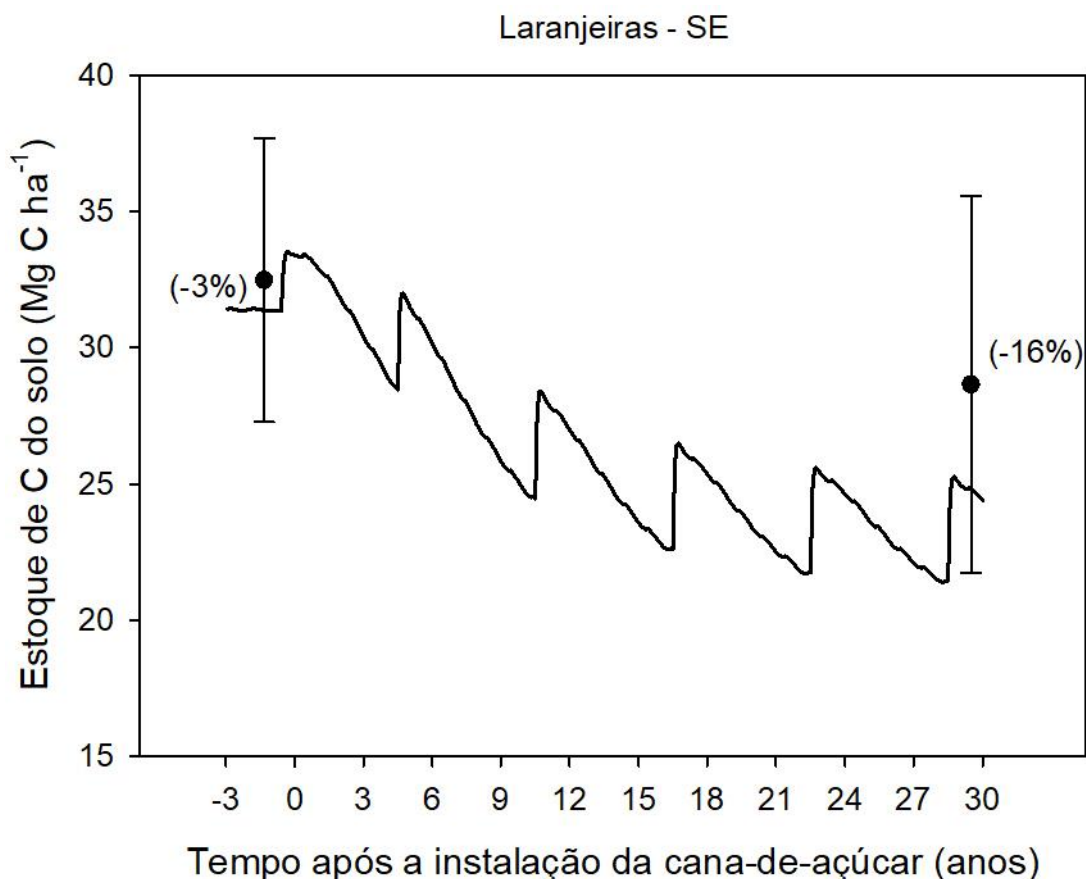


Figura 2. Simulação da variação dos estoques de carbono do solo sob Mata Nativa localizada em São Cristóvão/SE e cultivo de cana de açúcar em Laranjeiras, SE.

Uma vez que o modelo se mostrou adequado para simular a dinâmica de C do solo em função do cultivo de cana-de-açúcar, um manejo alternativo foi simulado visando a mitigação das emissões de C para a atmosfera. Portanto, o cultivo tradicional de cana simulado na região de Laranjeiras, a qual utiliza queimada para facilitar a colheita (Figura 2) foi comparado com uma simulação sem utilização de queimadas na colheita.

Considerando a média dos estoques de C no último ciclo de cultivo da cana, o valor atingido no manejo com queima foi de $23,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$, enquanto o estoque médio no manejo sem queima atingiria $29,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Figura 3). Portanto, caso na região não tivesse sido utilizado queimada para colheita da cana, o solo poderia ter acumulado $6,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$, valor muito próximo aos encontrados em campo por Luca et al. (2008), em que a supressão da queima resultou em aumento no estoque de carbono por volta de 5 Mg C ha^{-1} na camada de 0-20 cm de profundidade.

No manejo sem queima há deposição de palhada no solo, e quando essa palhada é decomposta, o carbono é incorporado ao solo, devido a isso a cana sem queima acumulou mais carbono. Essa maior quantidade de matéria orgânica presente no manejo sem queima, pode auxiliar no aumento da estabilidade dos agregados do solo (Canellas et al. 2007, Luca et al. 2008, Galdos et al. 2010, Souza et al. 2012).

Estratégias de manejo que incorporem coberturas vegetais com alta produtividade vegetal e alta deposição de resíduos, como no caso da cana sem queima, devem ser priorizadas pois além de reduzirem a degradação da estrutura do solo também resultam em um maior aporte de estoque de carbono no solo (Sant' Anna 2007, Brandani et al.2014).

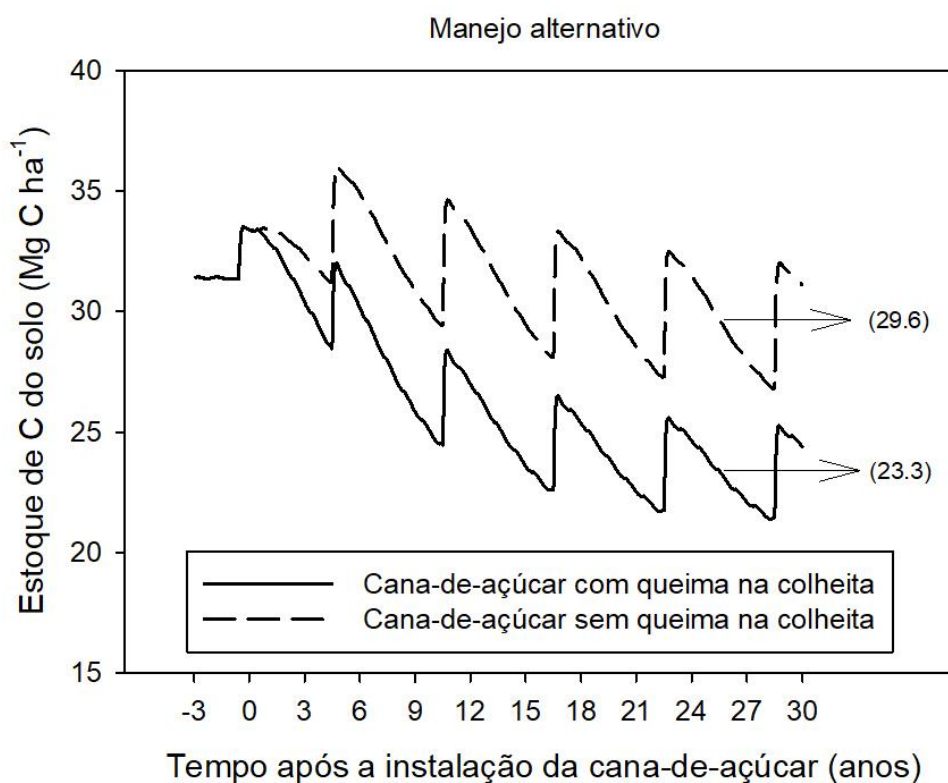


Figura 3. Cenários simulados para uso da terra, manejo alternativo para cultivo de cana de açúcar no município de Laranjeiras, SE.

As simulações feitas com o uso do modelo Century para a avaliação da dinâmica dos estoques de carbono do solo na cana de açúcar sob diferentes manejos, demonstrou resultados satisfatórios. Portanto, este modelo, após os ajustes para simular a região de estudo, mostrou-se como uma ferramenta eficaz e de baixo custo, na determinação de estratégias adequadas de manejo, e monitoramento dos estoques de carbono do solo. Podendo assim ser utilizado como

base para tomada de decisão de novos planos de políticas públicas relacionadas ao uso da terra no estado.

5.CONCLUSÕES

- Cultivo de cana de açúcar promove aumento na densidade do solo em comparação com a mata nativa.
- Cultivo de cana de açúcar não alterou o teor e estoques de C do solo na camada 0-20 cm. Entretanto, houve maior teor de C na camada 0-10 cm na área de mata atlântica.
- O modelo apresentou desempenho aceitável em estimar os estoques de carbono do solo sob diferentes coberturas vegetais (vegetação nativa e cana).
- O cultivo de cana de açúcar sem queima da palhada na fase da colheita tem potencial para servir como medida mitigadora das emissões de C do solo para a atmosfera.

6. REFERÊNCIAS

- BARROS, J.D.S., CHAVES, L.H.G., CHAVES, I.B., FARIAS, C.H.A. & PEREIRA, W.E. 2013. Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas de manejo do solo, nos tabuleiros costeiros Paraibanos. *Revista Caatinga*, 26(1), 35-42.
- BORTOLON, E.S.O., MIELNICZUK, J., TORNQUIST, C.G., LOPES, F., GIASSON, E. & BERGAMASCHI, H. 2012. Potencial de uso do modelo Century e SIG para avaliar o impacto da agricultura sobre estoques regionais de carbono orgânico do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 36:831-849.
- BRANDANI, C.B., ABBRUZZINI, T.F., WILLIAMS, S., EASTER, M., CERRI, C.E.P. & PAUSTIAN, K. 2014. Simulation of management and soil interactions impacting SOC dynamics in sugarcane using the CENTURY Model. *Gcb Bioenergy*, 7(4), 646-657.
- CAMPOS, D.C. 2003. Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- CANELLAS, L. P., ALTOÉ BALDOTTO, M., GALBA BUSATO, J., MARCIANO, C. R., CABRAL MENEZES, S., MACHADO DA SILVA, N., RUMJANEK, V.M., VELLOSO, A.C.X., SIMÕES M.L. & MARTIN-NETO, L. 2007. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31(2), 331-340.
- CARVALHO, P.L.O.A. 2005. Carbono do solo e mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, 28(2), 329-334.
- CARVALHO, J.L.N., AVANZI, J.C., SILVA, M.L.N., MELLO, C.R. & CERRI, C.E.P. 2010. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 34:277-289.
- CARVALHO, A.L. 2014. Modelagem dos impactos climáticos sobre a produtividade da cana-de-açúcar na Zona da Mata Norte de Pernambuco. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- CERRI, C.E.P., SPAROVEK, G., BERNOUX, N., EASTERLING, W.E., MELILLO, J.M. & CERRI, C.C. 2007. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. *Sci. Agric.*, 64(1), 83-99.

- DAVIDSON, E.A. & ACKERMAN, I.L. 1993. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, 20:161-193.
- DOMINY, C.S., HAYNES, R.J. & VAN ANTWERPEN, R. 2002. Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. *Biology and Fertility of Soils*, 36(5), 350–356.
- EMBRAPA – Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. 1997. Manual de Métodos de Análises de Solos. Rio de Janeiro, p.212.
- EMDAGRO- Empresa de desenvolvimento agropecuário de Sergipe. 2008. Informações Básicas Municipais- Município de Laranjeiras. Disponível em: www.emdagro.se.gov.br/modules/wfdownloads/visit.php?cid=1&lid=232
- EMDAGRO- Empresa de desenvolvimento agropecuário de Sergipe. 2008. Informações Básicas Municipais- Município de São Cristóvão. Disponível em: www.emdagro.se.gov.br/modules/wfdownloads/visit.php?cid=1&lid=194
- GALDOS, M.V. 2007. Dinâmica do carbono do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- GALDOS, M.V., CERRI, C.C., CERRI, C.E.P., PAUSTIAN, K. & ANTWERPEN, R. 2009. Simulation of sugarcane residue decomposition and aboveground growth. *Plant and Soil*, 326(1-2), 243-259.
- GÓES, G.B., GREGGIO, T.C., CENTURION, J.F., BEUTLER, A.N. & ANDRIOLI, I. 2005. Efeito do cultivo da cana-de-açúcar na estabilidade de agregados e na condutividade hidráulica do solo. *Irriga*, 10(2), 116-122.
- GUIMARÃES, D.V., GONZAGA, M.I.S., NETO, J.O.M., REIS, A.F., LIMA, T.S. & SANTANA, I.L. 2002. Qualidade da matéria orgânica do solo e estoques de carbono e nitrogênio em fragmento de Mata Atlântica do município de Neópolis, Sergipe. *Scientia Plena*, 8(4).
- LEITE, L.F.C. & MENDONÇA, E.S. 2003. Modelo Century de dinâmica da matéria orgânica do solo: Equações e pressupostos. *Revista Ciência Rural*, 33(4), 679-686.
- LEITE, L.F.C., MENDONÇA, E.S. & MACHADO, P.L.O.A. 2004. Simulação pelo modelo Century da dinâmica de matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. *Revista Ciências do Solo*, 28:347-358.

- LUCA, E. F. D., FELLER, C., CERRI, C. C., BARTHÈS, B., CHAPLOT, V., CAMPOS, D. C., & MANECHINI, C. 2008. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(2), 789-800.
- MACEDO, I.C. 1998. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil (1996). *Biomass and Bioenergy*, 14(1), 77-81.
- MACEDO, I.C. 2001. Mitigação das emissões de gases de efeito estufa: Uso de resíduos da cana-de-açúcar como fonte de energia: Situação atual, Tecnologias, Legislação e cenários. In LIMA, M.A., CABRAL, O.M.R., MIGUEZ, J.D.G. *Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira*. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente. p.191-199.
- MARTINS, J.C.R. 2015. Impactos das mudanças no uso do solo e adaptação do modelo Century para simulação da dinâmica do carbono na Braquiaria e Milho no Nordeste do Brasil. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- MIGUEZ, J.D.G. 2001. A convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e o Protocolo de Quioto. In LIMA, M.A., CABRAL, O.M.R., MIGUEZ, J.D.G. *Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira*. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente. p.17-30.
- MMA. 2017. Protocolo de Quioto. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto>.
- NASH, J. E., & SUTCLIFFE, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290.
- OLIVEIRA, S.M.B. 2008. Base científica para a compreensão do aquecimento global. In VEIGA, J.E. *Aquecimento global: frias contendas científicas*. 2 ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo. p.17-54.
- OMETTO, J.P.H.B & MARTINELLI, L.A. 2008. Ciclos Biogeoquímicos. In BUCKERIDGE, M.S. *Biologia & Mudanças climáticas no Brasil*. São Carlos: RiMa Editora. p.29-53.
- PARTON, W.J., SCHIMEL, D.S., COLE, C.V. & OJIMA, D.S. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, 51(5), 1173-1179.
- PARTON, W.J., STEWART, J.W.B. & COLE, C.V. 1988. Dynamics of C,N,P and S in grassland soil: a model. *Biogeochemistry*, 5(1), 109-131.

- ROSCOE, R., BODDEY, R.M., SALTON, J.C. 2006. Sistemas de manejo e Matéria orgânica do solo. In ROSCOE, R., MERCANTE, F.M., SALTON, J.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas. Dourados, MS: EMBRAPA Agropecuária Oeste. p.17-42.
- RODRIGUES, L.D. 2010. A cana de açúcar como matéria prima para produção de Biocombustíveis: Impactos Ambientais e o Zoneamento Agroecológico como ferramenta para mitigação. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise Ambiental), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.
- RONQUIM, C.C. 2010. Queimada na colheita de cana de açúcar: Impactos ambientais, sociais e econômicos. Campina, SP: Embrapa Monitoramento por satélite.
- SAMPAIO, G., MARENGO, J., NOBRE, C. 2008. A atmosfera e as mudanças climáticas. In BUCKERIDGE, M.S. Biologia & Mudanças climáticas no Brasil. São Carlos: RiMa Editora. p.5-28.
- SANT'ANNA, S.A.C. 2007. Indicadores de qualidade do solo em áreas de cana-de-açúcar dos tabuleiros costeiros de Alagoas. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.
- SEEG. 2016. Análise das emissões de GEE Brasil (1970-2014) e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o acordo de Paris. Observatório do Clima. Disponível em:<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/WIP-16-09-02-RelatoriosSEEG-Sintese.pdf>
- SILVA, A. J. N., RIBEIRO, M. R., CARVALHO, F. G., SILVA, V. N., & SILVA, L. E. S. F. 2007. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limits and aggregate stability of a Yellow Latosol in Northeast Brazil. *Soil and Tillage Research*, 94(2), 420-424.
- SILVEIRA, M.A., VICTORIA, R.L., BALLESTER, M.V., CAMARGO, P.B., MARTINELLI, L.A. & PICCOLO M.C. 2000. Simulação dos efeitos das mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo na Bacia do Rio Piracicaba. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(2), 389-399.
- SOUZA, E.D., COSTA, S.E.V.G.A., ANGHINONI, I., CARVALHO, P.C. F., ANDRIGUETI, M.&CAO, E. 2009. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1829-1836.

SOUZA, H. A., MARCELO, A. V., & CENTURION, J. F. 2012. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, 43(4), 658-663.

UNICA. 2008. A indústria da cana de açúcar: Etanol, Açúcar e Bioeletricidade. União da indústria de cana de açúcar. Disponível em: www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=25497159

VILELA, E.F. & MENDONÇA, E.S. 2013. Impacto de sistemas agroflorestais sobre a matéria orgânica do solo: Modelagem de carbono e nitrogênio. *Coffee Science*, 8(3), 354-363.

WENLING, B., JUCKSCH, I., MENDONÇA, E.S., ALMEIDA, R.F. & ALVARENGA, R.C. 2014. Simulação dos estoques de carbono e Nitrogênio pelo modelo Century em Latossolos, no Cerrado Brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, 45(2), 238-248.