



## O modelo CENTURY na dinâmica do estoque do carbono orgânico em áreas da agricultura brasileira: revisão sistemática

### *The CENTURY model in the dynamics of organic carbon stock in brazilian agricultural areas: systematic review*

Adilson da Silva Alves Junior<sup>1</sup>, André Luiz de Carvalho<sup>2</sup>, Marcus Vinícius Dias Falcão<sup>1</sup>, Renato Américo Araújo-Neto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitário Maurício de Nassau (UNINASSAU), Maceió, Alagoas, Brasil

<sup>2</sup>Faculdade Estácio de Sá, Maceió, Alagoas, Brasil

Contato: [renatoaraujoprof@outlook.com](mailto:renatoaraujoprof@outlook.com)

#### Palavras-chave

modelagem  
mudanças climáticas  
carbono orgânico do solo

#### RESUMO

A determinação do estoque de carbono orgânico do solo (COS) é de fundamental importância em estudos agrícolas que envolvam a temática de mudanças climáticas. Porém, um apanhado mais robusto do COS se torna, de uma certa forma, uma prática onerosa e demorada, principalmente considerando um ambiente mais amplo, como é o território brasileiro. Visando facilitar este processo, o uso de modelos matemáticos tem sido amplamente difundido, dentre eles, o modelo biogeoquímico CENTURY. Porém, é importante conhecer a dimensão do uso deste modelo no Brasil, reunindo um apanhado de estudos que envolvam o uso do CENTURY. Para tanto, objetivou-se realizar uma revisão sistemática de trabalhos de pesquisa científica, realizados em território nacional, sobre o uso do modelo CENTURY. O estudo foi desenhado através de uma revisão sistemática através de três plataformas de pesquisa científica (ScienceDirect, SciELO e Scopus), sendo escolhidos através de critérios de seleção, para que fossem utilizados apenas trabalhos relevantes para a revisão, definindo um total de 14 artigos. A partir da análise dos artigos selecionados, o CENTURY apresentou resultados satisfatórios quando empregado na simulação da dinâmica do carbono no solo em diferentes cenários de manejo em território brasileiro, podendo ser considerada uma ótima ferramenta para futuros trabalhos nesta área. O modelo foi eficiente e capaz de simular variações de forma assertiva nos estoques de C do solo nos períodos de uso do local avaliado.

#### Keywords

modeling  
climate change  
soil organic carbon

#### ABSTRACT

*The determination of soil organic carbon (SOC) stock is fundamentally important in agricultural studies involving climate change. However, a more robust assessment of SOC becomes somewhat costly and time-consuming, especially when considering a broader environment, such as Brazilian territory. To facilitate this process, the use of mathematical models has been widely disseminated, among them, the CENTURY biogeochemical model. However, it is important to understand the extent of the use of this model in Brazil by gathering a collection of studies that involve the use of CENTURY. Therefore, the objective was to conduct a systematic review of scientific research conducted in the national territory on the use of the CENTURY model. The study was designed through a systematic review using three scientific research platforms (ScienceDirect, SciELO, and Scopus), selecting based on selection criteria, so that only relevant works were used for the review, defining a total of 14 articles. From the analysis of the selected articles, CENTURY showed satisfactory results when employed in simulating soil carbon dynamics under different management scenarios in Brazilian territory, proving to be an excellent tool for future work in this area. The model was efficient and capable of accurately simulating variations in soil C stocks during the periods of use of the evaluated.*

#### Informações do artigo

Recebido: 04 de julho, 2024

Aceito: 01 de novembro, 2024

Publicado: 30 de dezembro, 2024

## Introdução

O conhecimento dos fluxos de carbono no solo (COS) é de fundamental importância no ambiente agrícola. A dinâmica do carbono 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 (Brandani et al., 2014).

O modelo CENTURY foi inicialmente desenvolvido para simular a dinâmica da Matéria Orgânica do Solo (MOS) nas pradarias norte-americanas. Um dos modelos C de solo mais utilizados e revisados, o modelo teve um bom desempenho em estudos de comparação com outros modelos. Versões recentes do modelo adicionaram a capacidade de simular uma ampla gama de práticas agrícolas sendo testado em diversos ecossistemas, como savanas semiáridas no Sudão, florestas tropicais na Amazônia e na Mata Atlântica do Leste do Brasil (Weber et al., 2015).

Outro ponto importante é que o modelo é capaz de gerar informações sobre cenários climáticos futuros. Neste sentido, 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, que desempenham papel fundamental nas simulações climáticas em escalas geográficas menores (estados e cidades, por exemplo).

Vale salientar que 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).

De uma forma geral, estudos sobre as temáticas e o modelo CENTURY foram de fundamental importância na região do Brasil, demonstrando o interesse do modelo por pesquisadores locais (Araújo Neto et al., 2024). Porém, apesar dos estudos, não existe uma comprovação de que o CENTURY seja eficaz nos vários locais avaliados, sendo de fundamental importância um apanhado dos estudos realizados neste local, através de uma revisão sistemática, por exemplo (Althoff et al., 2018).

As revisões sistemáticas desempenham um papel crucial na consolidação do conhecimento científico, sintetizando evidências de múltiplos estudos para fornecer uma visão abrangente e imparcial sobre um tema específico.

Elas utilizam metodologias rigorosas para minimizar vieses e garantir a inclusão de estudos de alta qualidade, facilitando a tomada de decisões informadas em diversas áreas, especialmente na prática clínica e nas políticas de saúde. Além disso, as revisões sistemáticas ajudam a identificar lacunas no conhecimento existente, direcionando futuras pesquisas para áreas necessitadas de investigação. Ao economizar tempo e recursos, elas tornam-se ferramentas indispensáveis para profissionais e pesquisadores, fornecendo uma base sólida para meta-análises e práticas baseadas em evidências (Higgins & Green, 2011).

Deste modo, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática de trabalhos de pesquisa científica, realizados em território nacional, sobre o uso do modelo CENTURY, no estudo da dinâmica do carbono no solo e sua importância para a agricultura, buscando trazer uma visão sobre a eficiência do modelo nas simulações e estimativas de cenários futuros, nos diferentes ecossistemas encontrados no país, dos estoques de COS.

## Material e métodos

É de suma importância o conhecimento da utilização dos modelos matemáticos na determinação do COS. Dentre tantos modelos existentes na comunidade acadêmica, o modelo CENTURY tem sido aquele que trouxe resultados satisfatórios em vários locais do planeta, inclusive no Brasil (Smith et al., 1997). Porém, devido a escassez de informações do modelo em território nacional, existe a necessidade de realizar um apanhado dos estudos relacionados ao CENTURY e contabilizar estas informações de forma resumida em uma revisão sistemática.

### Revisão sistemática

Os trabalhos utilizados para análise foram adquiridos através de 3 plataformas: ScienceDirect®, SciELO® e Scopus®. Na busca dos artigos nestas plataformas, foram consideradas as seguintes palavras-chave: “CENTURY model AND Climate Change” e “CENTURY model AND Soil Organic Carbon”. Após a busca e coleta dos artigos, foram selecionados alguns critérios de seleção, para que fossem utilizados apenas trabalhos relevantes para a revisão. O método utilizado para a realização do trabalho foi o PRISMA, melhorando o processo de seleção dos trabalhos a serem revisados.

### Critérios de seleção e exclusão

Alguns critérios foram utilizados durante o processo de seleção dos trabalhos para a revisão, buscando apenas trabalhos que, de fato, se encaixam na proposta da revisão.

### Inclusão

- Trabalhos que utilizassem o modelo CENTURY e não o utilizassem apenas como referência;
- Trabalhos publicados entre os anos de 2015 até 2023;
- Trabalhos de pesquisa científica;
- Trabalhos nos idiomas inglês e português.

### Exclusão

- Trabalhos duplicados;
- Trabalhos com dados insuficientes para a realização da revisão;
- Trabalhos não realizados no Brasil.

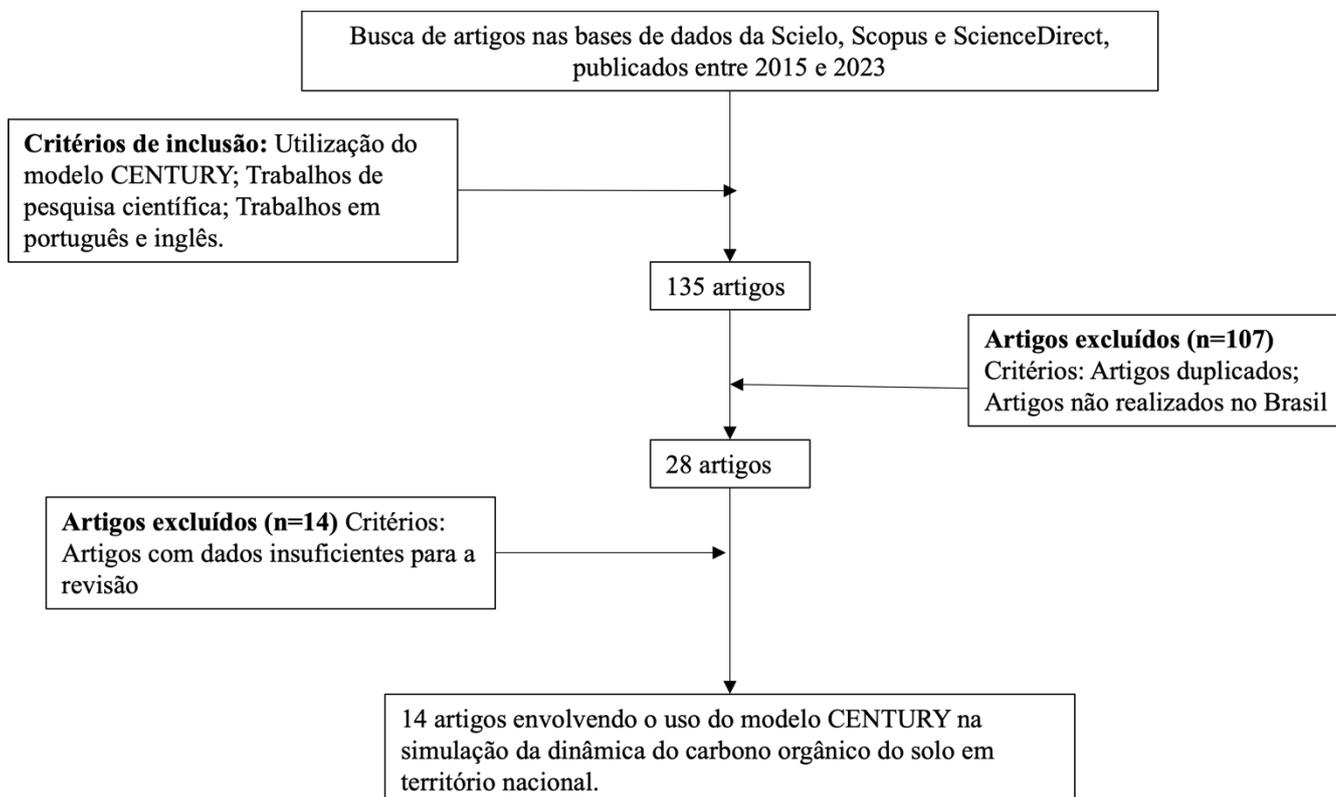
### Análises estatísticas

Como forma de obter um resumo dos dados coletados, foi realizada uma estatística descritiva, bem como um desenho do Box-plot dos estoques de carbono observados nos artigos. Na comparação entre os estoques de referência dos sistemas agrícolas, na calibração e validação do CENTURY, foi utilizado um mapa de calor com os dados de carbono dos estudos, fazendo o uso do *r* de Pearson (Yang et al., 2014) para avaliar o grau de associação entre os estoques de carbono nas diferentes situações e o teste *p*, visando comprovar a correlação entre os sistemas avaliados. Os dados foram analisados através do programa estatístico JASP 0.1.18.

## Resultados e discussão

Após a pesquisa utilizando palavras-chave (“CENTURY model” and “Climate change”; “CENTURY model” and “Soil Organic Carbon”) foram selecionados, inicialmente, 135 artigos, divididos entre Scielo (13), ScienceDirect (65) e Scopus (57). Feita a primeira análise dos artigos, foram selecionados 28 deles, sendo esses submetidos a uma nova avaliação. Depois da aplicação dos critérios pré-estabelecidos para a filtragem dos trabalhos encontrados, foram selecionados definitivamente para a revisão 14 artigos (Tabela 1; Figura 1; Figura 2), divididos entre as 3 plataformas utilizadas como fontes de dados.

Figura 2. Procedimentos de busca dos e os critérios de inclusão e exclusão.



Fonte: Autores (2024)

Os outros artigos, que não atenderam aos critérios de inclusão ou se encaixavam em algum critério de exclusão, foram excluídos da revisão.

Os trabalhos remanescentes preencheram todos os critérios de seleção e não atendiam nenhum dos critérios de exclusão. Já com os trabalhos selecionados, iniciou-se o processo de análise deles, seguindo assim o processo de revisão desses artigos.

Figura 1. Locais onde foram realizados estudos com o CENTURY.



Fonte: Autores (2024)

A Tabela 2 e a Figura 3 apresentam a estatística descritiva e o Box-Plot do estoque de carbono real nos diferentes sistemas e estimado pelo modelo CENTURY. Os resultados apresentam uma alta variação entre os resultados obtidos em todas as variáveis analisadas.

Este fator pode ser explicado devido a estatística ser calculada com o resultado de todos os artigos, sem considerar a regionalidade de cada um deles, bem como as características fisiológicas dos manejos agrícolas estudados. Esta comparação foi importante para se ter conhecimento dos resultados de COS, principalmente quando houve a comparação entre dados observados em campo e simulados pelo modelo CENTURY, como apresentado na Figura 4. O mapa de calor (Figura 4) apresenta uma comparação entre os estoques descritos no Tabela 1. Observa-se a ocorrência de significância no comparativo entre os sistemas. O importante é destacar que em simulações com o modelo CENTURY duas etapas são vitais na execução do modelo: calibração e validação dos dados. Geralmente, na calibração dos estoques de carbono, utilizam-se valores de estoque de referência, visando preparar o modelo para as condições do local de estudo. A validação, no entanto, consiste em utilizar um modelo previamente calibrado em sistemas agrícolas, permitindo a simulação do estoque de COS, comprovando ou não o modelo nestes locais (Araujo-Neto et al., 2021).

Este evento é comprovado na Figura 4, apresentando um alto coeficiente de correlação (r) entre estoque de referência e estoque na calibração (0,983; p<0,05) e no estoque dos sistemas e estoque na validação (0,888; p<0,05), apresentando uma excelente eficiência do CENTURY nos processos de calibração e validação.

Tabela 2. Estatística descritiva do estoque de carbono real e estimado nos diferentes locais de estudo.

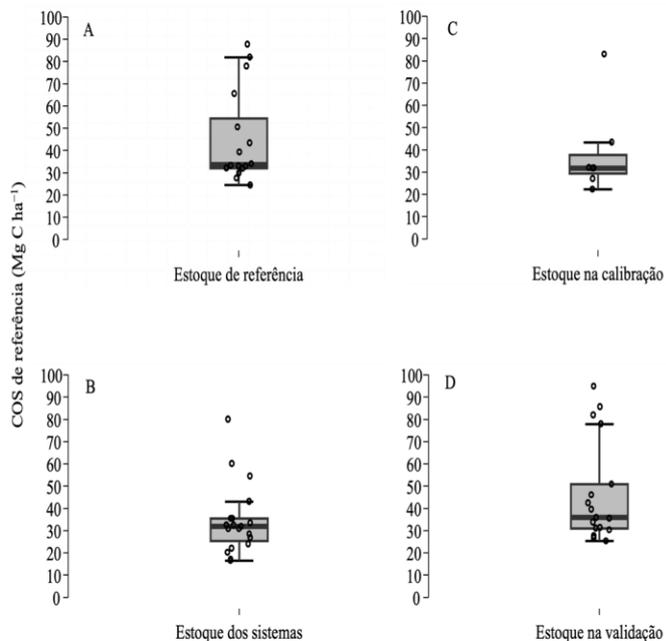
	Estoque de referência*	Estoque na Calibração*	Estoque nos sistemas*	Estoque na Validação*
Válidos	16	7	19	17
Ausentes	11	20	8	10
Média	45,31	38,75	34,49	46,87
Desvio Padrão	20,98	20,54	15,71	23,07
Coefficiente de variação	46,30	53,00	45,60	49,20
Amplitude total	63,33	60,75	63,50	69,58
Mínimo	24,41	22,25	16,50	25,32
Máximo	87,74	83,00	80,00	94,90
Quartil 1	32,08	29,39	25,37	31,00
Quartil 2 (Mediana)	33,60	31,79	31,85	35,90
Quartil 3	54,27	37,71	35,43	50,86

\*Estoque em Mg C ha<sup>-1</sup>.

Em relação à revisão sistemática, o uso de modelos matemáticos que ligam o COS a parâmetros climáticos, ambientais e do solo pode melhorar significativamente a compreensão da dinâmica do carbono em solos brasileiros. Entre outros, o modelo biogeoquímico CENTURY tem se mostrado essencial quando se trata de entender a dinâmica do SOC nos mais variados ambientes e sistemas de uso da terra (Araújo-Neto et al., 2021).

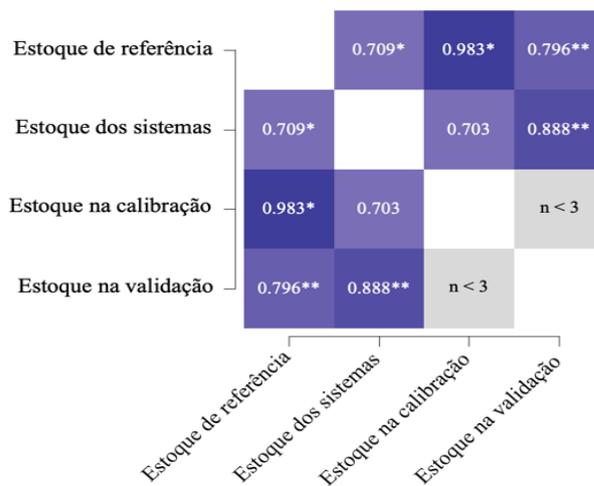
Um fator interessante a se considerar é que, para que um modelo seja considerado eficiente, o mesmo tem que passar pelos processos de equilíbrio, calibração e validação dos dados. O processo de equilíbrio consiste na execução do modelo, em condições de equilíbrio, simulando o comportamento do sistema durante um período suficientemente longo para que as variáveis alcancem a estabilidade. (Wink et al., 2015). Já o processo de calibração, segundo Weber et al (2015) envolve o ajuste dos parâmetros do modelo para que os valores das simulações sejam coerentes com os dados observados.

Figura 3. Box-plot do estoque de carbono nos sistemas de referência (A), sistemas agrícolas (B), calibração (C) e validação (D).



Fonte: Autores (2024).

Figura 4. Mapa de calor na correlação entre os estoques de carbono de referência, estoques dos sistemas agrícolas, estoques na calibração e estoques na validação (\* p < 0,05; \*\* p < 0,01).



Fonte: Autores (2024)

Além disso, o autor cita que, após uma avaliação do desempenho do modelo se faz necessário o processo de validação. O processo de validação do modelo envolve uma comparação entre os valores simulados e observados para determinar a qualidade do modelo que descreve os dados reais. Isso é feito através de estatísticas como RMSE (Raiz Quadrada do Erro Médio) e um Coeficiente de relação (r), que avaliam a precisão, eficiência e ajuste do modelo aos dados medidos. A validação é essencial para verificar a confiabilidade e a capacidade do modelo em representar com precisão a especificidade em estudo. (Gonçalves et al., 2018).

De maneira geral, a eficiência do modelo CENTURY para a simulação e a estimativa dos estoques de COS no solo relatado pelos trabalhos é considerada satisfatória, quando comparado a dados de referência (Tabela 1; Figura 2).

Ainda assim, segundo Damian et al. (2021), o uso de modelos matemáticos para a estimativa da dinâmica do carbono no solo, tanto os usados na agricultura quanto no pasto, ainda necessitam de estudos contínuos para que, no futuro, os resultados possam aumentar sua confiabilidade. O modelo foi elogiado por alguns autores (Weber et al., 2015; Althoff et al., 2016; Wink et al., 2015; Ribeiro et al., 2018) e considerado, pela maior parte deles, como apto para a realização de estimativas confiáveis da dinâmica do carbono no solo em diferentes regiões do país. Porém, algumas ressalvas foram feitas quanto ao desempenho do modelo, que pode não performar muito bem em algumas situações, e se não tiver atenção dedicada a alguns detalhes antes das simulações. Althoff et al. (2018), pontuou a necessidade de adaptação prévia do modelo a área na qual ele será aplicado, além da sensibilidade do modelo a cenários como o de desflorestamento da área utilizada na projeção. Outros autores como Wink et al. (2015), que relataram a sensibilidade do modelo em simulações feitas em locais com plantações jovens e em cultivos de algumas espécies, como o eucalipto, relatando uma dificuldade do modelo em apresentar resultados satisfatórios nesses cenários. Também foi consenso entre quase todos os autores dos trabalhos revisados que, a calibração e validação, para a área onde o estudo foi conduzido, realizadas de maneira isolada ou em conjunto, são imprescindíveis para o pleno funcionamento do modelo e para a obtenção de resultados confiáveis e satisfatórios.

De todos os artigos revisados, Primo et al. (2023), foi quem levantaram o maior número de ressalvas ao modelo, apesar de relataram um bom desempenho do CENTURY. Em parte dos sistemas estudados os autores não consideraram os resultados obtidos com o modelo muito satisfatórios, os classificando como moderados, completando ainda que o modelo pode necessitar maior atenção a depender do sistema de cultivo e região em que será empregado. Os autores, ressaltam ainda subestimação e superestimação de resultados por parte do modelo, quando aplicado a diferentes sistemas e regiões. Em relação ao desempenho do modelo para o conjunto de situações em estudo, a relação entre dados simulados pelo modelo e aqueles medidos em campo não foi satisfatória.

Em relação ao semiárido brasileiro resultados mostraram um coeficiente de correlação de 0,43, indicando subestimação de 13,5% quando os dados foram simulados pelo modelo CENTURY (Araújo-Neto et al., 2021). Apesar disso, segundo Primo et al. (2023), os resultados obtidos com o CENTURY apresentaram em alguns casos um RMSE (Raiz Quadrada do Erro Médio) e um Coeficiente de Correlação ( $r$ ) muito próximos do ideal e que o modelo obteve bons resultados em alguns casos. No entanto, a baixa eficiência de modelagem observada pode ser explicada pelos poucos dados de estoques do SOC disponíveis nas áreas estudadas durante o processo de validação do modelo CENTURY.

A inserção de dados para os processos de calibração e validação é uma fase muito importante do trabalho, pois é nessa fase que o modelo será preparado para simular no local de estudo, se adequando a todas as variáveis presentes no mesmo.

O desempenho do modelo CENTURY pode ser considerado razoável se todos os testes estatísticos utilizados forem analisados em conjunto, indicando associação significativa entre valor simulado e observado (Zeferino et al., 2021).

Além disso, segundo Weber et al. (2015), modificações prévias nos parâmetros do modelo, adequando-o de acordo com a área estudada e suas características, permitem que a simulação seja feita de maneira satisfatória. Ao considerar a capacidade do modelo de estimar os estoques de C do solo de acordo com os locais de validações, observou-se que em 18 dos 21 locais onde foi submetido, a diferença relativa entre valores simulados e os valores observados situaram-se na faixa de  $\pm 25\%$ . Portanto, os ajustes realizados no modelo CENTURY para estimar os estoques de C em solos sob pastagem foi satisfatório (Santos et al., 2022).

Outro aspecto importante é a alta sensibilidade do modelo a variável KLAI, que controla o acúmulo de folhas durante a fase de juventude das árvores. Portanto, após as adaptações necessárias, o modelo CENTURY simulou adequadamente a ciclagem de C e N em áreas de vegetação de caatinga no semiárido do Brasil. O modelo pode ser uma ferramenta útil para entender melhor a função do ecossistema nessa região, porém, mais estudos devem ser realizados para adaptar o modelo para uma aplicação abrangente, como outros tipos de vegetação e condições ambientais no Nordeste do Brasil e outras florestas tropicais secas no mundo (Althoff et al., 2018).

Com o modelo calibrado e validado, seu uso para a simulação dos estoques de COS é considerado bastante confiável e assertivo. No geral, o maior número de parâmetros do modelo CENTURY o torna mais adequado para simulações e previsões de longo prazo em diferentes regiões (Gonçalves et al., 2019). Wink et al. (2015), recomenda o uso do modelo e afirma que em seu estudo, quando comparado aos dados observados, o modelo foi muito eficiente na simulação. Porém, o CENTURY apresenta grande sensibilidade para realizar a estimativa de C na biomassa total em sistemas com menos de 10 anos de idade e nos diferentes compartimentos de biomassa, apesar de que, em seu estudo, esta variável em específico tivesse pouca significância.

Outro componente importante é a capacidade do modelo em realizar simulações em diversos ambientes climáticos. A priori, o CENTURY foi desenhado para as regiões temperadas do Estados Unidos, surgindo então a capacidade deste na adaptação do clima no planeta. Araujo-Neto et al. (2021) e Weber et al. (2015), apresentam diferenças climáticas em seus estudos, porém com resultados satisfatórios. De acordo com Araújo-Neto et al. (2021), além da calibração e validação, o componente das taxas de decomposição pode estar associado aos resultados em diferentes condições climáticas.

Outro fator importante destacado pelos autores é que, o manejo agrícola pode comprometer os ganhos substanciais de COS, liberando  $\text{CO}_2$  para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global. Portanto, há a necessidade da adoção de sistemas ou práticas que melhorem a qualidade do solo (adoção de plantio direto ou sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta).

Vale a pena ressaltar que o CENTURY é capaz de simular eventos futuros. Dentro dos estudos analisados, o modelo teve como prioridade avaliar eventos climáticos extremos, com ênfase no aquecimento global (Carvalho et al., 2022; Santos et al., 2023; Althoff et al., 2016; Primo et al., 2023).

Carvalho et al. (2022), apresentam um amplo estudo para a região semiárida do Brasil, em que o modelo foi capaz de identificar possíveis impactos nas alterações climáticas em ambiente de sequeiro e irrigado.

Tabela 1. Resumo dos estudos avaliados através da revisão sistemática.

ID	Estudo	UF	Precipitação (mm)	Solo	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	pH	Estoque de Referência (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Estoque dos Sistemas Agrícolas (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Calibração (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Validação (Mg C ha <sup>-1</sup> )
1	Wink et al. (2015)	RS	1600-1800	Argissolo Vermelho distrófico	*	*	*	*	33,26	35,43	*	31,33
	Wink et al. (2015)	RS	1600-1800	Argissolo Vermelho distrófico	*	*	*	*	32,92	35,43	32,04	*
	Wink et al. (2015)	RS	1600-1800	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico	66,19	20,14	13,67	*	31,89	30,82	*	27,70
	Wink et al. (2015)	RS	1600-1800	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico	*	*	*	*	27,50	30,82	27,03	*
	Wink et al. (2015)	RS	1600-1800	Argissolo Vermelho	*	*	*	*	33,93	32,49	*	31,00
	Wink et al. (2015)	RS	1600-1800	Argissolo Vermelho	*	*	*	*	29,80	32,49	31,79	*
2	Weber et al. (2015)	RS	1440	Argissolo Vermelho distrófico	50,90	26,20	20,90	5,10	43,37	33,40	43,38	33,82
3	Zeferino et al. (2021)	TO	1852	Neossolo quartzarênicos	*	*	*	4,98	*	28,43	*	*
	Zeferino et al. (2021)	TO	*	Plintossolo	*	*	*	5,10	*	20,20	*	*
	Zeferino et al. (2021)	TO	*	Argissolo	*	*	*	5,07	*	54,46	*	*
	Zeferino et al. (2021)	TO	*	Planossolos Hápicos	*	*	*	4,84	*	26,84	*	*
	Zeferino et al. (2021)	TO	*		*	*	*	4,87	*	17,01	*	*
4	Altohff et al. (2018)	PB	800	Neossolo Lítico	64,80	12,30	22,90	6,41	*	21,99	22,25	*
5	Altohff et al. (2016)	RN	800	Neossolo Lítico	*	*	*	*	*	31,85	31,75	*
6	Damian et al. (2021)	MT	2628	Nitossolo	*	*	*	*	50,50	*	*	50,86
	Damian et al. (2021)	SP	1262	Nitossolo	*	*	*	*	81,89	*	*	85,61
	Damian et al. (2021)	RS	1398	Planossolos Hápicos	*	*	*	*	39,26	*	*	39,55
7	Gonçalves et al. (2019)	PA	1717	Latossolo Vermelho	29,00	14,00	57,00	*	*	*	83,00	82,00
8	Primo et al. (2023)	CE	825	Luvisolo	53,70	20,60	27,00	6,50	*	16,50	*	30,30
9	Gonçalves et al. (2018)	PA	1500	Oxisolo	*	*	*	*	*	80,00	*	94,90
10	Ribeiro et al. (2018)	MG	1003	Cambissolo Háptico eutrófico	42,00	30,00	28,00	5,40	65,57	60,16	*	46,04
	Ribeiro et al. (2018)	MG	1064	Latossolo Vermelho distrófico típico	7,30	24,10	68,60	5,33	87,74	43,04	*	42,38
11	Gonçalves et al. (2017)	PA	1717	Latossolo Vermelho	15,00	13,00	72,00	5,07	77,85	*	*	77,88
12	Santos et al. (2022)		1400	Latossolo	*	*	*	*	*	23,90	*	35,52
13	Araújo-Neto et al. (2021)	AL	*	Neossolos quartzarênicos	88,80	2,70	8,50	4,40	24,41	*	*	26,73
	Araújo-Neto et al. (2021)	AL	*	Argissolo	64,30	15,90	19,80	5,10	33,00	*	*	35,90
	Araújo-Neto et al. (2021)	AL	*	Neossolo Regolítico	88,50	7,20	4,30	5,40	32,14	*	*	25,32
14	Carvalho et al. (2022)**	AL	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

\*\* - Descrições de Carvalho et al. (2022) são iguais aos de Araujo Neto et al. (2021).

Os autores destacam que, o evento climático mais extremo (RCP8.5) apresentou maior aumento no estoque de COS, podendo estar associado a fisiologia das plantas cultivadas no local (C4), que podem reduzir a taxa de transpiração e manter a proporção de água, de modo a reduzir o uso de água de toda a planta e conservar a umidade do solo.

Vale a pena ressaltar que, Damian et al. (2021), também destacaram a boa aplicabilidade do modelo em áreas de pastagens mal geridas, classificadas assim pelos autores, em diferentes zonas climáticas, simulando as mudanças no estoque do carbono do solo e a emissão de gases do efeito estufa. Além de ser uma importante ferramenta para simular o impacto causado pelas práticas de manejo nas mudanças climáticas, sendo capaz de prever e monitorar as consequências do manejo das pastagens a nível climático. Com isso, o modelo pode contribuir para identificar melhorias nas políticas públicas relacionadas às mudanças climáticas e utilizar novas tecnologias que auxiliem na mitigação dos gases de efeito estufa.

## Conclusão

A partir da análise dos artigos selecionados e revisados pôde-se concluir que, o modelo CENTURY apresentou resultados satisfatórios quando empregado na simulação da dinâmica do carbono no solo em diferentes cenários de manejo em território brasileiro, podendo ser considerada uma ótima ferramenta para futuros trabalhos.

Apesar de eficiente, o modelo necessita que de uma atenção especial a algumas partes e processos, como a calibração e validação do modelo. De maneira geral, o modelo apresentou resultados satisfatórios para todos os autores, após a realização desses processos da maneira correta, ambientando o modelo a área na qual ele seria utilizado. A inserção dos parâmetros e a sensibilidade do modelo com algumas variáveis também foi um ponto levantado pelos autores, também sendo necessária atenção redobrada para a realização, principalmente pelo modelo encontrar cenários muito distintos dos quais ele foi inicialmente desenvolvido para trabalhar, evitando assim simulações superestimadas ou subestimadas.

Em relação aos trabalhos realizados no Brasil, também pode-se concluir que, apesar das ressalvas trazidas pelos autores, o modelo desempenhou muito bem nas simulações, em diferentes regiões do país e em diferentes extremos climáticos, apresentando resultados satisfatórios e confiáveis. Com isso, o modelo pode ser considerado apto para a realização de trabalhos acerca do estudo da dinâmica do solo no país.

Portanto, os resultados confirmam que o modelo é eficiente e capaz de simular variações de forma assertiva nos estoques de C do solo nos períodos de tempo de uso do local avaliado.

A revisão permitiu a concordância com vários estudos que utilizaram o modelo CENTURY para avaliar os impactos nos estoques SOC em diferentes práticas de manejo do solo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro Universitário Maurício de Nassau pela concessão do projeto de iniciação científica ao discente.

## Referências

- ALTHOFF, T. D. et al. Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. ScienceDirect, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880917305133?via%3Dihub>. Acesso em: 04 out. 2023 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.016>.
- ALTHOFF, T. D. et al. Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. ScienceDirect, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112715005459?via%3Dihub>. Acesso em: 04out. 2023 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.001>.
- BRANDINI, S. et al. Carbon capture and storage update. Energy & Environmental ResearchGate, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265122182>. Acesso em: 13 out. 2023
- CARVALHO, A. L et al. Impact of rainfed and irrigated agriculture systems on soil carbon stock under different climate scenarios in the semi-arid region of Brazil. ResearchGate, 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/360573870\\_Impact\\_of\\_rainfed\\_and\\_irrigated\\_agriculture\\_systems\\_on\\_soil\\_carbon\\_stock\\_under\\_different\\_climate\\_scenarios\\_in\\_the\\_semi-arid\\_region\\_of\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/360573870_Impact_of_rainfed_and_irrigated_agriculture_systems_on_soil_carbon_stock_under_different_climate_scenarios_in_the_semi-arid_region_of_Brazil). Acesso em: 15 out. 2023 DOI: <https://doi.org/10.1007/s40333-022-0092-y>.
- ARAÚJO NETO, R. A. et al. Simulation of soil carbon changes due to conventional systems in the semi-arid region of Brazil: adaptation and validation of the century model. ResearchGate, 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/353741386\\_Simulation\\_of\\_soil\\_carbon\\_changes\\_due\\_to\\_conventional\\_systems\\_in\\_the\\_semi-arid\\_region\\_of\\_Brazil\\_adaptation\\_and\\_validation\\_of\\_the\\_century\\_model](https://www.researchgate.net/publication/353741386_Simulation_of_soil_carbon_changes_due_to_conventional_systems_in_the_semi-arid_region_of_Brazil_adaptation_and_validation_of_the_century_model). Acesso em: 20 jun. 2024 DOI: <https://doi.org/10.1080/17583004.2021.1962978>.
- GONÇALVES, D. R.P. et al. Conservation agriculture based on diversified and high-performance production system leads to soil carbon sequestration in subtropical environments. ScienceDirect, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619302884?via%3Dihub>. Acesso em: 08 out. 2023 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.263>.
- GONÇALVES, D.R. P. et al. Soil carbon inventory to quantify the impact of land use change to mitigate greenhouse gas emissions and ecosystem services. ScienceDirect, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749118313460?via%3Dihub>. Acesso em: 08 out. 2023 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.068>.
- GONÇALVES, D. R. P. et al. Soil type and texture impacts on soil organic carbon storage in a sub-tropical agro-ecosystem. ScienceDirect, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706116306395?via%3Dihub>. Acesso em: 08 out. 2023 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.021>.
- IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge University Press, 2013. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>. Acesso em: 25 jun. 2024
- ISKANDAR, J. I. Normas da ABNT: comentadas para trabalhos científicos. STJ, 2012. Disponível em: <https://bdjur.stj.jus.br/jspui/handle/2011/21196?mode=full>. Acesso em: 05 jan. 2024
- MELO DAMIAN, Júnior et al. Predicting soil C changes after pasture intensification and diversification in BrazilCatena. ScienceDirect, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816221000977>. Acesso em: 19 out. 2023 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105238>.

PARÉ, G. et al. Sintetizando o conhecimento de sistemas de informação: Uma tipologia de revisões de literatura. *Informação & Gestão*, v. 52, n. 2, p. 183-199, 2015.

PRIMO, A. A. et al. Slash and burn management and permanent or rotation agroforestry systems: A comparative study for C sequestration by century model simulation. *ScienceDirect*, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479723003821?via%3Dihub>. Acesso em: 06 fev. 2024 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117594>.

RIBEIRO, J. M. et al. Agrosilvopastoral system as a potential model for increasing soil carbon stocks: a century model approach. *Scielo*, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/KxSGXjv4G33NxnZSbzgKrLq/abstract/?lang=en>. Acesso em: 06 fev. 2024 DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220136>.

SANTOS, C. O. dos et al. Monitoring of Carbon Stocks in Pastures in the Savannas of Brazil through Ecosystem Modeling on a Regional Scale. *ResearchGate*, 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/366622540\\_Monitoring\\_of\\_Carbon\\_Stocks\\_in\\_Pastures\\_in\\_the\\_Savannas\\_of\\_Brazil\\_through\\_Ecosystem\\_Modeling\\_on\\_a\\_Regional\\_Scale](https://www.researchgate.net/publication/366622540_Monitoring_of_Carbon_Stocks_in_Pastures_in_the_Savannas_of_Brazil_through_Ecosystem_Modeling_on_a_Regional_Scale). Acesso em: 07 out. 2023 DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010060>.

SMITH, P.; SMITH, J. U.; POWLSON, D. S.; ARAH, J. R. M.; CHERTOV, O. G.; COLEMAN, K.; FRANKO, W.; FROLKING, S.; GUNNEWIEK, H. K.; JENKINSON, D. S.; JENSEN, L. S.; KELLY, R. H.; KOMAROV, A. S.; LI, C.; MOLINA, J. A. E.; MUELLER, T. 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. DOI: 10.1016/S0016-7061(97)00087-600087-6).

SOBOCKÁ, Ja.; BALKOVIČ, J.; LAPIN, M. A CENTURY 5 model using for estimation of soil organic matter behaviour at predicted climate change. *ResearchGate*, 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228682211\\_A\\_CENTURY\\_5\\_model\\_using\\_for\\_estimation\\_of\\_soil\\_organic\\_matter\\_behaviour\\_at\\_predicted\\_climate\\_change](https://www.researchgate.net/publication/228682211_A_CENTURY_5_model_using_for_estimation_of_soil_organic_matter_behaviour_at_predicted_climate_change). Acesso em: 19 jan. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.17221/2099-SWR>

WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C. G. Changes in Soil Organic Carbon and Nitrogen Stocks in Long-Term Experiments in Southern Brazil Simulated with Century 4.5. *Scielo*, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/7Np8xvhbmjPN69WbNYpPhbw/?lang=en>. Acesso em: 13 out. 2023 DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20151115>.

WINK, C. et al. Dinâmica do Carbono e Nitrogênio em Plantações de Eucalipto no Rio Grande do Sul. *Scielo*, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/R96n5dMWpkJbt8jD6pGkvr/?lang=pt>. Acesso em: 13 out 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140182>.

XIAO, Y.; WATSON, M. Guidance on Conducting a Systematic Literature. *ResearchGate*, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/319343044\\_Guidance\\_on\\_Conducting\\_a\\_Systematic\\_Literature\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/319343044_Guidance_on_Conducting_a_Systematic_Literature_Review). Acesso em: 20 jun. 2024 DOI: <https://doi.org/10.1177/0739456X17723971>.

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 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X14000171>. Acesso em: 22 out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.01.008>.

ZEFERINO, L. B. et al. Simulation of changes in C and N stocks with land use and cover in Amazon Forest-Cerrado transition environment. *ScienceDirect*, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706121004687?via%3Dihub>. Acesso em: 19 de out. de 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115388>.