



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**

**INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**JANETE REGO SILVA**

**DINÂMICA DO CARBONO EM SOLOS SOB ÁREAS DE PASTAGENS NO  
BIOMA CERRADO**

**GOIÂNIA, GO,**

**2019**

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR  
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES  
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico:  Dissertação  Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

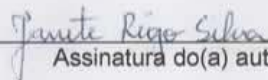
Nome completo do autor: Janete Rego Silva

Título do trabalho: Dinâmica do Carbono em Solos sob Áreas de Pastagens no Bioma Cerrado

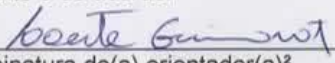
3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento  SIM  NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

  
Assinatura do(a) autor(a)<sup>2</sup>

Ciente e de acordo:

  
Assinatura do(a) orientador(a)<sup>2</sup>

Data: 021 101 2019

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

<sup>2</sup> A assinatura deve ser escaneada.

JANETE REGO SILVA

**DINÂMICA DO CARBONO EM SOLOS SOB ÁREAS DE PASTAGENS NO  
BIOMA CERRADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia,  
do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal  
de Goiás, como requisito para obtenção do título de Doutora em  
Geografia.

**Orientador:** Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior  
**Coorientador:** Prof. Dr. Pedro Alves Vieira  
**Coorientador:** Prof. Dr. Alexandre de Siqueira Pinto

Goiânia, Go

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Silva Rego, Janete  
Dinâmica do Carbono em Solos sob Áreas de Pastagens no Bioma Cerrado [manuscrito] / Janete Silva Rego. - 2019.  
XIII, 115 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Júnior; co orientador Dr. Pedro Alves Vieira; co-orientador Dr. Alexandre de Siqueira Pinto.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Goiânia, 2019.

Apêndice.

Inclui siglas, mapas, fotografias, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Pastagem. 2. Carbono. 3. Solo. 4. Manejo. 5. Modelagem. I. Ferreira Júnior, Dr. Laerte Guimarães, orient. II. Título.

CDU 911.2



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: NATUREZA E PRODUÇÃO DO ESPAÇO

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE JULGAMENTO DA DEFESA DE TESE DE DOUTORADO DE  
**JANETE REGO SILVA**

No 06 dia do mês de setembro do ano de dois mil e dezenove (2019), a partir das 14h, no Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, teve lugar a sessão de julgamento da Tese de Doutorado de **JANETE REGO SILVA**, intitulada: "DINÂMICA DO CARBONO EM SOLOS SOB ÁREAS DE PASTAGENS NO BIOMA CERRADO". A Banca Examinadora foi composta, conforme Portaria n.º 079/2019 da Diretoria do IESA, pelos seguintes Professores Doutores: **Laerte Guimarães Ferreira** (Orientador), **Karla Maria Silva de Faria** (Membro Titular Interno), **Guilherme Taitson Bueno** (Membro Titular Interno), **Ciniro da Costa Junior** (Membro Titular Externo) e **Sabrina do Couto de Miranda** (Membro Titular Externo). Os examinadores arguiram na ordem citada, tendo a candidata respondido satisfatoriamente. Às 18:15 horas a Banca Examinadora passou a julgamento, em sessão secreta, tendo a candidata obtido os seguintes resultados:

Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira (Presidente) – Ass. Laerte Guimarães

Aprovada (x) Reprovada ( )

Prof. Dr. Karla Maria Silva de Faria – Ass. Karla

Aprovada (x) Reprovada ( )

Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno – Ass. G. Taitson

Aprovada (x) Reprovada ( )

Dr. Ciniro da Costa Junior – Ass. Ciniro da Costa

Aprovada (x) Reprovada ( )

Profa. Dra. Sabrina do Couto de Miranda – Ass. Sabrina do Couto de Miranda

Aprovada (x) Reprovada ( )

Resultado final: Aprovada (x) Reprovada ( )

Houve alteração no Título? Sim ( ) Não (x)

Em caso afirmativo, especifique o novo título:

Outras observações: Tese aprovada sob a condição de uma reunião detalhada do texto, conforme recomendação da banca  
Reaberta a Sessão Pública, a Presidente da Banca Examinadora proclamou o resultado e encerrou a sessão, da qual foi lavrada a presente ata, que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora e pela Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Secretaria:.....

## AGRADECIMENTOS

Uma tese de doutorado não se desenvolve sem todo o envolvimento daqueles os quais convivo e convivi durante estes quase cinco anos. Se cheguei até aqui, apenas o fiz pela ajuda, parceria e torcida de muitos amigos, colegas e companheiros de caminhada.

Gostaria de agradecer imensamente aos meu companheiro de vida Fernando Moreira de Araújo, que sempre esteve ao meu lado, na coleta de dados, na leitura cuidadosa e nas contribuições para este trabalho, sempre me apoia com incentivos e carinho. E meu agradecimento e carinho ao meu pequeno Isaac (Newton), que trouxe muito mais amor e alegria para nosso lar, e que foi compreensivo ajudando a mamãe finalizar a tese. Também agradeço a minha família, em especial minha irmã por me ajudar nos cuidados com o Isaac.

Meu agradecimento especial aos meus orientadores prof. Dr. Laerte G. Ferreira, prof. Alexandre Pinto e o prof. Pedro Vieira, sem os quais não conseguiria desenvolver este trabalho. Mais do que orientar os três foram amigos, conselheiros e parceiros. Ajudando nos trabalhos de campo, nas análises dos dados, modelar o Century, leituras e revisões do texto.

Agradeço imensamente as minhas companheiras de campo e de várias discussões Elis Regina de Oliveira, Ana Cláudia Santos, bem como, o colega Leonardo Merelles e ao prof. Luiz Baumann, por todo o apoio e contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus companheiros da pós-graduação do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG/UFG), Ariele Elias Arantes, Adriano Faria, Leomar Rufino, Claudinei Santos, Oscar De Oro, Gislaíne Oliveira, Erika Pires, Gabriel Veloso, Silvio Braz, e tantos outros que nos ajudam com trocas de ideias. Aos meus amigos/estagiários do LAPIG João Costa, Ernane Ferreira, Pedrina Polli, Jaila Raiane e Leonardo Oliveira e Gabriela.

Agradeço aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Geografia, com os quais tive várias trocas de experiências e com quem partilhei diversos momentos em sala de aula e de participação em eventos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), agradeço pelo apoio financeiro para a realização do doutorado mediante a concessão de uma bolsa de estudos, fundamental para o bom andamento deste trabalho.

## **TRAJETÓRIA ACADÊMICA PROFISSIONAL**

Em 2005 entrei no curso de turismo no antigo CEFET (Centro Federal de Ensino Tecnológico), hoje IFG (Instituto Federal de Goiás), cursando turismo me interessei pela área de Geografia, pois tive contato com grupos de pesquisa em turismo no curso de Geografia da UFG (Universidade Federal de Goiás), no ano de 2007 fiz o vestibular e entrei para o curso de Geografia, neste mesmo ano terminei o curso de turismo e ingressei no mestrado em Geografia, sob orientação do prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira, assim, fiz o curso de bacharel em Geografia e concomitantemente o mestrado, cursando Geografia acabei me interessando pela área de Cartografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, o que me levou a conseguir uma vaga para trabalhar com pesquisa no Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), no mês de setembro de 2007. Quando terminei o mestrado no ano de 2010, ainda faltavam algumas disciplinas para concluir o bacharelado em Geografia, o qual conclui em 2012. Após a conclusão do mestrado em 2010 fui trabalhar como docente temporária na Universidade Estadual de Goiás (UEG), campus Minaçu, período no qual tive oportunidade de aprender na prática o trabalho de docência.

No ano de 2012 me envolvi com um grande projeto de pesquisa no LAPIG, no qual acompanhei como gestora de projetos os grandes grupos de pesquisa financiados pelo Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI), tais como: PPBio, Rede ComCerrado e Rede Bionorte. Já no ano de 2014 acompanhei o início de um grande projeto do LAPIG com financiamento internacional da Gordon and Betty Moore Foundation para mapeamento de pastagem.

No ano de 2015 entrei no doutorado em Geografia sob orientação do prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira, neste período participei de vários trabalhos de campo na bacia hidrográfica do Rio Vermelho com o objetivo de entender o comportamento das pastagens no Cerrado. Também, participei de diversos cursos de modelagem ambiental e disciplinas relacionadas ao solo e dinâmica do carbono.

No ano de 2016 fui efetivada como professora na Universidade Estadual de Goiás no campus de Niquelândia trabalhando na área de Cartografia e Geografia Física.

## RESUMO

O processo de degradação que acomete diversos ambientes terrestres tem levado a severos impactos na produção de alimentos, nas condições ambientais, sociais e econômicas de diversas regiões do globo. À exemplo disto, as mudanças climáticas com o aumento nos níveis dos gases de efeito estufa (GEE), principalmente do CO<sub>2</sub> tem sido um fator preocupante, pois a alteração no ciclo do carbono está propiciando aumento na temperatura da superfície terrestre, o que tem levado a diversas propostas para mitigar os efeitos desse aumento e mesmo sequestrar o CO<sub>2</sub> da atmosfera para fixar em algum componente dos diversos sistemas. Neste sentido a pastagem tem demonstrado resultados significativos em armazenar o carbono no solo, removendo este da atmosfera. Nesta pesquisa, o objetivo foi avaliar o potencial que as pastagens do bioma Cerrado possuem para sequestrar e estocar o carbono no solo. Para tanto, realizou-se levantamento de dados em campo, na bacia hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV) no estado de Goiás, com aplicação de questionários semiestruturados, bem como coleta de dados de biomassa aérea e subterrânea e do solo nesta área, também foram organizados dados provenientes da pesquisa de uma pesquisa prévia, dos quais foram obtidas informações relativas aos solos (densidade, textura, p.H, M.O, estoque de C e outras) de várias áreas de pastagem no bioma Cerrado. Assim, para entender o comportamento do carbono no solo nestas duas áreas de pesquisa realizou-se modelagem (Century) dos dados de solo nas áreas de pastagem para os pontos do Cerrado e da BHRV, também foram realizadas a proposição de cenários de manejo produtivos. Os resultados demonstraram o potencial que a modelagem tem para inferir o comportamento da dinâmica do C na pastagem, bem como entender possíveis cenários de manejos que visem melhorar as áreas com baixa produtividade e garantir aumento dos estoques de C no solo. Avaliando a correlação entre os dados observados e os simulados pelo modelo obteve-se  $r^2$  de 0,58, considerando os manejos 1 e 2 nos cenários produtivos as taxas de incremento de carbono na pastagem foram de 0,5 e 0,46 respectivamente. O modelo não obteve resultados satisfatórios para a região da BHRV, portanto, buscou-se entender os fatores que influenciaram os estoques de C nesta áreas, assim foi possível mensurar que além das variáveis do modelo, a declividade, a altitude e a CTC foram medidas que alteraram os estoques de C. O processo de modelagem de um sistema aplicado para grandes áreas tem demonstrado um grande potencial como método rápido e de baixo custo, uma vez que se tem a necessidade de obter métodos confiáveis para aplicar recursos em estratégias que aumentem a produtividade das áreas de pastagem e que possibilitem a mitigação das emissões dos GEE nos sistemas antrópicos.

Palavras-chave: Pastagem. Carbono. Solo. Manejo. Modelagem

## ABSTRACT

The degradation process that affects several terrestrial environments has led to severe impacts on food production, environmental, social and economic conditions in various regions of the globe. As an example of this, climate change with the increase in greenhouse gas (GHG) levels, especially CO<sub>2</sub> has been a worrying factor, since the change in the cycle of this gas is leading to an increase in the earth's surface temperature, which has led to There are several proposals to mitigate the effects of this increase and even sequester the CO<sub>2</sub> from the atmosphere to fix it in some component of the various systems. In this sense, the pasture has shown significant results in storing carbon in the soil, removing it from the atmosphere. The objective was to evaluate the potential of Cerrado pastures to sequester and store carbon in the soil. To this end, field data were collected in the Rio Vermelho River Basin (BHRV) in the state of Goiás, with semi-structured questionnaires, as well as aerial and belowground biomass and soil data collection in this área, data from the research by Assad et al., 2013, from which information regarding the soils (density, texture, pH, O.M, C stock and others) of various pasture areas in the Cerrado biome were obtained. Thus, to understand the behavior of carbon in the soil in these two research areas, modeling (Century) of the soil data in the pasture areas for the Cerrado and BHRV points was also performed proposing productive management scenarios. The results demonstrated the potential that modeling has to infer the behavior of C dynamics in pasture, as well as to understand possible management scenarios that aim to improve areas with low productivity and ensure increased soil C stocks. Evaluating the correlation between the observed and simulated data obtained by the model  $r$  of 0.76, considering the managements 1 and 2 in the productive scenarios the rates of carbon increment in the pasture were 0.5 and 0.46 respectively. The ABC (Low Carbon Agriculture) plan proves to be an efficient way to apply productive management scenarios as they increase livestock productivity per hectare and increase biomass as well as favoring CO<sub>2</sub> sequestration from the atmosphere. The model did not obtain satisfactory results for the BHRV region. Therefore, we tried to understand the factors that influenced the C stocks in these areas, so it was possible to measure that besides the model variables, the slope, altitude and CTC were measured. that changed the stocks of C. The modeling process of a system applied to large areas has shown great potential as a fast and low cost method as there is a need for reliable methods to apply resources in strategies that increase the productivity of pasture areas and which mitigate GHG emissions in anthropogenic systems.

Key words: Pasture. Carbon. Soil. Management. Modeling.

## LISTA DE FIGURAS

	Pg.
Figura 1: Concentração atmosférica dos principais gases de efeito estufa (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O) (entre 0 e 2005).....	17
Figura 2: O ciclo do carbono, reservatórios e fluxos dos sistema Terra.....	20
Figura 3: Diagrama com fluxos entre a planta, o resíduo da colheita e os compartimentos do solo no modelo CENTURY. P = precipitação; T = temperatura; DEFAC = fator de decomposição.....	30
Figura 4: Evolução da área de pastagem plantada em relação a natural e efetivo bovino.....	33
Figura 5: Localização geográfica do bioma Cerrado com as diferentes classes de cobertura e uso das terras, dados Mapbiomas, 2018.....	37
Figura 6: Dados climáticos provenientes dos valores médios da estação climatológica Goiás, base de dados BDMEP – 1980 a 2017.....	38
Figura 7: Estrutura da fitofisionomias e tipos de solos no bioma Cerrado.....	40
Figura 8: Mapa da localização da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho e municípios abrangidos.....	41
Figura 9: Pontos onde foram coletados solo e biomassa na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho.....	45
Figura 10: Coleta de solo com anel volumétrico para determinar a densidade do solo, coleta na camada (A), amostrador do solo (B), anel no amostrador (C), anel com o conteúdo de solo (D), amostras separadas e organizadas no laboratório (E), secagem das amostras para análise química e física (F).....	46
Figura 11: Relação entre os teores de argila e os estoques de C do solo nos sítios de pastagem (Assad et al., 2013) utilizados para calibração do modelo Century.....	51
Figura 12: Localização dos pontos de calibração e validação da pastagem no bioma Cerrado.....	53
Figura 13: Estoques de carbono em área de Cerrado nativo e pastagem com 36 anos de conversão.....	58
Figura 14: Transição da cobertura e uso da terra das áreas estudadas entre os anos de 1985 e 2017.....	59
Figura 15: Estoques de C do solo em pastagens no Cerrado simulados pelo modelo Century e observados em Assad et al. (2013). Os valores entres parêntesis representam erros do modelo.....	60
Figura 16: Resultados entre os dados simulados e observados Assad et al., (2013), com os erros médios entre os valores de estoque de C nas áreas de pastagem.....	61
Figura 17: Relação entre os dados de estoque de C (Mg C ha <sup>-1</sup> ) de campo e o resultado do modelo pastagem para o Cerrado, na profundidade de 0-20 cm, no processo de validação do modelo.....	62
Figura 18: Classe de solos do bioma Cerrado e os pontos de estoque de carbono estimados com dados de campo no ano de 2010.....	66
Figura 19: Áreas com projetos de recuperação de pastagem do Plano ABC entre os anos de 2013 – 2018.....	70
Figura 20: Erros médios entre os dados de campo e os simulados pelo modelo para a BHRV no ano de 2016.....	73
Figura 21: Modelo aplicado para a BHRV com base em dados de campo coletados no ano de 2016.....	74
Figura 22: Relação entre os teores de argila (%) e os estoques de carbono do solo sob pastagem na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, Goiás.....	75

Figura 23: Peso das variáveis preditoras para o modelo de regressão PLS considerando as variáveis preditoras do modelo teor de C. Em que: Alt = Altitude, Arg= Argila, BD= Densidade, CTC= Capacidade de Troca Catiônica, Dec= Declividade e Silt= Silte.....	78
Figura 24: Coeficiente* de regressão para BHRV, para as variáveis do modelo.....	79
Figura 25: Peso das variáveis preditoras para o modelo de regressão PLS.....	81
Figura 26: Lista de coeficiente* de regressão para BHRV, considerando a relação com o índice de degradação do solo.....	82

## LISTA DE TABELAS

	Pg.
Tabela 01: Alterações nas concentrações de gases traços, desde a revolução industrial.....	18
Tabela 02: Características dos pontos utilizados para realizar a calibração dos dados da pastagem no Cerrado.....	51
Tabela 03: Informações relativas aos vinte e um pontos utilizados para validação do modelo.....	53
Tabela 04: Pontos analisados e estações climatológicas correspondentes no Cerrado..	55
Tabela 05: Resultados comparados dos modelos de manejo tradicional, com os cenários de produtividade da pastagem. Cenário 1 (pastejo no período chuvoso), Cenário 2 (pastejo em todo o ano).....	63
Tabela 06: Características das áreas de pastagem na BHRV amostradas em 2016 PREC = Precipitação.....	72
Tabela 07: Correlação de Pearson, Kendall e Spearman entre o índice de degradação e o teor de carbono nas camadas de solo, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm.....	76
Tabela 08: Resultado da modelagem das variáveis resposta.....	77
Tabela 09: Modelagem das variáveis de degradação de solo e biológica e estoque de carbono.....	79
Tabela 10: Resultado da modelagem das variáveis com o índice de degradação.....	80

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	14
1.2. Perguntas Científicas .....	18
1.3. Hipóteses .....	18
1.4. Objetivo Geral .....	18
1.5. Objetivos Específicos .....	18
2. CAPÍTULO II - Referencial Teórico.....	19
2.1. Mudanças climáticas globais e o ciclo do carbono .....	19
2.2. Pastagens e a mitigação das emissões de carbono para a atmosfera .....	25
2.3. Matéria Orgânica e dinâmica do Carbono .....	29
2.4. Modelagem da dinâmica de carbono do solo .....	32
2.5. Sistema produtivo da pecuária no Brasil .....	34
3. Capítulo III – Materiais e Métodos .....	39
3.1. Área de Estudo - Bioma Cerrado .....	39
3.2. Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV) - Unidade ambiental e amostral do Cerrado .....	43
3.2.1. Características da BHRV .....	43
3.3. Unidade amostral: Coleta de dados .....	46
3.4. Modelagem Estatística - Partial Least Square (PLS) .....	50
3.5. Calibração e validação do modelo Century para estudo de pastagens no Cerrado .....	52
3.6. Cenários alternativos de uso da pastagem para avaliação do potencial de sequestro de C no solo .....	57
3.7. Base de Dados Climatológicos.....	58
3.8. Avaliação da performance do Modelo Century .....	58
4. Capítulo IV - Resultados e Discussão .....	60
4.1. Calibração e validação do modelo Century para o estudo da dinâmica dos estoques de C de solos sob pastagem .....	60
4.2. Cenários alternativos de manejo para pastagem .....	65
4.3. Cenários de pastejo e Monetização de manejos produtivos.....	69
4.4. Características dos solos sob pastagem na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho e aplicação do modelo Century para estudo da dinâmica de C .....	75
4.5. Fatores responsáveis pela variação de C do solo sob pastagem na BHRV .....	78
4.6. Condicionantes de controle dos estoques de carbono no solo .....	79
Considerações Finais .....	86
Referências Bibliográficas .....	88
Apêndice .....	105

## 1. Introdução

O século XXI apresenta várias crises, dentre essas podemos destacar a econômica (globalização e livre mercado), a energética (petróleo e carvão), a social (desigualdade e injustiça) e a ambiental, sobretudo com destaque para as mudanças climáticas globais (Blois et al., 2013; Urban et al., 2016). Estas, por sua vez, estão associadas às drásticas mudanças de uso e cobertura da terra, na qual processos como os desmatamentos e queimadas (Van Der Werf et al., 2008; Dai, 2013), degradação dos solos (Smith, 2012), poluição dos recursos hídricos (Delpla et al., 2009) e a perda da biodiversidade (Phelps et al., 2012; Skogen et al., 2018) são alguns dos fatores que contribuem para o detrimento da qualidade ambiental, comprometendo o desenvolvimento da vida na Terra.

O desafio que se impõe para a população mundial diz respeito ao crescente aumento do consumo médio das nações, relacionado com a ampliação das demandas por alimentos (segurança alimentar) e por tecnologias (veículos, celulares e outros), prioritariamente. Essa elevação da demanda produz impactos nos ciclos climáticos globais, nas condições ambientais locais e regionais e, conseqüentemente, na segurança alimentar (Balatsky et al., 2015; Nelson et al., 2018; Smith e Myers, 2018). Destacam-se neste cenário as nações em desenvolvimento (Argentina, Brasil, China, Índia, e outras) as quais pressionam diretamente pelo aumento destas demandas, por meio dos processos de mudanças do uso da terra e de industrialização, causando impactos severos ao meio ambiente, alterando os ciclos biogeoquímicos e provocando aumento nas quantidades de alguns dos principais Gases de Efeito Estufa (GEE), tais como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), sendo o  $\text{CO}_2$  o mais abundante na atmosfera, embora não seja o mais reativo (Vilella e Freitas, 2012).

No Acordo de Paris (2015) elaborado pelo grupo da Organização das Nações Unidas (ONU) Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), no qual se avalia as emissões dos GEE e sua relação com o clima global, foram propostas ações que restringem o aumento da temperatura do ar em até  $1,5^\circ\text{C}$  para o século XXI baseado em níveis pré-industriais (contudo já se sabe que a meta não será alcançada) podendo chegar a um aumento de  $3^\circ\text{C}$  no próximo século (2100), haja vista a falta de comprometimento de algumas nações com o acordo, sendo este um cenário catastrófico do ponto de vista climático e ambiental, pois as tendências seriam de aumentos constantes das temperaturas de superfícies,

intensificações dos períodos de secas e ainda aumento dos níveis médios dos oceanos (UNO, 2018). Estas alterações poderão ser observadas mais diretamente pela maior recorrência de eventos extremos em diferentes regiões do planeta e levando a impactos diretos no modo de vida que foi adotado pela maior parte da população mundial.

As emissões dos GEEs no Brasil sofreram variações significativas ao longo do período em que se iniciou o monitoramento. Analisando de 1990 a 2004 houve um aumento das emissões passando de 2,78 GtCO<sub>2</sub>eq para 3,9 GtCO<sub>2</sub>eq, no período de 2005 a 2010 houve uma redução destas pela metade, no período subsequente até 2016 houve uma estabilização das emissões. Estas oscilações nas emissões dos GEEs no Brasil estão relacionadas diretamente com os ciclos nas mudanças de uso da terra, as atividades que se destacam pelas emissões de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) foram as mudanças de uso da terra e florestas e a agropecuária, as quais correspondem a 63% (42 bilhões de ton de CO<sub>2</sub>eq (GWP)) e 18% (12 bilhões de ton de CO<sub>2</sub>eq (GWP)), respectivamente, (SEEG, 2018). Em relação às emissões de 2017, as mudanças de uso da terra continuam sendo o principal setor emissor (46%), enquanto a agropecuária (24%) e a geração de energia (21%) passaram a ter maior destaque desde o início do monitoramento (SEEG, 2018). Portanto, os setores relacionados à produção de alimentos, i.e., mudança no uso da terra e floresta e agropecuária, correspondem a 70% das emissões brasileiras, sendo que parte dessas emissões são provenientes do desmatamento para a promoção da expansão da agropecuária, do uso de combustíveis fósseis e do tratamento de efluentes industriais (SEEG, 2017; AZEVEDO et al., 2018).

O aumento do desmatamento na Amazônia e no Cerrado tem elevado as emissões do setor de mudança de uso da terra e floresta em 23% no ano de 2016, neste sentido, as políticas de controle e inibição do desmatamento são fundamentais para redução das emissões (SEEG, 2017). O segundo setor com maior quantidade de emissão de GEEs é a agropecuária, por sua vez, as emissões deste estão associadas à produção animal e vegetal, ao uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura (N<sub>2</sub>O), à deposição de dejetos animais (CH<sub>4</sub>), à decomposição de resíduos das culturas e ao cultivo de organossolos (SEEG, 2017). Especificamente em relação à pecuária, uma das principais atividades econômicas do Brasil, a qual contribui para a emissão dos GEEs, quando, por meio da degradação das pastagens (gramínea e o solo) promovem emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (DIAS-FILHO, 2014), e pelo processo de fermentação entérica dos herbívoros ruminantes (bovino, ovinos, bubalinos e caprinos) o CH<sub>4</sub> (FAO, 2019).

A pastagem é a principal fonte de alimentação dos ruminantes no mundo, ocupando uma área de 50 milhões de km<sup>2</sup>, representando 37% da cobertura de uso da terra e cobertura vegetal remanescente terrestre (MARA, 2012; YANG, 2012), enquanto as áreas de pastagens com alto potencial produtivo, i.e. 20%, estão sendo convertidas para a expansão agrícola, dada a alta demanda por alimentos mundialmente (RAMANKUTTY et al., 2008; DIXON et al., 2014). Ainda, estima-se que 20% das áreas de pastagem no planeta estejam com algum grau de degradação, sendo que a maior parte se concentra em regiões áridas (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011).

No Brasil a maior parte do rebanho é criado à pasto; mapeamentos recentes mostraram que as pastagens cultivadas ocupam 16% (137,3 milhões de hectares - Mha) e 24% (48,6 Mha) do território brasileiro e do bioma Cerrado (região reconhecida como grande produtora de alimentos para exportação), respectivamente, em 2017 (MapBiomass, 2018; Parente et al., 2017). Destes, estima-se que há mais de 100 milhões de hectares em diferentes estágios de degradação entre o Brasil Central e a Amazônia Legal Brasileira (DIAS-FILHO, 2014), regiões com maiores concentrações de efetivo bovino no Brasil (214 milhões de cabeças, aproximadamente) (IBGE, 2018). Neste cenário, as pastagens degradadas no bioma Cerrado têm destaque, uma vez que essas são de interesse no que diz respeito à recuperação, e mesmo como possíveis áreas para usos como agricultura e reflorestamento. No Cerrado as áreas destinadas à proteção dos remanescentes de vegetação nativa são poucas, aproximadamente 8,2% da área total (CNUC MMA, 2018), portanto, é fundamental perceber a importância da recuperação de áreas degradadas como ação para impedir novos desmatamentos e avanços sob áreas protegidas.

Pastagens com manejos inadequados ou extensivas no bioma Cerrado contribuem para a perda de matéria orgânica no solo (MOS), devido aos processos da perda da produtividade natural das pastagens (níveis de degradação) e do aumento da proporção de solo exposto (sobreaquecimento da superfície e maior volatilização dos macros e micros nutrientes), e, conseqüentemente, promovem maior emissão de carbono por meio da mineralização do solo (Ferreira et al., 2016, Siqueira Neto et al., 2010). Por outro lado, o manejo conservacionista/ecológico dos solos em áreas de pastagens favorece o sequestro e estoque de carbono (Cerri et al., 2006), uma vez que nos solos estão os maiores reservatórios de carbono (Vilella e Freitas, 2012; Lal, 2004).

A pastagem cultivada no território brasileiro possui dimensões continentais e, devido à essa realidade, estudos e análises sobre a dinâmica do carbono no solo em toda sua área demandaria grande custo operacional e financeiro, seja para o deslocamento (regiões), coleta (solo e biomassa) e análises laboratoriais, para o entendimento das potencialidades de sequestro e mitigação em diferentes tipos de pastagens e manejos nos mais variados ecossistemas. Nesse sentido, a modelagem ambiental, por meio de modelos matemáticos e estatísticos, permite a simulação e o entendimento dos diferentes aspectos da complexidade do fenômeno estudado (espacial e temporal) por meio da integração e interação das diferentes variáveis analisadas (Leal e De-Polli, 2008).

Pulina et al. (2018), utilizando o modelo de simulação PaSim (Riedo et al., 1998), obtiveram resultados que indicam uma boa correlação entre os dados obtidos em campo e os dados modelados para fluxo de carbono (C), temperatura e umidade dos solos em áreas de pastagens na região do Mediterrâneo. Lima et al. (2011), em termos comparativos entre usos da terra, utilizaram o modelo Century (Parton et al., 1988) para demonstrar que as áreas de pastagens com baixa produtividade quando substituídas por ciclos de plantio de eucalipto promovem maior fixação de carbono no solo. Liu et al. (2011) observaram, por meio do modelo RothC (Coleman e Jenkinson, 1996), que pastagens bem manejadas na Austrália possuem maior capacidade de sequestro e estoque de C no solo, pois entre 1991 a 2006, o carbono no solo aumentou de 6 para 8 tonCha<sup>-1</sup>. Em diversos estudos, o modelo Century tem demonstrado um desempenho satisfatório para avaliar a dinâmica de C em diferentes sistemas de usos das terras em ambientes tropicais (Cerri et al., 2007b; Bortolon et al., 2011; Tornquist et al., 2009). Outro modelo para dinâmica da paisagem é o dinâmica EGO, que apresenta funções de transição baseadas em vizinhança em múltiplas escalas, com aplicação de regressão logística para calcular as probabilidades de transição dinâmica espacial (Soares-Filho et al., 2002).

Nesta pesquisa será utilizado o modelo Century, o qual tem demonstrado um desempenho satisfatório para avaliar a dinâmica de C em diferentes sistemas de uso da terra em ambientes tropicais (Cerri et al., 2007; Bortolon et al., 2011; Tornquist et al., 2009). Apesar de haver diversos estudos demonstrando a importância e aplicação da modelagem ambiental na dinâmica do carbono no sistema de pastagem, a maioria destes são restritos a uma área específica. Sabe-se que a utilização das pastagens de modo extensivo contribui para alterar significativamente a M.O e assim, alterar o carbono no solo, resultando na perda do potencial produtivo das áreas de pastagem levando à degradação. Assim, a investigação e determinação

do comportamento de C no sistema solo-planta-atmosfera possibilita ações mais efetivas para reduzir a emissão dos principais gases que contribuem para as alterações ambientais. Neste sentido, essa pesquisa tem como foco avaliar o potencial de sequestro e fixação de C em solos sob pastagem localizados no bioma Cerrado, uma vez que essa é a principal cobertura de uso da terra no bioma.

## **1.2. Perguntas Científicas**

- O modelo Century consegue representar a dinâmica de C em solos sob pastagem no Cerrado?
- Qual o potencial de sequestro de C de pastagens ao se utilizar manejo conservacionista no bioma Cerrado?
- Quais são os fatores que influenciam as variações nos teores de C em solo sob pastagens?

## **1.3. Hipóteses**

- As pastagens do gênero *Urochloa*, quando bem manejadas, contribuem para o aumento dos estoques de carbono na camada superficial do solo.
- Pastagens bem manejadas e produtivas sequestram mais carbono da atmosfera e são ambientalmente mais sustentáveis.

## **1.4. Objetivo Geral**

Avaliar o potencial das pastagens para estoque e sequestro de carbono no bioma Cerrado.

## **1.5. Objetivos Específicos**

- Calibrar e validar o modelo Century para estudar os estoques de C do solo em áreas de pastagem no Cerrado;
- Determinar o potencial de sequestro de carbono em solos sob pastagem com manejo produtivo;
- Entender os fatores edáficos, em escala local, responsáveis pela variação dos estoques de C em solos sob pastagem.

## 2. CAPÍTULO II - Referencial Teórico

### 2.1. Mudanças climáticas globais e o ciclo do carbono

A atmosfera é constituída por vários gases como o nitrogênio, o oxigênio, argônio e outros, os quais possuem baixa interação com a radiação emitida pelo sol e não interagem com a radiação infravermelha emitida pela Terra; já os gases de efeito estufa como o dióxido de carbono, o metano, o óxido nitroso e o ozônio (GEE) absorvem e emitem radiação infravermelha (Machado, 2005). As alterações na proporção destes gases na atmosfera foram mais significativas a partir da Revolução Industrial (1850), haja vista o aumento na queima de combustíveis fósseis pelas indústrias e residências, bem como o desmatamento para a conversão da cobertura e uso das terras (Ellis et al., 2010; Ellis et al., 2013).

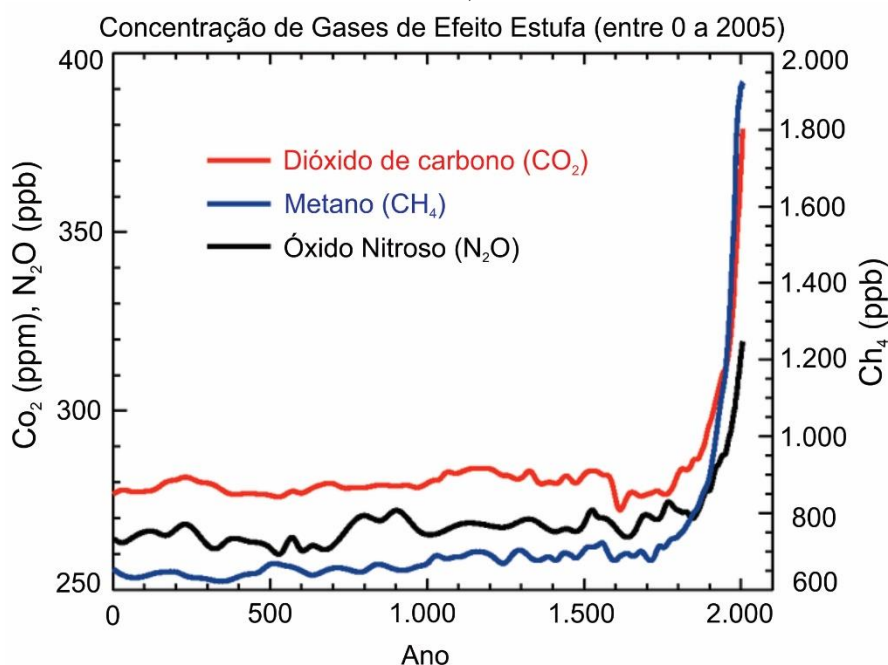
No que diz respeito às mudanças climáticas globais, essas estão diretamente relacionadas com o aumento da concentração dos GEEs na atmosfera. O efeito estufa é uma pré-condição para que haja vida no planeta, cuja concentração de gases possibilita que a temperatura média da superfície terrestre seja de +15°C. De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2013), o aumento da concentração de gases de efeito estufa nas últimas décadas se deve às emissões antropogênicas, há uma certeza de cerca de 90% de que o aumento da temperatura está relacionada com essas alterações antropogênicas dos últimos 50 anos.

A atual concentração de gases de efeito estufa (GEE) é resultado líquido da histórica emissão e remoção atmosféricas passadas. Os GEE são emitidos por processos naturais e pelas atividades humanas ou são formados a partir das reações com outros gases (precursores). O vapor d'água é o mais abundante e o mais importante, contudo a alteração deste por meio das atividades antrópicas é baixa, embora essas atividades possam afetar a sua concentração indiretamente, uma vez que, uma atmosfera mais quente pode conter mais vapor d'água (Villela e Freitas, 2012).

Dentre os GEE destacam-se o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), o Metano (CH<sub>4</sub>) e o Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), sendo estes os três gases quimicamente estáveis e, portanto, que persistem na atmosfera por décadas ou mais anos, de tal forma que a emissão e concentração destes na

atmosfera altera os ciclos climáticos e biogeoquímicos global. O forçamento radiativo<sup>1</sup> total positivo do planeta indica que vem aumentando a energia no sistema Terra, esse aumento se relaciona diretamente com as atividades humanas, como produção de energia e agropecuária, em tais processos há emissão de GEE como o CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> nota-se um aumento destes sem precedentes, em medições de pelo menos 1.000 anos (Figura 01) (IPCC, 2013).

Figura 01: Concentração atmosférica dos principais gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) (entre 0 e 2005).



Como se sabe, as proporções das emissões dos GEE variam de país para país, em função das atividades econômicas que os mesmos desenvolvem. De maneira geral, os países desenvolvidos têm contribuído mais em termos de emissão de GEE em relação aos países em desenvolvimento. Embora as emissões ocorram localmente em cada país emissor, no contexto global de circulação de energia e matéria os impactos ocorrem em todo o planeta; desta forma, fenômenos como aumento das temperaturas máximas e da quantidade de dias quentes, aumento do índice de calor, aumento da desertificação continental durante o verão e risco de seca e estiagem, acidificação da água oceânica, branqueamento de corais, aumento do nível do mar,

<sup>1</sup> Forçamento radiativo é definido como a diferença entre a entrada e saída de energia radiante num dado sistema climático. Um forçamento positivo (mais energia entrando) tende a aquecer o sistema, enquanto o forçamento negativo (menos energia entrando) tende a resfriar o sistema.

intensificação do EL Niño e, por fim, a disseminação de doenças tropicais ocorrem em escalas regionais e globais (Villela e Freitas, 2012; IPCC, 2013).

Os GEE que em elevada concentração na atmosfera estão provocando as mudanças climáticas, as quais são alterações no clima que ocorrem ao longo do tempo devida à variabilidade natural ou antrópica (BRASIL, 1998). No Brasil, as alterações climáticas têm produzido mudanças significativas no regime de chuvas, e na elevação da temperatura média de algumas regiões. Também, nota-se a ocorrência com maior frequência de inundações, incêndios e outros fenômenos, que estão sendo agravados. No bioma Cerrado estas mudanças no clima são responsáveis por períodos mais longos de estiagem que afetam a disponibilidade de água para o abastecimento urbano e rural, dentre outros impactos (Silva et al., 2018).

Cada um dos GEE apresentam concentrações distintas na atmosfera por período de tempo (Tabela 01), seja nas taxas anuais de concentração e/ou tempo de volatilização de cada composto na atmosfera (de várias décadas a séculos), gerando perturbação no balanço de energia no sistema Terra (Villela e Freitas, 2012). Na tabela 01 pode-se verificar a concentração atual e pretérita destes gases.

Tabela 01: Alterações nas concentrações de gases traços, desde a revolução industrial.

Gás	Concentração atual	Concentração até 1750	Taxa presente de crescimento (%/ano)
Dióxido de Carbono	379 ppm	31	0,4
Metano	1745 ppb	151	0,4
Óxido Nitroso	314 ppb	17	0,25
Clorofluorcarbonos CFC's	268 ppt	--	decréscimo

Fonte: Adaptado LAL, (2004). A ppm (partes por milhão,  $1/10^6$ ) ou ppb (partes por mil milhões, mil milhões = 1000 milhões,  $1/10^9$ ) é a razão entre o número de moléculas de gás e o número total de moléculas de ar seco. Por exemplo, 300 ppm significa 300 moléculas de um gás por um milhão de moléculas de ar seco.

A tabela 01 indica que o CO<sub>2</sub> é aquele que possui a maior concentração na atmosfera, sendo que a emissão deste gás é superior aos demais e se mantém crescente (IPCC, 2013). Logo, a alta concentração deste provoca alteração na proporção de GEEs, elevando a temperatura da

atmosfera próxima à superfície terrestre. O carbono é o quarto elemento mais abundante na atmosfera, o mesmo é essencial para a vida na terra, uma vez que todos os organismos bióticos, bem como os fatores abióticos, são compostos por este em suas diferentes formas.

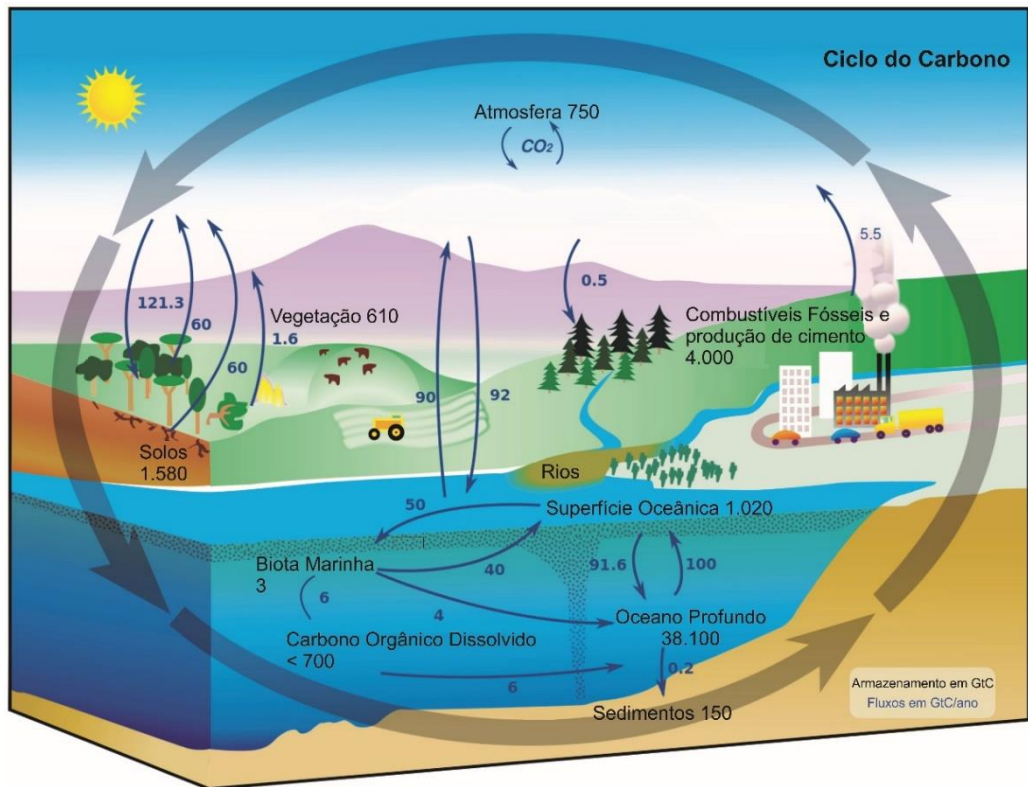
No que diz respeito à trajetória do carbono no sistema Terra, sabe-se que as plantas absorvem o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da atmosfera; assim, por meio do processo de fotossíntese, a energia da luz solar é captada para formar as ligações entre os átomos de carbono, formando molécula orgânicas, as quais são utilizadas como fonte de energia. O carbono (C) na forma de gás dióxido de carbono é absorvido pelas plantas, em que metade deste é liberado por elas mesmas no processo de respiração e, uma outra parte, é absorvida pelo solo via senescência ou exsudação (Ferreira, 2013). Os demais materiais orgânicos gerados pelo processo da fotossíntese constituem a vegetação viva, sendo a maior parte adicionada ao solo como resíduo vegetal ou restos de raízes, posteriormente depositado no solo na forma de dejetos ou tecidos orgânicos e, outra metade, exalada para a atmosfera (Brady e Weil, 2013).

Ainda, sobre o ciclo do carbono, este envolve os principais reservatórios da Terra: a atmosfera, a crosta terrestre e os oceanos. Em específico, podemos citar os depósitos de combustíveis fósseis – carvão, petróleo, gás natural e outros; esses, por sua vez, são reservatórios de ambientes abióticos. Quando um elemento fica em curto período de tempo, ele está em um *pool* de troca, ou seja, um reservatório que funciona como um ambiente de armazenamento do C até que este retorne para o ciclo. Os *pools* de troca são fatores biológicos, os quais fazem parte do ciclo rápido, a exemplo de: plantas e animais que temporariamente usam carbono em seus sistemas, e o liberam por meio da respiração ou decomposição (Villela e Freitas, 2012). O ciclo global do carbono é formado por dois ciclos que acontecem em diferentes velocidades, o biogeoquímico e o biológico. No primeiro, há a transferência do carbono entre a atmosfera e a litosfera, enquanto no segundo, o carbono faz parte dos processos biológicos (i.e. molecular, celular e fisiológico) de seres vivos. Quanto ao ciclo biogeoquímico do carbono, que é fechado, sempre se observa um fluxo de reciclagem deste elemento (Brady e Weil, 2013).

O ciclo do carbono é constituído por quatro grandes reservatórios, interconectados pelas diversas formas de troca: a atmosfera, a biosfera (a vegetação, o solo, lagos e rios), o oceano e os sedimentos (principalmente combustíveis fósseis) (Lal, 2004; Brady e Weil, 2013). O ciclo nestes reservatórios ocorre em função de processos físicos, químicos, geológicos e biológicos

(Figura 02). Na figura 2 pode-se observar uma representação do ciclo, bem como as trocas entres os reservatórios.

Figura 02: O ciclo do carbono, reservatórios e fluxos dos sistema Terra.



Fonte: modificado de NASA Earth Science Enterprise, nasa.gov.

O balanço/ciclo do carbono funciona em um sistema de trocas entre os reservatórios, de tal forma que, quando se analisa o balanço de um reservatório, pode-se obter informações para entender se este está funcionando como sumidouro ou fonte de emissão do dióxido de carbono. Nos solos estão os maiores reservatórios de carbono da crosta continental, i.e. 1500 Gt (Gigatoneladas), e na vegetação apenas 610 Gt, de tal forma que as alterações no solo, como revolvimento, podem ocasionar maiores emissões para a atmosfera (Figura 02). Em áreas de agropecuária com sistema estável, a liberação do carbono na forma de dióxido, por meio da oxidação da matéria orgânica do solo é equilibrada pela entrada dos resíduos das plantas, contudo, as práticas de manejo como o desmatamento, a drenagem artificial e uso do fogo, resultam em uma perda líquida do carbono desse sistema para a atmosfera (Brady e Weil, 2013).

Quanto às emissões dos GEEs, o Brasil é signatário da Convenção-Quadro das Nações Unidas para o meio ambiente (UNFCCC) e tem por obrigação a elaboração do “Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal”. Para tanto, a iniciativa não-governamental do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) em parceria com diversas instituições tem avaliado as emissões geradas pelos diversos setores produtivos brasileiros. Dessa forma, os dados das emissões brutas de GEE do Brasil em 2016 passaram de 1,72 Giga toneladas de gás carbônico equivalente (GtCO<sub>2</sub>eq) para 2,27 GtCO<sub>2</sub>eq, um aumento de 32% em relação ao ano de 1990 (referência para a medição das variações das emissões de GEE). Desse total, 51% provêm do desmatamento, sobretudo na Amazônia e no Cerrado. Em 2016, a área desmatada na Amazônia foi de 7.893 km<sup>2</sup>, o dobro da meta proposta para 2020 – 3.900 km<sup>2</sup>, estes dados demonstram que o país está indo na contramão das metas de redução assumidas no acordo de Paris em 2015 (SEEG, 2018).

O desmatamento no Brasil está diretamente relacionado às emissões por mudança de uso da terra, destinada principalmente a agropecuária, correspondendo a 74% das emissões do país (SEEG, 2018; Gibbs et al., 2010). Em relação aos combustíveis fósseis, estes têm pequena participação nas emissões brasileiras, uma vez que, a matriz energética do país é considerada “Limpa” devido ao uso de fonte hidráulica (hidroelétricas), a qual corresponde a 66,2% da matriz em 2016 (BRASIL, 2016). Dados apresentados pelo SEEG (2018), demonstraram que os setores de energia e resíduos apresentaram reduções em suas emissões de GEEs em 2016, isso se deve ao fato da recessão econômica sofrida pelo país, desde o ano de 2013. As emissões pelo setor de energia e processos industriais e uso de produtos caíram 7,3% e 5,9% em 2016 em comparação com o ano anterior.

Ainda que as emissões brasileiras sejam significativas, estas são baixas comparadas aos países desenvolvidos. As emissões do Brasil ocupam em torno de 1,2%, enquanto os países mais industrializados ocupam entre 1,5 e 5,5% das emissões em média. O Brasil tem destaque no cenário mundial devido ao seu alto potencial de sequestro e armazenamento de carbono da atmosfera, uma vez que possui diversos sistemas florestais, com destaque para os biomas Amazônia e Cerrado, que apresentam grande potencial para funcionar como sumidouros de carbono (Leite e Ferreira, 2012; Rochedo et al., 2018).

### **2.3. Pastagens e a mitigação das emissões de carbono para a atmosfera**

A atividade agropecuária é fundamental para a economia brasileira tanto pelo abastecimento interno quanto pelas exportações, sendo o Brasil um dos maiores produtores de carne bovina do mundo. Sendo que, 75% da produção é consumida pelo mercado interno e o restante é exportado para países da Europa e Ásia, principalmente (IBGE, 2018).

O aumento do consumo de alimentos, em consequência do crescimento populacional, tem preocupado governantes de vários países quanto à necessidade de melhorar o uso e manejo das terras, de tal forma que seja possível intensificar a produção em áreas menores e convertidas (i.e. desmatadas), aumentando a produtividade e reduzindo os desmatamentos para abertura de novas áreas. No Brasil existem diversos marcos regulatórios que o governo assumiu para diminuir o desmatamento e reduzir a emissão dos GEEs, tais como a Moratória da Soja para os municípios localizados no bioma Amazônico (Gibbs et al., 2015), Protocolo Etanol Verde e Termos de Ajuste de Conduta sobre a origem do gado (Rudorff et al., 2011; Aguiar et al., 2011) e o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC). O Plano ABC é respaldado pelo Decreto nº 7.390 de 2010, que regulamenta os Art. 6º, 11º e 12º da Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187/2009, que estabelece em seu Art. 3º, Inciso IV o “Plano para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura” como um dos planos adotados pelo país como efeito do referido Decreto e da referida Lei (BRASIL, 2009, 2010).

O Plano ABC está inserido na política nacional de redução das emissões de GEE pelas atividades agropecuárias brasileiras, esse tem como objetivos além da redução das emissões desses, garantir a modernização e sustentabilidade do manejo agropecuário, ampliar a fixação de CO<sub>2</sub> atmosférico na vegetação e no solo, incentivar a adoção de sistemas de produção sustentáveis, por meio da recuperação das pastagens degradadas (15 milhões de hectares) e integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) (4 milhões de hectares) e sistemas agroflorestais; sistemas de plantio direto; fixação biológica do nitrogênio; e ainda florestas plantadas. Incentivar o uso de tratamento de dejetos animais para geração de biogás e composto orgânico; promover ações para reduzir o desmatamento de florestas decorrentes dos avanços da pecuária e outros fatores (Observatório ABC, 2017). De acordo com Gianetti (2017), muito mais que o financiamento em si, o Plano ABC visa capacitar recursos humanos e conscientizar a população acerca da agricultura de baixa emissão de carbono, bem como promover a regularização ambiental e fundiária, e subsidiar estudos e pesquisas na área de inovação tecnológica

agropecuária. Para assegurar a transparência na divulgação dos resultados e garantir a eficiência do Plano, são elaborados inventários nacionais de emissões de GEE e apresentados à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática a cada 4 anos (Gianetti, 2017).

Neste sentido, as áreas de pastagens, as quais recobrem aproximadamente dois terços de toda a área convertida do planeta (Mara, 2012), e no Brasil corresponde a cerca de 16% do território (MapBiomass, 2018), representam a maior reserva de terras para a expansão de outras atividades antrópicas, como a agricultura, a qual poderá aumentar a produção de alimentos sem pressionar áreas remanescentes, considerando a utilização de pastagens pouco produtivas e/ou degradadas. Estas áreas se mostram altamente favoráveis para o cumprimento das metas de redução das emissões de GEE e aumento da produtividade do setor agropecuário nacional.

Em termos ecológicos as pastagens podem ser definidas por sua estrutura e composição florística. E em termos de uso e ocupação estas podem ser definidas como áreas a serem utilizadas para alimentação de animais (gado, cavalos, ovelhas e outros). A produção brasileira de carne bovina, em sua maior parte, é realizada a pasto, o que lhe confere vantagens, como o baixo custo de produção e a capacidade de oferecer melhores condições de sanidade e conforto animal. Entretanto, o manejo inadequado pode promover a perda de produtividade, vigor e desempenho animal, sendo estas uma das características do sistema pecuário do Brasil, as quais condicionam as causas de degradação das pastagens (Engelhardt et al., 2015). No Brasil, a maior parte do efetivo da pecuária é de bovinos, com um total de 214 milhões de cabeças; destes 20% são exportados (ABIEC, 2019), sendo assim, 18% do rebanho bovino mundial é de origem brasileira, este grande rebanho contribui significativamente para as emissões de GEE, destaque para o metano produzido pelo animal durante o processo de ruminação.

Estima-se que aproximadamente 70% e 80% das pastagens estejam com algum grau de degradação no Brasil (Macedo et al., 2000; Zimmer et al., 2012), desta forma, comprometendo o sequestro e reduzindo assim a mitigação das emissões deste setor de atividade. Dentre os gases, o metano (CH<sub>4</sub>) proveniente principalmente da fermentação entérica, via processo digestório de herbívoros, manejo dos dejetos de animais e outros. A emissão de metano tem relação direta com a eficiência ruminal, pois a fermentação do alimento ingerido pelo animais é um processo da população microbiana ruminal, que converte carboidratos estruturais (fibras) em ácidos graxos voláteis, como o ácido propiônico e butírico (Primavesi et al., 2012).

A emissão do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) nas áreas de pastagem está associada à prática de manejo que contribui para diminuição da matéria orgânica do solo e biomassa, por meio dos processos do revolvimento do solo, superpastejo, queima e outros (Dias-Filho, 2011).

No que diz respeito às principais formas de emissão de C nas áreas de pastagem, esta se dão em decorrência, em primeiro momento, do desmatamento, para a formação da pastagem, na instalação do pasto, e ainda no manejo adotado para o uso desta pastagem.

O desmatamento é o meio pelo qual a remoção da vegetação nativa abre espaço para outras coberturas, geralmente antrópicas. Embora no processo de retirada da cobertura vegetal nativa e instalação do pasto os estoques de C no solo se elevem nos primeiros meses, devido à incorporação de matéria orgânica que vai ser incorporada no solo, por meio da deposição do material vegetal proveniente de resíduos como galhos finos, serapilheira e raízes. Contudo, no período seguinte, em poucos meses os estoques de C caem drasticamente, em relação aos valores que se tinham na vegetação nativa, a redução dos estoques de C no solo, estão associados diretamente com a forma intensiva da retirada da vegetação nativa e queima (Costa Junior, et al., 2011; Rosendo e Rosa, 2012).

Na formação do pasto, após a remoção da cobertura vegetal nativa, nos manejos tradicionais há no primeiro ano a instalação de uma cultura agrícola de baixa demanda por recursos, milho, feijão, e até mesmo o arroz. O pasto é plantado em consórcio com estas culturas. Após a colheita há a formação do pasto para a alimentação animal e este processo não dura mais que 12 meses (Barreira, 1997). A formação da pastagem e seu manejo nos anos subsequentes são fontes de emissão de C, em manejos tradicionais, e pode ser sumidouros em sistemas produtivos (Tarré et al., 2001; Corbeels, et al., 2016), com a adoção de técnicas como renovação do pasto, com plantio de espécies adequadas ao ambiente, baixa remoção da vegetação nativa, que pode ser fonte de matéria orgânica para aquele solo, e ainda o manejo adequado dos animais, principalmente na adoção do sistema rotacionado (Salman, 2007).

Coutinho (2009) estimou que, após o desmatamento de uma porção de biomassa de 150 Mg ha<sup>-1</sup>, são emitidos em torno de 250 Mg ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, enquanto para haver um equilíbrio deste sistema, i.e para que a entrada e saída de carbono se estabilizem, o tempo será de, aproximadamente, 20 anos (IPCC, 2006). O fluxo de carbono no ecossistema é resultante do tipo de vegetação e das propriedades fisiológicas das plantas. Portanto, as pastagens plantadas são plantas do tipo C<sub>4</sub>, ou seja, produzem maior quantidade de biomassa

do que as plantas C3, conseqüentemente, promovem maior fixação do dióxido de carbono e menor consumo de água nos processos fisiológicos (Nabinger et al., 2005).

Manejos adequados ou mais produtivos da pastagem indicam um processo de mitigação das emissões dos GEE, em relação aos sistemas tradicionais. Outras alternativas para a mitigação dos GEE em sistemas agrícolas são a integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), manejo de dejetos animais, fixação de nitrogênio, reflorestamento e outros. Desde a década de 1990, há uma preocupação com a redução da produtividade da pastagem decorrente do manejo inadequado e intensificação do uso da terra (Aguiar et al., 2017; Rosa e Sano, 2013; Neill, et al., 1997). Desta forma, a rotação das culturas anuais com pastagens foi proposta como alternativa para reduzir os níveis de degradação; esta proposta favoreceu os produtores de grãos, contudo, os pecuaristas sentiram entrave econômico, técnico e de mão-de-obra para implantar este sistema. Ainda, na década de 1980, foi proposto o sistema Barreirão de integração entre as culturas de arroz e pastagem; na época sucesso para recuperação das pastagens degradadas (Nabinger et al., 2005). Recentemente a EMBRAPA Cerrados demonstrou resultados favoráveis com o programa de Integração da Agricultura e Pecuária, em que há o plantio das culturas sob o plantio direto, como o cultivo consorciado de milho, sorgo, milheto, arroz e soja com espécies de *Urochloa*, em solos corrigidos, demonstrando aumento do peso dos animais e, ainda, melhora na produtividade das culturas (Jantalia et al., 2006).

Sabe-se que a intensificação do uso das áreas de pastagem é uma das alternativas para que sejam reduzidas as emissões de GEEs, uma vez que esta favoreceria a redução do desmatamento, já que a pecuária é a atividade primária da conversão das áreas florestais (Cohn et al., 2014). Contudo, algumas pesquisas recentes demonstraram que a intensificação de maneira inapropriada não está diretamente relacionada com ações conservacionistas para a redução de emissões de GEE, e sim para o aumento da produtividade (Merry e Soares-Filho, 2017).

É importante destacar que as pastagens são sistemas vegetais que são fundamentais na produção animal; elas necessitam de recursos tróficos disponibilizados naturalmente (CO<sub>2</sub>, nitrogênio, água, radiação solar e temperatura) e, também, pela ação do manejo (adubação, irrigação, controle dos animais e outros), as quais possibilitam uma melhor condição de produtividade, permitindo aumento da carga animal e diminuição da intensidade da degradação (Nabinger et al., 2005).

Estudos indicam que as pastagens têm alto potencial de sequestro do dióxido de carbono da atmosfera, e armazenagem deste nos solos (Corazza et al., 1999; Bustamante et al., 2006). Segnini et al. (2007) indicaram que após o uso por 27 anos, a pastagem do gênero *Urochloa* promoveu o sequestro de 6,1 a 12,8 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> da atmosfera em antigas áreas de Cerradão. Batjes (2005) calculou uma taxa de estoque de carbono em áreas da Amazônia da ordem de 42,3 – 43,8 Pg (Pentagrama) de C em um metro de profundidade de solo.

Estudos realizados por Ferreira et al. (2016) indicam que áreas com 31 anos de conversão de Cerrado nativo para áreas agrícolas apresentaram um aumento da matéria orgânica do solo, principalmente na sua fração argilo-mineral.

#### **2.4. Matéria Orgânica e dinâmica do Carbono**

De acordo com o IPCC (2007), desde a década de 1980, há um aumento da concentração de carbono na atmosfera, passando de 3,3 Pg yr<sup>-1</sup> para 4,1 Pg yr<sup>-1</sup> nos anos 2000 advindos, principalmente, das atividades antrópicas, i.e. indústria, agricultura, pastagem, energia, queima de combustíveis fósseis e outros. Esse aumento permite inferir que os elevados níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera vem causando a elevação nas temperaturas médias da Terra, uma vez que este é um gás que compõe os GEE, demonstrando a crescente necessidade de medidas que possam reduzir o aumento desse gás na atmosfera, bem como propiciar o aumento de produtividade e produção de alimentos no mundo (Lal, 2010).

Existem cinco principais sumidouros de carbono sendo: os oceanos, os maiores, seguidos pelos solos, vegetação e atmosfera, estando estes interconectados pelo ciclo biogeoquímico do C. Os solos compreendem dois componentes do carbono, o orgânico e o inorgânico, permitindo armazenar cerca de quatro vezes mais carbono que a biomassa vegetal e a atmosfera (IPCC, 2006). A segunda forma de carbono no solo, inorgânico, é fundamental nas regiões áridas, enquanto a concentração do carbono orgânico no solo tem um acréscimo de áreas mais desérticas (áridas) para as regiões mais úmidas, as quais possuem maior concentração de matéria orgânica no solo (Lal, 2004). O carbono orgânico representa um balanço entre a absorção de material vegetal morto e a perda por decomposição, via mineralização.

Em 1984, Schlesinger relatou que a taxa de entrada do carbono no solo era duas vezes menor do que aquela liberada para a atmosfera; esta interferência no volume de entrada e saída

de carbono se deve principalmente ao desmatamento, pois este processo causa desequilíbrio no ciclo natural do carbono, haja vista que o desmatamento retira a vegetação nativa principalmente por meio da queima, levando à perda da biomassa da vegetação, redução da Produtividade Primária Líquida (PPL) global e à aceleração da taxa de decomposição dos estoques de carbono no solo (Killham, 1994, Rosa et al., 2014). Quando há alteração da vegetação nativa para outros usos, o estoque de C se altera até que um novo equilíbrio seja alcançado por meio de resíduos, quando as taxas de decomposição do C orgânico do solo são iguais às taxas de entrada do C. Este equilíbrio é difícil de ser estimado, uma vez que existem diversos fatores que o controlam, como a recalcitrância, cada vez maior na fração remanescente não decomposta, e a regulação da quantidade e da diversidade do componente biológico do solo (Boddey et al., 2012).

Os termos sequestro e estoque de carbono no solo são complementares. O primeiro foi utilizado em 1997 na conferência de Quioto, termo que representa o processo de conter e reverter o acúmulo de CO<sub>2</sub> da atmosfera visando à diminuição do efeito estufa. O segundo, por sua vez, refere-se ao processo que, após o sequestro do CO<sub>2</sub>, o mesmo fica armazenado nos reservatórios, sendo o solo um dos mais importantes reservatórios do C neste processo de armazenagem. Há uma confusão entre a noção de estoque de carbono orgânico no solo, o qual está diretamente relacionado a armazenagem de C no solo, qualquer que seja sua origem, e sequestro do C no solo, neste estão relacionados todos os GEE sendo representados pela resolução de C Equivalente no solo (Feller et al., 2006).

O solo é considerado um importante compartimento para o armazenamento de carbono. A manutenção, ou até mesmo o acúmulo, de carbono nos solos através de práticas conservacionistas de uso e manejo, além de possibilitar a recuperação de áreas degradadas, pode representar um serviço ambiental para as pastagens em processo de degradação e mesmo aquelas já degradadas (Boddey et al., 2012; Dias-Filho, 2011). A recuperação de áreas degradadas tem impactos ao nível local (melhorando a qualidade do solo, do alimento para os animais, da produtividade das gramíneas e mesmo reduzindo o desmatamento de novas áreas), ao nível regional (redução de sedimentos nos corpos d'água, efeito tampão na emissão de gases, estabilidade na produção e recuperação de áreas desmatadas).

O sequestro de carbono nos solos depende da classe de solo e de fatores ambientais, entre os quais estão a concentração de argila, a capacidade de retenção de água, bem como a

disponibilidade de elementos essenciais, como N(nitrogênio), P (fósforo), S (enxofre), Ca (cálcio), Mg (magnésio) o p.H (potencial hidrogeniônico) e a relativa proporção de macro e microporosidade. Ainda, os fatores climáticos estão intrinsecamente ligados a esta taxa de C no solo (Lal e Follet, 2009). Ainda, os três processos responsáveis pelo sequestro de carbono no solo são: a humificação, a agregação e a sedimentação; enquanto os processos de perda de carbono são: a erosão, a decomposição, a volatilização e a lixiviação (Rosa et al., 2014). Para as taxas de C no solo, estas devem ser valores de entrada maiores do que de saída; esta relação pode ser adquirida com o uso e manejo dos solos de forma conservacionistas no que diz respeito as pastagens, por meio do número adequado de animais por hectare, uso de adubos e fertilizantes que melhorem a qualidade do pasto e uso correto de plantas que possam se adequarem às condições de cada classe de solo.

As principais funções do carbono orgânico no solo são: auxiliar na absorção dos principais nutrientes para as plantas (N, P, S, Zn); absorção da água em zonas de baixo potencial de umidade para elevar a capacidade de água na planta; e promover a agregação das partículas do solo, responsável pela alta infiltração e baixo escoamento superficial dos solos, permitindo o uso eficiente da água e de nutrientes para as plantas, reduzindo as perdas pela drenagem, evaporação e volatilização, atuando como moderador da temperatura do solo, afetando a cor do solo e o albedo, entre outras (Lal, 2004).

A matéria orgânica do solo (MOS) é responsável por armazenar de 40 a 60 % de C que está presente no solo. Tal fato depende das características do solo, em média, os solos armazenam 58% de C. A matéria orgânica é constituída por resíduos de vegetais e animais em diferentes fases de decomposição. Nesta os elementos são transformados em formas orgânicas mais simples pelo processo de mineralização, no qual boa parte do carbono é convertida em gás carbônico (Lepsch, 2011). A manutenção e a redução (i.e. por meio do revolvimento do solo) destes resíduos no solo são responsáveis por aumentar as taxas de carbono no solo (Salton et al., 2011). Os diferentes tipos de manejo do solo podem favorecer um incremento ou redução de C. Em áreas em que se verificam boas práticas de manejo houve um incremento de C (Desjardins et al., 2004; Bustamante et al., 2006), enquanto em áreas convertidas de vegetação nativa para pastagem, houve uma redução das taxas de C no solo (Fearnside e Barbosa, 1998).

Os solos do bioma Cerrado são em sua maioria ácidos, sendo resultantes da sua composição e origem, como também pelo elevado processo intempérico atuante na lixiviação

desse. Os solos do Cerrado são extremamente dependentes da MOS, já que esta é responsável por 75% a 85% das trocas catiônicas. A conversão da vegetação nativa em áreas de pastagem e agricultura, por meio da derrubada e queima, causa a redução da fertilidade, erosão do solo e redução da MOS (Lal, 2004). Nas áreas de domínio dos Cerrados a MOS é fundamental, uma vez que, esta é responsável pela Capacidade de Troca Catiônica (CTC). Assim, áreas com maior teor de C no solo possuem maior CTC potencial (Siqueira Neto et al., 2009).

Estudos realizados por Rosendo e Rosa (2012) indicaram que em áreas de pastagem, na bacia hidrográfica do rio Araguari – Minas Gerais, houve um valor de estoque de carbono superior ao encontrado em vegetação de Cerrado. Corazza et al. (1999) demonstraram que em sistemas não perturbados (i.e. onde não há um revolvimento do solo) o valor de C é superior ao do Cerrado nativo. Outras pesquisas obtiveram resultados indicando que há um decréscimo no estoque de carbono em áreas de pastagem em relação à vegetação nativa, devido à baixa produtividade da biomassa em consequência da degradação (Silva et al., 2004). Sabe-se que a diminuição na produtividade das pastagens reduz a capacidade de armazenar C no solo, enquanto que o aumento da produtividade pode elevar os estoques do C. Desta forma, pastagens bem manejadas são sumidouros de C, enquanto que pastagens degradadas são fontes emissora, liberando CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Programas governamentais de incentivo à recuperação de pastagens degradadas, como o plano ABC, podem ser uma alternativa para melhorar a produtividade dos pastos e ainda realizar serviços ambientais.

## **2.5. Modelagem da dinâmica de carbono do solo**

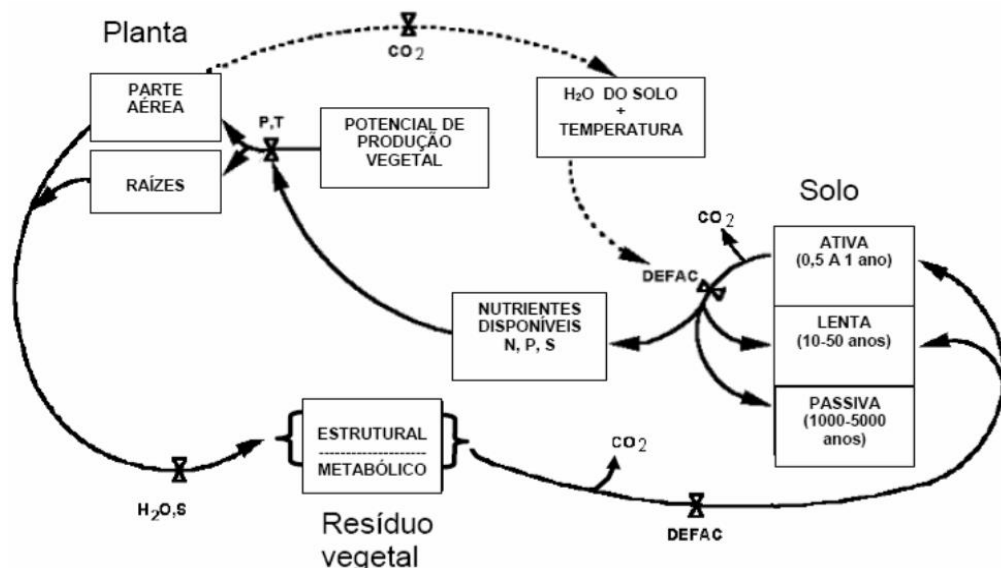
A modelagem computacional ou modelos matemáticos nos anos recentes tem-se mostrado uma importante ferramenta para a tomada de decisões e de entendimento dos diferentes processos naturais e antropogênicos no território, sobretudo voltados para as questões ambientais, as quais possuem abrangência ao nível local, regional e global (Chaulya e Prasad, 2016). A modelagem ambiental, por sua vez, deve considerar a complexidade das interações espaço-temporais da natureza e sociedade, ou seja, as propriedades ambientais e as ações antrópicas (uso da terra, infraestrutura, investimento econômico, e outras) são as variáveis do modelo, enquanto a dinâmica das relações são as operações aritméticas ou lógicas (Felgueiras, 1999).

Os modelos para simular a dinâmica do carbono em face dos diferentes usos da terra são vários. Esse elemento químico pode ser estimado na biomassa aérea/subterrânea e no solo

por diversos métodos de medidas diretas ou indiretas. A predição do estoque de carbono em escala regional é fundamental para políticas ambientais que visem identificar os locais que possuem alto e baixo potencial para sequestro e armazenamento de C que visem a contribuição nas metas de redução dos GEE da atmosfera.

A simulação da dinâmica do carbono utilizando o modelo Century, por sua vez, é uma das mais utilizadas por diversos pesquisadores (Leite et al., 2004; Silveira et al., 2000). O mesmo foi desenvolvido por Parton et. al., 1987, para as grandes planícies norte americanas, permitindo avaliar uma gama de sistemas naturais e antrópicos, com diversos tipos de manejos (Leite e Mendonça, 2003). O Century é um modelo ecossistêmico que busca analisar a fração orgânica do solo e dos fluxos de carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre dentro e entre os diferentes componentes do ciclo. O modelo considera duas frações da serapilheira (metabólica e a estrutural) e três frações da matéria orgânica (ativa, lenta e passiva), se diferenciando na decomposição inerente e no grau que a textura do solo afeta as taxas de retorno da matéria (Figura 03) (Cerri et al., 2007; Paustian et al., 1997).

Figura 03: Diagrama com fluxos entre a planta, o resíduo da colheita e os compartimentos do solo no modelo CENTURY. P = precipitação; T = temperatura; DEFAC = fator de decomposição.



Fonte: Adaptado de Parton et al., (1994).

O modelo Century está subdividido em três submodelos: dinâmica da matéria orgânica, o submodelo água e produção vegetal. O submodelo da matéria orgânica simula os fluxos dos elementos C, N, P e S. O modelo utiliza uma dinâmica centenária ou de milênios para poder avaliar os comportamentos dos elementos nos diferentes compartimentos.

A aplicação do Century no bioma Cerrado pode ser observada no trabalho de Wendling et al., (2014), em que os estoques totais de C simulados no sistema de plantio direto, plantio convencional e Pinus não apresentaram diferença, mostrando assim, que o modelo teve bom desempenho para a região de Sete Lagoas (MG). Em Corbeels et al., (2006), para os sistemas de savana, pastagem e cultura de soja, em Rio Verde e Montividiu, com diferentes métodos de manejo, observou-se que o modelo century (G'Day – avaliação das alterações diárias dos ciclos de C e N) é sensível para capturar grandes tendências da dinâmica da matéria orgânica sob diferentes sistemas; contudo para áreas do Cerrado, em que os minerais de argila são de 1:1, características de solos altamente intemperizados, o modelo superestimou os valores de referência. Ferreira (2013), avaliou o modelo ecossistêmico Century em diferentes pontos com áreas de agricultura e vegetação nativa. Neste estudo foi identificada uma redução nos estoques de carbono após 31 anos de conversão, em média 11% do estoque em relação à vegetação nativa.

Em trabalho desenvolvido por Bortolon et al., (2011) para o distrito de Santana no Rio Grande do Sul, em áreas com diferentes idades de conversão da vegetação nativa para usos antrópicos, observou-se, avaliando o modelo Century para o período de 2007 até 2050, que as áreas antrópicas passam a ter um novo equilíbrio, contudo os valores ficaram abaixo do que foi observado nas áreas de vegetação nativa daquela região.

A variabilidade nos métodos de análise dos dados de carbono pode levar a algumas divergências com dados históricos de determinadas áreas. De fato, não há um método de avaliação do estoque de carbono seguido por todas as pesquisas. A pesquisa em questão se utilizou do modelo Century para avaliar, da melhor forma, os estoques de carbono em solos com uso de pastagem, tendo por referência pastagens com médio e alto nível de manejo ecológico.

## **2.6. Sistema produtivo da pecuária no Brasil**

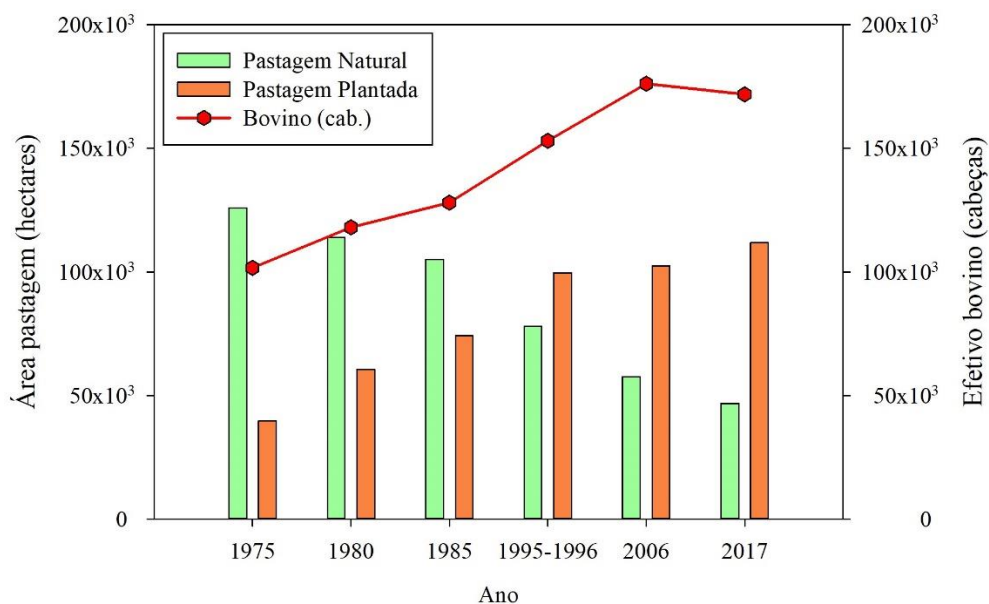
O Brasil é um dos maiores produtores de carne, sendo o maior exportador de carne no mundo, e um dos menores custos de produção no mundo, haja vista que, a maior parte da produção é realizada à pasto, reduzindo os custos em relação a pecuária de confinamento (Piatto e Costa Junior, 2016). Enquanto em outros países, em que a maior parte do gado é produzido em confinamento, a produção necessita de mais mão-de-obra qualificada, maquinário, equipamentos e combustíveis. No Brasil, a produção de carne necessita apenas do pastejo

animal com um baixo nível de qualificação da mão-de-obra (Dias-Filho, 2014). O fato da carne no Brasil ser produzida, essencialmente, no pasto, há uma conquista de mercados que buscam pelo “Boi- verde”.

No Brasil é comum que as áreas de pastagem ocupem terras com menor potencial produtivo e com menor infraestrutura de transporte. Assim, para compreender a atividade pecuária é necessário perceber como a mesma se relaciona com os fatores climáticos e edafoclimáticos. Estes podem não ser determinantes, pois podem ser relativizados com o uso de tecnologia. Contudo, apresentam impactos significativos, uma vez que implicam em maiores ou menores custos para a produção de gado.

As áreas de pastagem no Brasil até os anos de 1970 eram basicamente naturais. A partir deste período houve uma inversão, ou seja, as pastagens naturais sofreram um decréscimo (Figura 04), enquanto as plantadas passaram a crescer exponencialmente, em função, principalmente, das características de produtividade das gramíneas exóticas e por sua adaptação aos diferentes ambientes climáticos do país (Dias-Filho, 2014). A adaptação das gramíneas foi favorecida pelas características naturais dos ambientes brasileiros, com destaque para as regiões tropicais dos biomas Amazônico e do Cerrado. Já o efetivo bovino (cabeça animal) teve aumento exponencial até os dados do censo agropecuário de 2006, já para o período de 2017 estes dados mostraram uma redução na quantidade de animais (Figura 04).

Figura 04: Evolução da área de pastagem plantada em relação a natural e efetivo bovino.



Fonte: IBGE, (2018).

Os solos, por exemplo, de acordo com sua capacidade de uso, considerando as condições edafoclimáticas e relevo, podem ser indicados para uso agrícola, pecuária e preservação ambiental, requerendo maior ou menor prática de conservação. A observância quanto à aptidão dos solos e as melhores práticas de manejos conservacionistas são importantes, pois promovem a sustentabilidade desse recurso natural que tem interação com o aquecimento global e escassez de água, de alimentos, de energia, os quais, conjuntamente, impactam a sustentabilidade (Howden, 2007; Vilela et al., 2008).

Relevos mais ondulados, com maiores taxas de declividade, são suscetíveis à erosão hídrica, afetando a redistribuição de águas, direcionando das encostas para as áreas de cota mais baixa, os sedimentos e nutrientes, tornando as várzeas mais férteis, influenciando o tipo de uso do solo e exigindo práticas conservacionistas (Lepsch, 2010).

Portanto, áreas mais planas tendem a ser direcionadas para uso agrícola por serem mais passíveis de uso de máquinas e implementos, preparação do solo e colheita, enquanto que, as áreas com declividades mais acentuadas são destinadas à pecuária, reflorestamento e preservação ambiental.

A pluviosidade e a radiação solar são fatores importantes para a produção agropecuária, pois afetam diretamente no manejo do pasto, principalmente na região do Cerrado, que possui duas estações climáticas bem definidas, sendo a seca e a chuvosa. A estação seca pode se prolongar por até seis meses dependendo da região do bioma.

As áreas destinadas à produção de bovinos, na maior parte, estão em consonância com a classificação da capacidade de uso do solo, que destina à pecuária às terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda possíveis de serem adaptadas para pastagens observadas as limitações de uso e riscos de degradação, que podem exigir práticas conservacionistas e complementares para melhoramento do solo (Lepsch, 1991).

Os preços mais competitivos dos produtos agrícolas pressionam a produção de bovinos para terras mais baratas, com menor potencial produtivo e com menor infraestrutura instalada. No entanto, dada às características dos sistemas produtivos de bovinos, que podem ocorrer com baixo nível tecnológico, a pecuária se desenvolve inicialmente em regiões de avanço da fronteira geográfica, i.e. terras com aptidão tanto para agricultura como para pecuária (Prado et al., 2012). À medida que a demanda por terras agrícolas aumenta e as condições de

infraestrutura melhoram, a pecuária, desenvolvida em solos com aptidão para uso agrícola, vai sendo pressionada para regiões específicas do território ou para novas regiões de fronteiras (Margulis, 2003; Macedo et al., 2012; Lapola, 2014).

No período de 1975 a 2003, a produção de bovinos no Cerrado foi realizada em áreas não prioritárias para a agricultura. Inclusive, em alguns locais, a pecuária foi utilizada para ocupar áreas agricultáveis em estado de degradação devido ao alto custo de recuperação (Diniz, 2006).

A degradação das pastagens no Brasil está em torno de 50% do total da área de pasto, que está estimada em aproximadamente de 175 milhões de hectares (Araújo et al., 2017). A degradação das pastagens pode ser de origem agrônômica e biológica. No bioma Amazônico, a maior parte das pastagens apresentam degradação agrônômica, enquanto no Cerrado é mais comum a degradação biológica. A degradação agrônômica diz respeito ao aumento na quantidade de espécies de plantas daninhas e assim reduzindo a capacidade de suporte do pasto, já a biológica trata da perda da capacidade do solo em sustentar as plantas, as quais são substituídas por espécies menos exigentes quanto à fertilidade do solo (Dias-Filho, 2014).

A degradação das pastagens ainda é considerada um termo controverso, uma vez que, o conceito de degradação apresenta diferentes variações de uma região para outra em função dos diversos aspectos do manejo utilizado. Contudo, sabe-se que a degradação das pastagens tem prejudicado significativamente a produtividade da pecuária e ainda causando a degradação do solo, conseqüentemente, reduzindo os serviços ambientais que uma área produtiva poderia apresentar.

A pastagem pode ser considerada um ecossistema, uma vez que a mesma pode ser vista sob a ótica dos seres bióticos (as plantas, os animais, e os microrganismos decompositores) e dos elementos abióticos (temperatura, precipitação, solo, rochas e água). Os fluxos de energia e matéria, neste sistema, ocorrem via ciclo dos elementos geoquímicos presente neste ambiente, e a eficiência desse é medida em função das inter-relações entre clima-solo-plantas-animal (Salman, 2007).

Em agronomia, o manejo da pastagem pode ser definido seguindo os critérios de intensidade e frequência do pastejo, bem como a seletividade do animal. Os critérios de manejo, bom ou ruim, estão diretamente relacionado com a planta e o animal. O manejo das pastagens

tem o objetivo de potencializar a produção de forragem; para tanto, deve-se começar pela seleção da forrageira até o método de rotacionamento dos animais em piquetes. A fertilização e o manejo da área foliar são fundamentais para o crescimento da pastagem (Carvalho et al., 2005).

O manejo produtivo das pastagens considera não somente a produtividade do capim, bem como as interações entre solo-planta-animal (Salman, 2007). A pastagem produtiva é um termo que diz respeito ao manejo do pasto, excluindo técnicas de manejo como o desmatamento, o fogo e a aração do solo, mantendo o ecossistema original do Cerrado com um mínimo de alteração. Neste tipo de manejo há um investimento em pastagem nativa, assim como a introdução de forrageiras mais adaptadas ao clima e solo da região (Melado, 2002).

### 3. Capítulo III – Materiais e Métodos

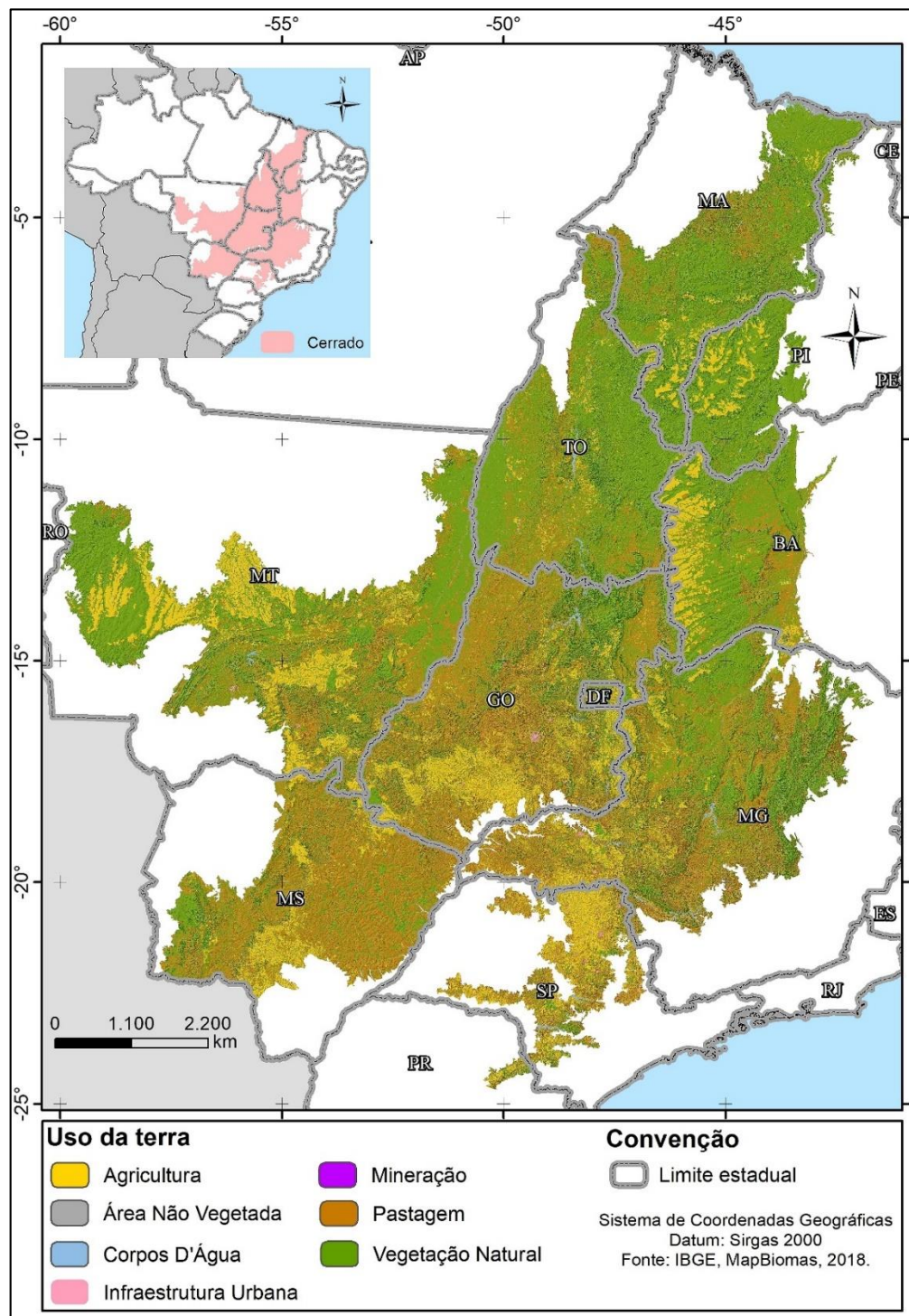
#### 3.1. Área de Estudo - Bioma Cerrado

O bioma Cerrado é o segundo maior do Brasil, com uma área de aproximadamente 2.040.000 km<sup>2</sup> (Figura 05). O Cerrado está inserido na lista de *Hotspots* para conservação devido à sua biodiversidade, espécies endêmicas e a elevada pressão antrópica (Myers et al., 2000), sendo que, aproximadamente 55% da sua cobertura vegetal natural está preservada/conservada (Mapbiomas, 2018). De todas as atividades antrópicas, as pastagens ocupam as maiores áreas, aproximadamente, 24% (48 Mha) no Cerrado e 16% (137,3 Mha) no território brasileiro, (Mapbiomas, 2018, Parente et al., 2017).

O Cerrado apresenta em seu domínio um complexo vegetacional de espécies nativas, exibindo uma diversidade fitofisionômica que varia desde ambientes de campos (campo limpo, campo sujo, campo rupestre), cerrado sentido restrito (denso, típico, ralo e rupestre) as formações florestais (mata ciliar, mata de galeria, cerradão e mata seca) e ambiente de vereda (vegetação com palmeira arbórea *Mauritia flexuosa* (buriti) emergente) (Ribeiro e Walter, 2008).

O clima é uma variável preponderante para determinar os fluxos de energia e matéria no ciclo do carbono. Silva et al., (2008) propõem, segundo a classificação de Köppen, dois tipos de clima para o Cerrado: um com características Aw, presente em todas as regiões, cobrindo cerca de 80% do bioma, e outro Cwa. O clima Aw é marcado por ser tropical úmido com o verão chuvoso e inverno seco, já o clima Cwa pode ser assinalado com inverno seco e com temperatura média de 22°C no mês mais quente do ano (Ayoade, 2003). Entretanto, em função da sua extensão latitudinal, observam-se áreas com características de clima tropical úmido na porção centro-sul do bioma, enquanto áreas com clima semelhante a regiões do semiárido ocorrem na região norte.

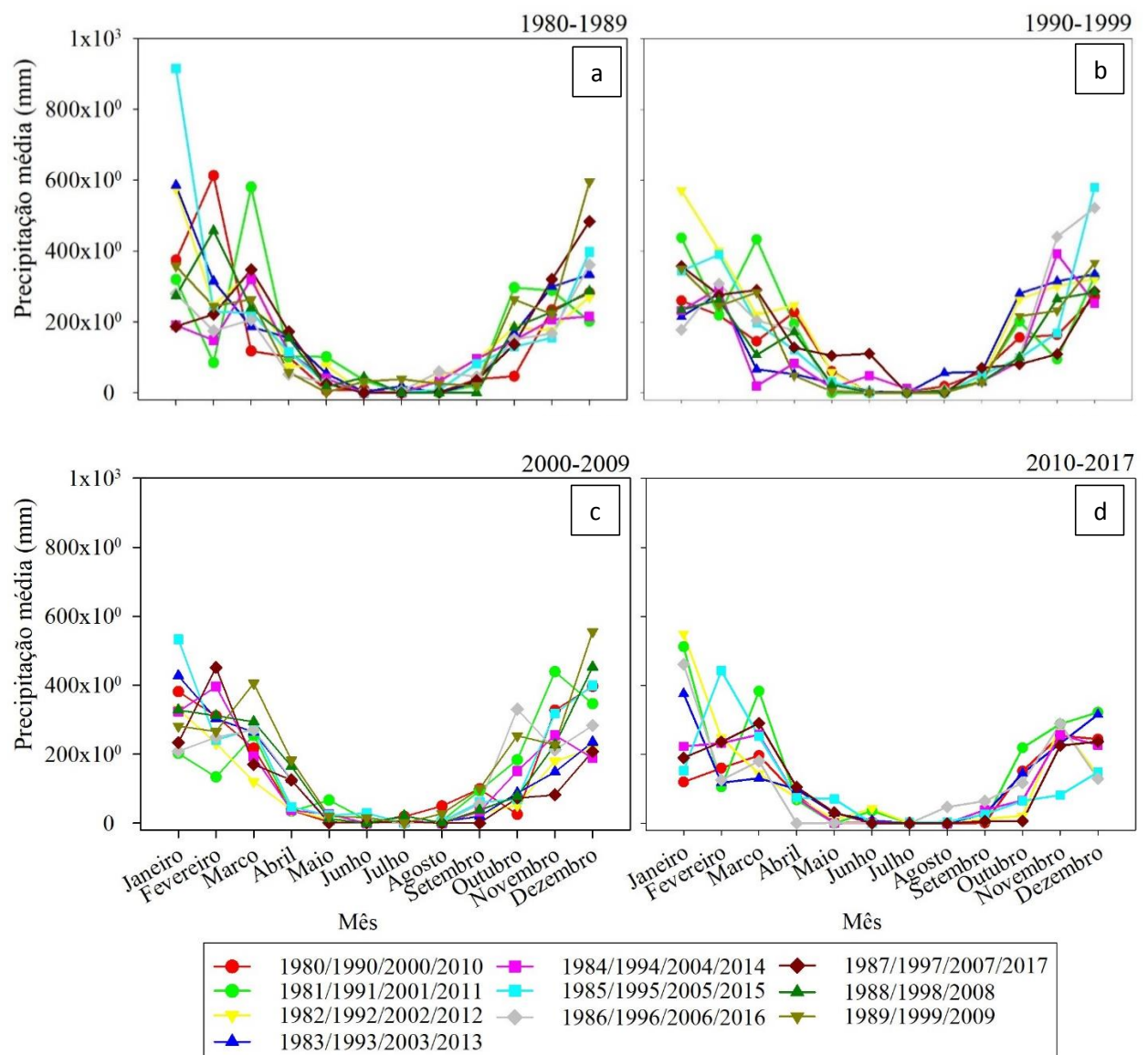
Figura 05: Localização geográfica do bioma Cerrado com as diferentes classes de cobertura e uso das terras, dados Mapbiomas, 2018.



Fonte: Mapbiomas, (2018).

O comportamento dos dados de precipitação no bioma Cerrado pode ser observado na figura 06, em que se ressalta uma sequência de série de dados de 10 anos em cada gráfico. Nestes é possível avaliar as duas estações bem marcada do bioma, com meses de outubro a março chuvosos, enquanto que entre os meses de abril e setembro estão os períodos mais secos, ocorrendo médias de precipitação da ordem de 1200mm. Observa-se nos gráficos c e d os valores médios de precipitação nos meses de seca, entre maio e setembro estão com valores menores do que no período anterior analisado (gráfico a e b).

Figura 06: Dados climáticos provenientes dos valores médios da estação climatológica Goiás, base de dados BDMEP – 1980 a 2017.



Fonte: BDMEP, INMET (2018). Organizado pelo autor.

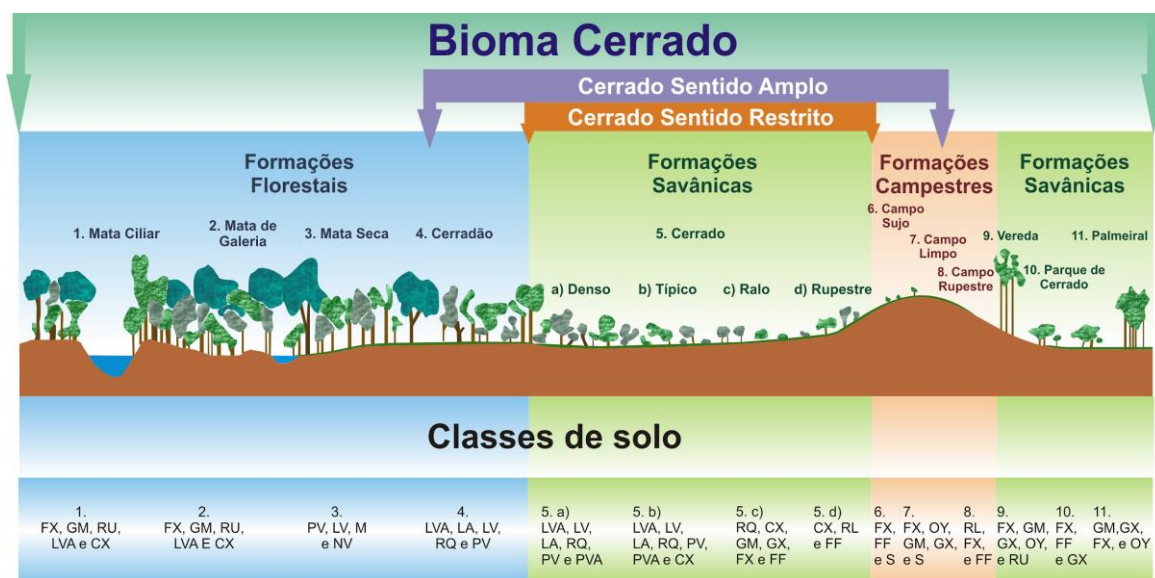
O Cerrado registra diferentes fases de ocupações do seu território, sendo a atual o MATOPIBA<sup>2</sup> (acrônimo dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), conhecida como a nova frente de expansão da agropecuária do Centro-Oeste brasileiro, tendo as *commodities* agrícolas (soja, milho, sorgo, algodão e outras) a sua principal produção (Garagorry et al., 2015), enquanto as regiões sudeste e sudoeste do bioma estão consolidadas pela ocupação agrícola, apresentando as maiores proporções de vegetação nativa convertida em função dos avanços das atividades agropecuárias, a exemplo dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás (Mapbiomas, 2018).

Outro aspecto fundamental para a ocupação do Cerrado pelas práticas agropecuárias são os solos desta região. O desenvolvimento destas está relacionado com as diferentes classes de rochas e com a topografia, sendo que, em sua maioria apresentam altas concentrações de minerais ferromagnesianos, como o basalto, diabásio, gabro e granulitos orto e paraderivados. Nestas áreas há uma predominância de formação de latossolos (vermelho, vermelho-amarelo e amarelo) que ocupam 48,6% do bioma e nestes é registrada a presença de fitofisionomias Mata seca e Cerradão. Também, são encontradas rochas como os granitos, gnaisses, quartzitos, xistos, ardósias e arenitos. Nestes se desenvolve uma vegetação mais típica de Cerrado, o cerrado *sensu stricto* (Figura 07). Derivados dessas rochas ferromagnesianas encontram-se ainda solos mais jovens, relacionados a relevos ondulados e fortemente ondulados, até solos mais desenvolvidos, em relevos mais aplainados, tais como os argissolos (vermelho-amarelo e vermelho) (Ribeiro e Walter, 2008). Sabe-se que a maioria dos solos do Cerrado são pobres em minerais e nutrientes, e para haver o uso destes, considerando melhor produtividade, a correção das frações minerais é fundamental (Reatto et al., 2008).

---

<sup>2</sup> Região considerada a grande fronteira agrícola nacional da atualidade, o Matopiba compreende os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia e abriga grande parte da produção brasileira de grãos.

Figura 07: Estrutura da fitofisionomias e tipos de solos no bioma Cerrado.



Fonte: Ribeiro & Walter, (2008).

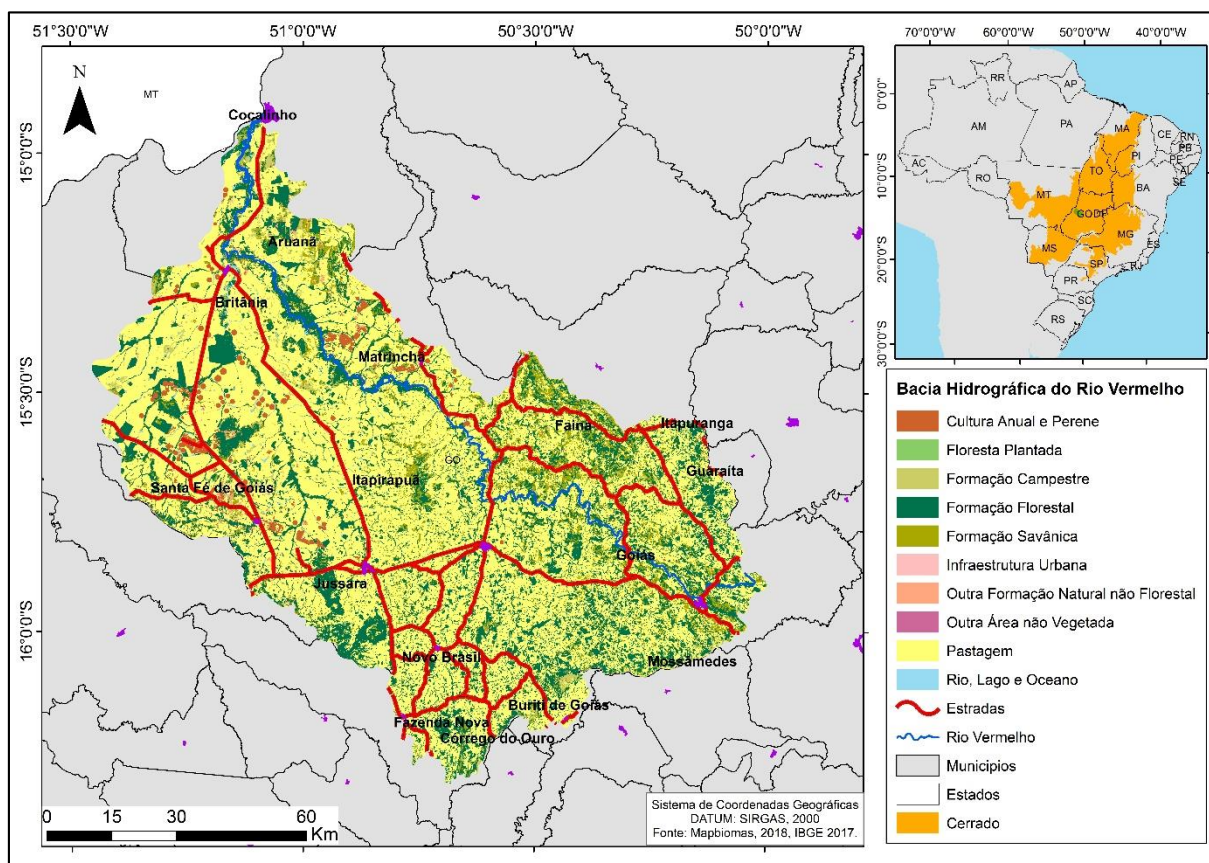
## 3.2. Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV) - Unidade ambiental e amostral do Cerrado

### 3.2.1. Características da BHRV

O estado de Goiás possui cerca de 95% de sua área localizada na região de abrangência do bioma Cerrado, com uma estrutura fundiária composta por pequenas e médias propriedades considerando os módulos fiscais do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), cujo o principal uso do solo é a pecuária (Teixeira Neto, 2011).

A Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV), totalmente inserida no domínio do Cerrado, na porção oeste do estado de Goiás, ocupa uma área de, aproximadamente, 11.000 km<sup>2</sup>, compreendendo parte dos municípios de Goiás, Aruanã, Matrinchã, Britânia, Jussara, Faina, Santa Fé de Goiás, Fazenda Nova, Novo Brasil, Buriti de Goiás e totalmente o território do município de Itapirapuã. A BHRV possui mais de 60% de sua área coberta por pastagem, com várias espécies de gramíneas, na bacia o uso e manejo das pastagens variam de acordo com o tamanho da propriedade, capital disponível e ainda as características naturais da paisagem (Vieira et al., 2014; Santos, 2014) (Figura 08).

Figura 08: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho e municípios abrangidos.



Fonte: IBGE, (2017), MapBiomas, (2018), do autor, (2018).

No que diz respeito à constituição geológica da BHRV, esta possui rochas datadas do éon arqueano, configurados pelo maciço de Goiás, com seus granito-gnaisses e *greenstone belts* que sustentam toda a média e alta bacia, apresentando uma proporção areal aproximada de 80% para os granitos-gnaisses e 20% para os *greenstone belts*, variando, em cotas, entre 450 e 850 m (Baêta Jr. et al., 1998; Resende et al., 1998; Hard et al., 2005). Uma cobertura detrítica-laterítica (TQdl<sup>3</sup>), em forma de um terraço suspenso, acompanha os sistemas fluviais principais a partir da região do distrito de Uvá (próximo a cidade de Goiás) e a cidade de Itapirapua, margeando os rios Uvá, Itapirapua e Vermelho, com aproximadamente 3 metros de espessura (Valente, 2007; Bayer, 2010). Ao norte e noroeste da bacia, observa-se uma ampla cobertura de sedimentos arenosos de composição quartzosa da Formação Araguaia, altamente lixiviados, sustentando cotas de 230 a 200 m, formando os solos dos Neossolos Quartzarênicos. Nesta região, o rio Vermelho desenvolve uma ampla planície de inundação associada a paleocanais e

<sup>3</sup> Coberturas Detrito-Lateríticas do Terciário, Quaternário.

a um complexo sistema lacustre, com cotas de 200 m, de depósitos siltico-arenosos holocênicos (Vieira, 2003).

A geomorfologia da BHRV apresenta um sistema denudacional composto por superfícies regionais de aplainamento para alta bacia com HB-ED (Estrutura Dobrada formando *Hogbcks*) ao sul; SRAIII-MC (mfo) (Superfície Regional de Aplainamento IIIA) com cotas entre 700 e 800 m sobre rochas cristalinas, formando morros e colinas com sistema de dissecação muito forte a sudeste da alta bacia; SRAIVC1(fr) (Superfície Regional de Aplainamento IVC) cotas de 250 e 400 m desenvolvidas sobre rochas pré-cambrianas sob fraca dissecação; MC(m) (Morros e Colinas com média dissecação) a sudoeste, na baixa bacia; SRAIVC2-LA(mfr) (Superfície Regional de Aplainamento IVC) com cotas de 250 a 400 m sob rochas cristalinas e lagos associados com fraco processo de dissecação; PFm (Planície fluvial meandriforme – para o baixo curso do rio Vermelho); e PFba (Planície fluvial com bancos acrescidos – associado ao sistema do baixo curso do rio Água Limpa) ao norte da bacia (Latrubesse et al., 2006).

O rio Vermelho, principal canal que forma a bacia hidrográfica do Rio Vermelho, tem sua nascente na Serra de Santa Rita, que faz parte da formação Serra Dourada (aproximadamente 17 km da cidade de Goiás), enquanto a sua foz é no Rio Araguaia (cidade de Aruanã). De sua nascente até o exutório, o rio percorre uma extensão de, aproximadamente, 405 km. Entre seus principais afluentes, pela margem direita, destacam-se os rios Bugres e Ferreira, enquanto, na margem esquerda, deságuam o Ribeirão da Água Limpa, Ribeirão Samambaia, Rio Itapirapuã, Ribeirão do Capim, Ribeirão Samambaia, Rio Itapirapuã, Ribeirão da Bocaína e o Rio Uvá.

Especificamente a BHRV, inserida no setor oeste do estado de Goiás e sob influência da Depressão Interplanáltica do Rio Araguaia, se caracteriza pela presença de altas temperaturas ao longo do ano, com médias mensais variando de 23°C a 28°C (com temperaturas mínimas e máximas médias de 20°C e 32°C, respectivamente). Em relação à pluviosidade, se observa na BHRV valores médios mensais (2000 a 2010) de 0,00 a 38,72 (junho a agosto) e 397,94 a 161,66 mm (entre dezembro e março) (Vieira, 2013), tendo assim, duas estações marcadas por seca e chuva.

A bacia do rio Vermelho é um mosaico de diferentes classes de solos, desde argilosos até os solos mais arenosos, de tal forma que o uso das terras está diretamente relacionado com

as diferentes classes de solos, os quais derivam de rochas, em sua maioria, metamórficas. De um modo geral, o sistema pedológico da bacia hidrográfica do rio Vermelho apresenta um saprolito com espessuras variando entre 2 e 3 metros, de caráter caolínico, de cor esbranquiçada, altamente lixiviado e friável. Em relação aos terrenos arqueanos, às cotas de 400 metros, bem como aos colúvios do front da Serra Dourada, em cotas de 650 metros, predomina uma matriz arenosa, com uma cobertura superficial de seixos quartzosos que desenvolvem solos do tipo cambissolo e neossolo litólico (Vieira, 2013).

### **3.3. Unidade amostral: Coleta de dados**

A BHRV é a unidade amostral de campo e de pesquisa pecuária do grupo de pesquisa em pastagem (mapeamento, monitoramento da produtividade, serviços ecossistêmicos, etc.) do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) da Universidade Federal de Goiás (UFG) ([pastagem.org](http://pastagem.org)), pois possui características de diversos ambientes do bioma Cerrado, tanto a respeito do processo de ocupação como das condições ambientais (i.e. clima, relevo, solos, etc.).

Para realizar a coleta das amostras de solo, a BHRV foi setorizada de forma aleatória e estratificada com base nos fatores abióticos, com destaque para o solo e o relevo, uma vez que estes são fatores condicionantes do uso das terras na bacia, bem como a divisão considerando as bacias hidrográficas adotada pela Agência Nacional das Águas (ANA), as Ottobacias. Essas foram definidas pelo método de Otto Pfafstetter e disponibilizadas pela ANA via plataforma Hidroweb<sup>4</sup>. Para este trabalho foram utilizadas ottobacias nível 6, nível local (maior detalhamento), a fim de definir subáreas de coleta e informações das propriedades de tal forma que estas se correlacionassem com as características dos ambientes naturais. Assim, foram gerados aleatoriamente 60 pontos amostrais, os quais, no mês de outubro de 2015, foram visitados para realizar o contato (explicar o projeto e seus objetivos) e obter a autorização para a coleta dos dados com os proprietários das fazendas.

Em julho de 2016, foram realizadas coletas de dados por meio de um questionário estruturado (Apêndice I) com vistas a entender o histórico de ocupação e manejo das pastagens

---

<sup>4</sup> Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>

na BHRV. Neste questionário foram descritas informações para compreender o histórico e os diferentes tipos de manejo das propriedades da BHRV, tais como.

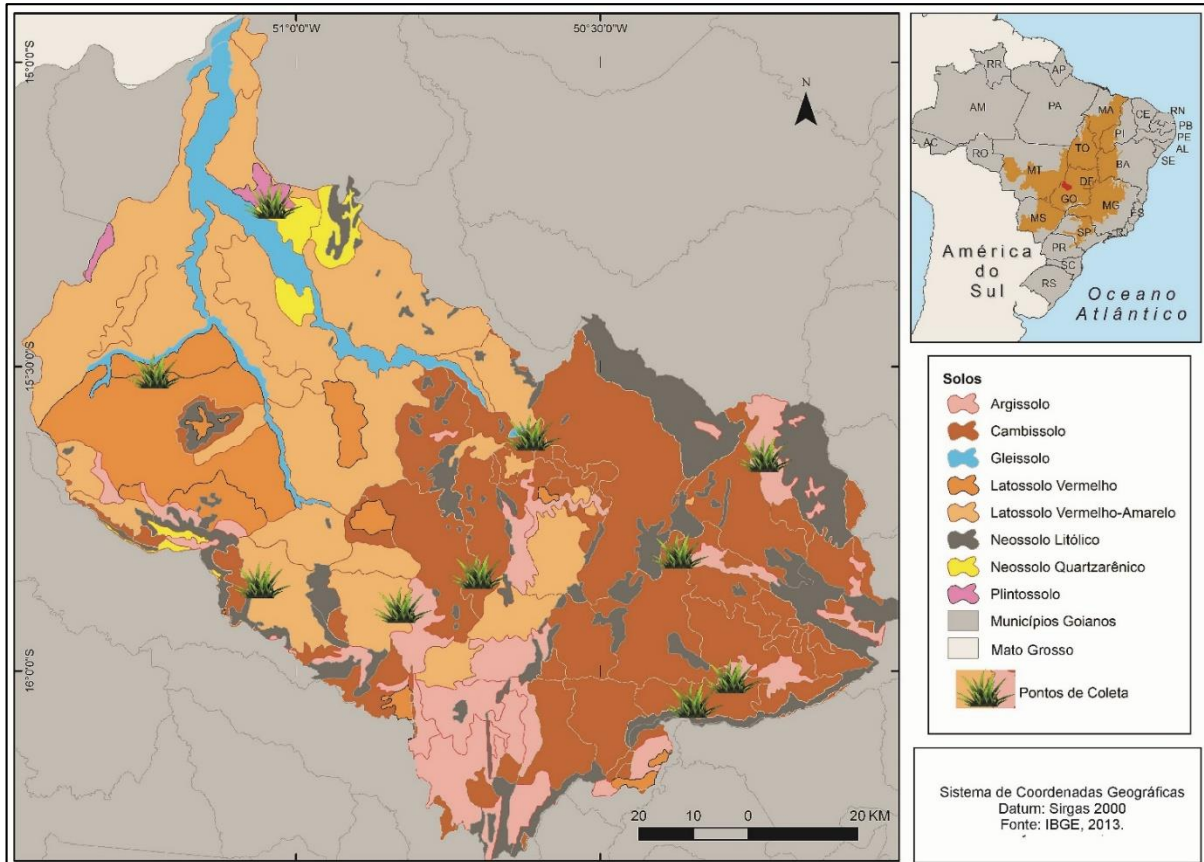
- Tamanho da propriedade (ha);
- Data da primeira formação do pasto;
- Método de formação do pasto;
- Tipo de manejo realizado na época da formação do pasto;
- Divisão dos pastos;
- Espécies de forrageiras que foram plantadas na propriedade;
- Métodos de correção do solo;
- Controle de invasoras e pragas;
- Média de cabeça de animais por hectares na propriedade nos últimos cinco anos;
- Altura do pasto (medida do nível do solo até o horizonte de visada);
- Tamanho da propriedade;
- Outras informações.

Estas informações são de fundamental importância devido à escassez de dados referente ao manejo das propriedades em Goiás, para o cenário econômico e produtivo do sistema pecuário do bioma Cerrado, uma vez que, se tratam de dados inovadores para o entendimento ambiental das propriedades goianas. Após a primeira campanha, aplicação dos questionários nas propriedades da BHRV foi realizada a segunda campanha para a coleta das amostras em áreas de pastagens com bom, baixo e sem (inexistente) manejo. Considerou-se o acesso às áreas de coleta como um dos fatores para selecionar determinado ponto, como também a posição destes pontos no relevo, ou seja, coleta no topo, na vertente e no fundo de vale. A coleta das amostras de solo para avaliar o carbono ocorreu no período chuvoso devido a compactação dos solos (i.e. facilitar a coleta) e temperaturas amenas (maior precipitação), pois nessas condições ocorre maior fixação do carbono (Resck et al., 1999).

As coletas das amostras de solo na bacia hidrográfica do Rio Vermelho foram realizadas nos meses de outubro e novembro de 2016. Das sessenta propriedades em que foram aplicados os questionários, selecionou-se dez, com diferentes características biofísicas, sendo que estas

tinham como principal sistema produtivo a pastagem, do gênero *Urochloa Brizantha* (Figura 09).

Figura 09: Pontos onde foram coletados solo e biomassa na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho.



Fonte: Do autor, (2018).

As coletas nas propriedades foram realizadas nos pastos com maior homogeneidade, sendo uma amostra de solo em cada pasto e definida a descrição das características da área do pasto (relevo, solo, condições dos pastos e outras informações) (Apêndice IV). O ponto de coleta foi selecionado aleatoriamente dentro de cada pasto, evitando-se locais com pisoteio do gado e ainda com a presença de cupins.

As amostras de solo indeformadas foram coletadas utilizando-se anel volumétrico (Blake e Hartge, 1986), o qual possuía 5cm<sup>3</sup>. As coletas foram feitas nas camadas amostrais do solo de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade (IPCC, 2006), uma vez que a maior parte de raízes e da matéria orgânica de solos, sob uso de pastagem, estão concentrados nestas camadas (Urquiaga et al., 2010; Cerri et al., 2007). Estas amostras permitiram a determinação

da densidade do solo (Equação 1) para cada camada, possibilitando posteriormente calcular o estoque de carbono do solo por camada. As amostras coletadas utilizando o anel volumétrico foram conduzidas com cuidado para não sofrerem alteração na densidade do solo, os quais foram pesados em balança de precisão e em seguida foram colocados em estufa a 105°C por 24 horas para determinar o peso da massa seca do solo (Figura 10), além da densidade também foram medidas as macro, micro e porosidade total do solo, as quais foram feitas utilizando mesa de tensão com 10, 33 e 60 cm (EMBRAPA, 1997).

$$Densidade\ Aparente = \frac{m}{v}$$

Eq.1

Em que:  $m$  é o peso da amostra seca a 105°C,  $v$  o volume do anel (cm<sup>3</sup>)

Figura 10: Coleta de solo com anel volumétrico para determinar a densidade do solo, coleta na camada (A), amostrador do solo (B), anel no amostrador (C), anel com o conteúdo de solo (D), amostras separadas e organizadas no laboratório (E), secagem das amostras para análise química e física (F).



Fonte: do autor, (2016).

As amostras de solo consistiam na retirada de um monólito (amostra deformada coletada com trado) com aproximadamente, 200 gramas de solo, a qual foi obtida adjacente a área da coleta da amostra indeformada. Esta amostra foi coletada nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, nas mesmas dez propriedades de coleta do anel. Com estas amostras, foi possível realizar as análises físicas (granulometria) e químicas do solo (cobre, ferro, manganês, zinco, matéria orgânica, p.H, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, H+Al, alumínio,

CTC, matéria orgânica e outras) (EMBRAPA, 1997), estas características são fatores que costumam estar relacionados com a variação no teor de matéria orgânica do solo (França e Paiva, 2015). A fim de determinar a matéria orgânica do solo, foi utilizado o método descrito por Walkley e Black (1934) modificado pela EMBRAPA (1997) com solução de dicromato de potássio. Com estes resultados foi possível estimar o carbono na matéria orgânica conforme a equação 2. Todas as amostras coletadas foram armazenadas em papel filme e sacos plásticos, em seguida colocadas em caixas térmicas até serem levadas ao laboratório para a análise. As análises das amostras de solos foram feitas no laboratório de solos da Escola de Agronomia (EA) da Universidade Federal de Goiás (UFG):

$$\text{Carbono Orgânico} = MO/1,72 \quad \text{eq.2}$$

Em que:  $C$  pode ser definido como o carbono orgânico do solo,  $M.O$  é a Matéria orgânica do solo e 1,72 o fator de conversão.

Para o cálculo do estoque de carbono (EstC) presente nos solos, de acordo com cada camada analisada, foi aplicada a seguinte fórmula (Veldkamp, 1994) (Equação 3):

$$\text{EstC} = \frac{COT * D * e}{10} \quad \text{eq. 3}$$

Em que:  $COT$  é o conteúdo de carbono orgânico total (Mg C),  $D$  é a densidade do solo da camada estudada ( $g/dm^3$ ),  $e$  a espessura da camada estudada (cm).

### **3.4. Modelagem Estatística - Partial Least Square (PLS)**

A análise estatística desenvolvida para os dados obtidos na bacia hidrográfica do Rio Vermelho foi elaborada utilizando o método do PLS (*Partial Least Squares*), o qual foi aprimorado para realizar a análise de regressão (Wold, 2001). Os resultados obtidos por meio desta análise propiciaram o entendimento dos fatores edáficos que mais influenciam a variação dos estoques de carbono no solo em áreas de pastagem. O PLS faz a análise de correlação entre o grupo das variáveis preditoras e as variáveis respostas do modelo pelas variáveis latentes (componentes principais). A escolha deste método estatístico se deu em função da sua livre multicolinearidade (modelo de regressão múltipla quando duas ou mais variáveis independentes são fortemente relacionadas linearmente entre si) (Maia, 2017). Devido ao número de variáveis (doze) ser maior que o número de sítios amostrais (dez), o conjunto de dados não cumpre as

premissas exigidas pela regressão linear múltipla. Outro aspecto a ser mencionado é que o PLS maximiza a covariância entre as variáveis preditora e resposta (Wold et al., 2001).

O PLS é um modelo linear multivariado e a relação entre as variáveis preditoras e resposta é dada por

$$Y = TC' = XWC' = XB \quad \text{eq. 4}$$

Em que:  $Y$  são as variáveis resposta;  $X$  são as variáveis preditoras;  $B$  são os coeficientes;  $T$  são as variáveis latentes;  $C'$  são os *loads*;  $W$  são os pesos. Todos os dados foram normalizados para variância unitária para retirar a diferença das unidades de medidas (por exemplo, elevação em metros e declividade em porcentagem). Também, os dados transformados para variância unitária possuem o mesmo peso e permitem explorar a correlação entre  $X$  e  $Y$ . Para maiores informações sobre PLS pode ser consultado os trabalhos de Abdi (2010), Carkner e Entz (2017), Geladi e Kowalski (1986), Krishnan et al. (2011) e Wold et al. (2001).

Para evitar o sobreajuste do modelo durante a adição de uma componente foi aplicada a validação cruzada. Durante essa, a cada interação no modelo era retirado um dado/fazenda (1/10). Após modelado, i.e. 100 (cem) interações, foi verificada a capacidade de predição do modelo para cada fazenda. A qualidade do ajuste e predição do modelo PLS foram medidas pelas métricas  $r^2$  e  $Q^2$  cum, respectivamente.

Os critérios  $Q^2$  e  $Q^2$  cum foram utilizados para ajustar e avaliar o modelo. Valores de  $Q^2$  cum maiores que 0,5 indicam que o modelo é forte para predição (Woldesenbet, et al., 2017). Para evitar o sobreajuste do modelo (*over-fitting*), o valor de  $Q^2$  é utilizado na determinação do número de componentes, assim, o  $Q^2$  deve ser menor do que 0,0975 para todas as variáveis resposta.

O produto interno dos pesos ( $W$ ) para cada componente é igual a 1. Dessa forma, se os pesos ( $W$ ) forem maiores do que 0,3, em módulo, eles representariam, aproximadamente, 10% de importância no modelo. Se o sinal do peso for positivo indica que a influência da variável é positiva, se o sinal for negativo, a influência é negativa, ou seja, inversamente proporcional.

A PLS possui o indicador VIP (*Variable Importance in Projection*), que demonstra o quanto a variável independente é importante para o conjunto de variáveis respostas (Y). Os pesos (W), por sua vez, tratam o quanto a variável preditora é importante para o modelo. De acordo com Tenenhaus (1998), os valores para o VIP superiores a 1,0 indicam que a variável independente é significativa na resposta de Y, enquanto os valores inferiores a 0,5 indicam que a variável tem um menor poder de explicação sobre as variáveis Y (Woldesenbet et al., 2017).

### **3.5. Calibração e validação do modelo Century para estudo de pastagens no Cerrado**

A calibração de um modelo refere-se à realização de ajustes em parâmetros no sentido de reduzir as diferenças entre os resultados apresentados pelo modelo quando comparados com os dados reais (obtidos em campo e/ou através de revisão da literatura). Caso haja necessidade de investigar o efeito de alterações em determinado parâmetro nos resultados do modelo pode-se recorrer à análise de sensibilidade, variando os valores do parâmetro de interesse em proporções de interesse e avaliando a resposta do modelo. A validação, por sua vez, consiste em avaliar, por meio de um conjunto de dados independentes, o desempenho do modelo obtido no processo de calibração (Leite e Mendonça, 2003).

O *Century Agrosystems Model* é um modelo baseado em processos que simula os ciclos de C, N, P e S no sistema solo-planta-atmosfera em escala de tempo mensal para diferentes ecossistemas, a saber: florestal (natural ou plantado), herbáceo, savana (herbáceo-arbóreo) e cultivado (Parton et al., 1993).

O modelo é composto por três programas, os quais permitem a parametrização e criação de cenários para os ecossistemas estudados. Através do programa file100.exe é possível ajustar os parâmetros de arquivos utilizados para caracterizar o estrato herbáceo e/ou a cultura estudada (CROP.100) e o componente arbóreo, seja natural ou plantado (TREE.100). Também é possível ajustar o tipo de manejo (CULT.100), a aplicação de fertilizantes (FERT.100), o efeito de queimadas (FIRE.100), o impacto do pastejo (GRAZ.100), o efeito da colheita (HARV.100), da irrigação (IRRI.100), da adição de matéria orgânica (OMAD.100). O efeito da remoção da vegetação nativa, utilizando corte e/ou queimadas, é caracterizado através do arquivo TREM.100, enquanto as informações ambientais do sítio em estudo (dados climáticos e características do solo) são inseridos no arquivo SITE.100. O programa event100.exe é utilizado para criação de um arquivo de agendamento (\*.SCH) no qual é possível criar o histórico de manejo, enquanto o programa century.exe é utilizado para gerar as simulações.

Os dados utilizados na parametrização e também para verificação da acurácia do modelo (comparação dos valores simulados com observados) foram obtidos junto ao banco de dados utilizado por Assad et al. (2013), no qual havia informações para vegetação nativa de Cerrado, bem como para áreas de pastagem com diferentes tipos de manejo e solo, nos estados de Goiás, Mato Grosso, Tocantins, Maranhão (Figura 12). Assim, foram reunidas as informações ambientais (variáveis de entrada) necessárias para as simulações, elas foram: textura do solo (silte, areia e argila), densidade e o p.H. nas camadas de 0-20 cm, sendo que os valores foram ponderados por espessura de cada camada.

No que diz respeito ao entendimento do funcionamento do ciclo do carbono no modelo, é necessário que este represente a dinâmica do mesmo antes de ser registrada qualquer perturbação no sistema. Nesse sentido, foram criadas simulações para vegetação nativa do Cerrado baseados nos parâmetros aplicados por Ferreira (2013) em área de cerrado sentido restrito. A simulação foi realizada por um período de 10.000 anos, objetivando atingir a estabilização dos estoques de carbono no solo e na planta, representando um sistema em equilíbrio em relação às entrada e saída de C no sistema, algo que se espera em uma vegetação de Cerrado sem perturbações importantes.

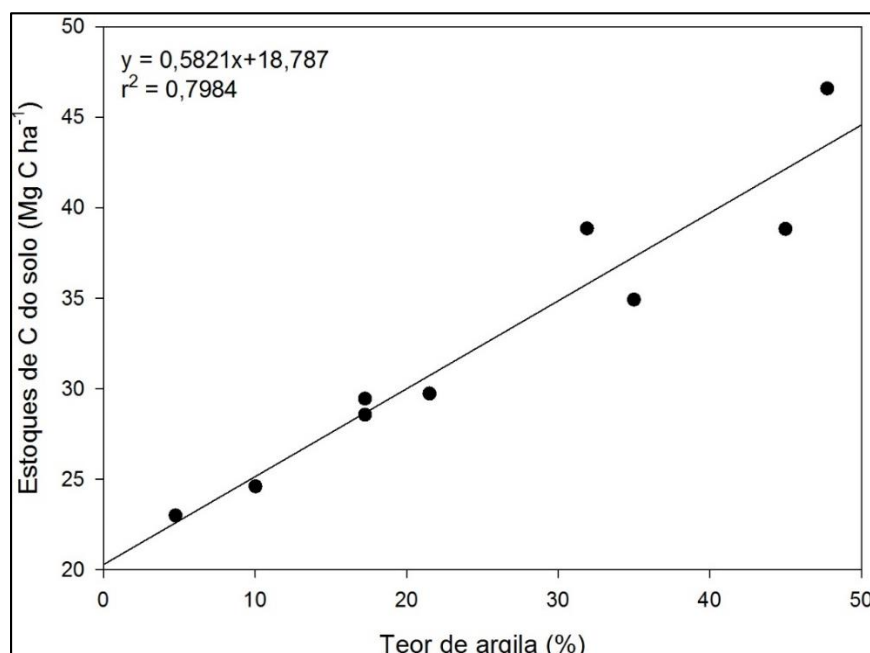
No conjunto de dados disponíveis sobre pastagem (Assad et al., 2013) havia trinta pontos de pastagem de *Urochloa* no bioma Cerrado. Para determinação da idade das pastagens, utilizou-se a inspeção visual, por meio da ferramenta TVI (*Tool Visual Inspection*) desenvolvida pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG). Essa ferramenta permite visualizar a série temporal de imagens da coleção Landsat (USGS) de 1985 a 2016, além de identificar a sazonalidade, estações seca e chuva, no Cerrado. Os pontos para os quais foi possível determinar o ano de conversão de vegetação nativa para pastagem foram utilizados para a calibração do modelo, compreendendo nove pontos. Na tabela 02 pode-se observar estes pontos e suas características. Percebe-se que nestes pontos existe relação importante entre o teor de argila do solo e o estoque de C do solo, onde o coeficiente de determinação é de aproximadamente 0,80 (Figura 11). Os demais pontos (vinte e um), com ampla distribuição no Cerrado (Figura 12), foram utilizados para validação do modelo, sendo que estes possuem características de solos argilosos a médios, com precipitação média de 1200 mm anuais e temperatura variando de 15°C a 32°C em média (Tabela 03), em sua maioria os pastos possuem manejo tradicional, que em geral considera o superpastejo como indicador desse tipo de manejo (Zimmer et al., 2012; Dias-Filho, 2014). Como não foi possível determinar

o ano da instalação da pastagem nestes pontos, foi considerado que a mesma ocorreu antes do ano de 1985. A amostragem dos solos feita por Assad et al. (2013) ocorreu em 2010, portanto, todos os pontos de validação foram considerados com 26 anos de idade (1984 a 2010). Estima-se que um período de tempo em torno de 20 anos seja suficiente para que haja estabilização entre os fluxos de entrada e saída do carbono em sistema de pastagem (Lal, 2006).

Tabela 02: Características dos pontos utilizados para realizar a calibração dos dados da pastagem no Cerrado.

Ponto	Idade Pasto (anos)	Carbono Mg C /ha	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Densidade (g cm <sup>3</sup> )	p.H	Precipitação anual (mm)
Barra do Garças - MT	27	33,45	59,5	19	21,5	1,4	6	1242,38
Bom Jardim - GO	28	20,29	85,25	10	4,75	1,7	5,6	1242,38
Campos Lindos - TO	11	21,07	87,38	2,6	10,03	1,5	5,6	1501,25
Cariri do Tocantins - TO	27	32,33	59,98	8,13	31,9	1,2	5	1191,67
Estreito - MA	11	46,19	38	14,25	47,75	1,5	5,8	1394,34
Goiás - GO	19	38,71	61,5	21,25	17,25	1,4	5,9	1452,23
Pastos Bons - MA	20	45,39	44,75	10,25	45	1,5	5,7	1018,31
Rio dos Bois - TO	11	25,28	78,13	4,63	17,25	1,3	4,9	1387,41
Sucupira do Riachão - MA	23	40,5	55,5	9,5	35	1,3	4,7	1018,31

Figura 11. Relação entre os teores de argila e os estoques de C do solo nos sítios de pastagem (Assad et al., 2013) utilizados para calibração do modelo Century.



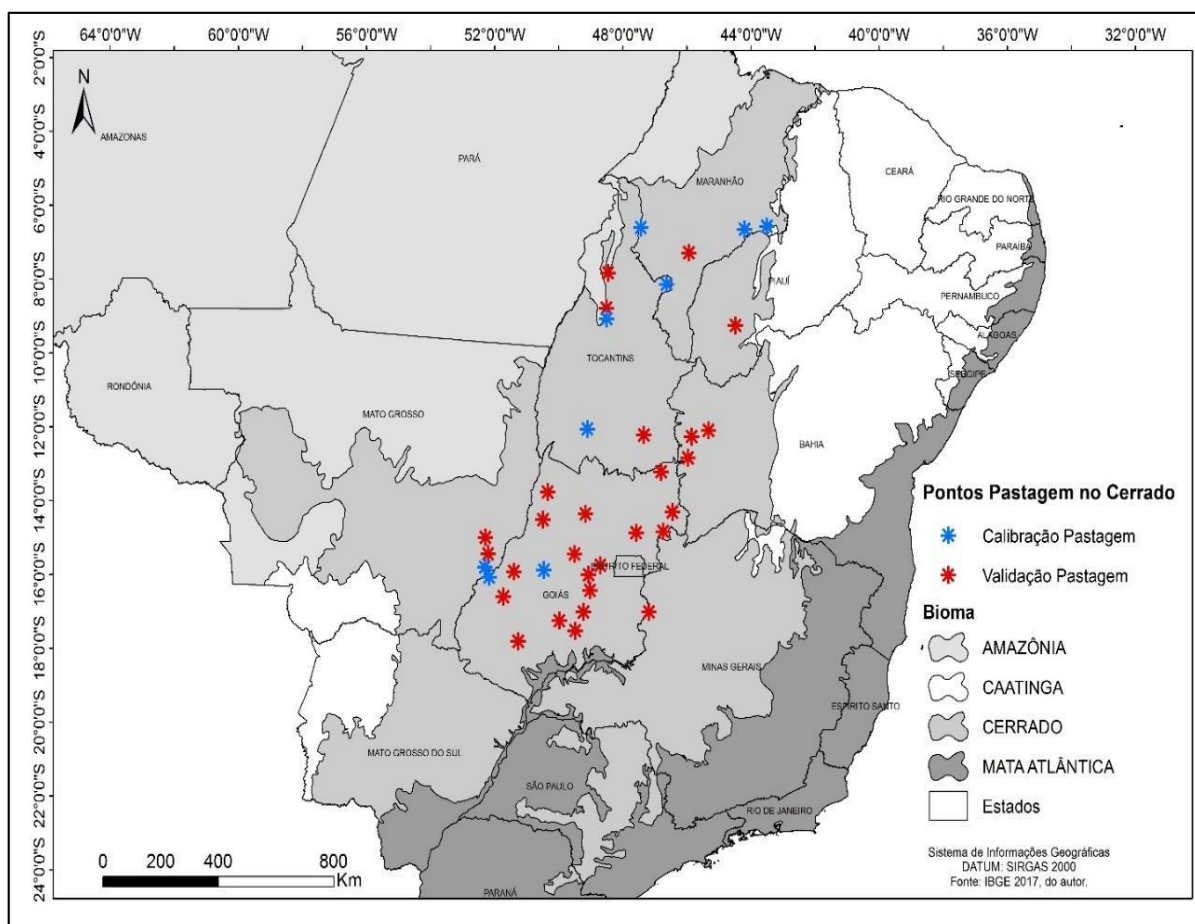
Fonte: Assad et al., (2013).

A simulação da conversão de vegetação nativa para pastagem iniciou-se com a construção de um sítio hipotético cujos parâmetros de entrada do modelo eram compostos por médias das informações obtidas para os pontos de calibração. Desta forma, as saídas de C do modelo (vegetação e solo) também foram comparadas com as médias de valores obtidos na literatura. O histórico de uso da pastagem simulado visou representar um manejo tradicional. Em sua maioria o manejo dos pastos é tradicional, ou seja, após a formação, para controle de ervas daninhas utiliza-se roçada manual ou herbicida e há uma baixa taxa de lotação, em função da qualidade e quantidade de gramínea disponível, indicando que estas se encontram com algum grau de degradação (Dias-Filho, 2014), uma vez que nas pastagens do Brasil o gado se alimenta basicamente à pasto.

No arquivo contendo os parâmetros para caracterização do componente cultivado (herbáceas/pastagem/culturas - CROP.100), o ajuste do valor do parâmetro relacionado à eficiência de produtividade da gramínea (PRDX) foi realizado tomando-se com base seu efeito na saída de C na biomassa e solo, e comparando os valores com os obtidos na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho e literatura (Oliveira et al., 2015a). A alocação de C em raízes ou parte aérea da gramínea em relação as variações na disponibilidade hídrica ou nutricional foram ajustados utilizando os parâmetros CFRTCN(1), CFRTCN(2), CFRTCW(1), CFRTCW(2) para corresponder aos valores encontrados por Oliveira et al. (2015b). Também foi ajustado o valor do parâmetro relacionado com a temperatura ótima de produção da gramínea (PPDF) (Apêndice III) (Dias-Filho, 2012).

No processo de validação do modelo, para os sítios de pastagem, foram utilizados os mesmos parâmetros da calibração, assim, foi possível avaliar o desempenho do modelo para um conjunto de dados independentes.

Figura 12. Localização dos pontos de calibração e validação da pastagem no bioma Cerrado.



Fonte: do autor, (2018).

Tabela 03: Informações relativas aos vinte e um pontos utilizados para validação do modelo.

Área de Pastagem	Carbono Mg C/ha	Areia %	Silte %	Argila %	Precipitação anual (mm)
Água Fria de Goiás (GO)	51,31	7,5	37,75	54,75	1132
Balsas (MA)	27,67	77,5	2,75	19,75	1242
Barra do Garças (MT)	31,64	67	11	22	968
Barreiras (BA)	29,31	80,75	7	12,25	863
Bom Jesus Piauí (PI)	23,65	63,5	22	14,5	830
Campinorte (GO)	30,70	60	11,5	28,5	1398
Cocalzinho (GO)	41,01	54	16	30	1398
Conceição (TO)	46,14	20,5	35	44,5	1333
Cristalina (GO)	48,86	11,5	22,5	66	1148
Edéia (GO)	37,33	54,25	15,75	30	1325
Flores de Goiás (GO)	40,92	25,25	25,5	49,25	1145
Hidrolândia (GO)	56,03	44,5	19	36,5	1325
Monte Alegre (GO)	38,22	62,5	17,25	20,25	1317

Área de Pastagem	Carbono Mg C/ha	Areia %	Silte %	Argila %	Precipitação anual (mm)
Montes Claros (GO)	32,71	71,75	12,75	15,5	1242
Nova Crixás (GO)	27,68	62,5	9	28,5	1452
Nova Olinda (TO)	25,93	56,5	27,25	16,25	1452
Mundo Novo (GO)	21,68	68,25	11,25	20,5	1501
Pirenópolis (GO)	38,80	49,75	16,75	33,5	1398
Rianópolis (GO)	31,95	60,5	17,75	21,75	1398
Rio Verde (GO)	35,24	27,5	22,25	50,25	1303
São Desidério (BA)	22,61	70,75	4,5	24,75	863

Fonte: do autor, (2018).

Após o processo de validação do modelo para simulação dos estoques de C no solo realizou-se a avaliação de cenários de pastejo de alta produtividade, considerando as condições do pastejo médio (validação) como referência para as alterações.

### **3.6. Cenários alternativos de uso da pastagem para avaliação do potencial de sequestro de C no solo**

Cenários de manejo da pastagem simulando sistemas produtivos foram realizados visando avaliar o potencial de sequestro de C no Cerrado. Para isto, os parâmetros de produtividade da gramínea foram modificados (PRDX alterado de 0,30 para 0,70) para aumentar a biomassa produzida. Esta modificação representa a possibilidade de utilização de forrageiras submetidas ao melhoramento genético, algo que a Embrapa tem conseguido através de estudos de fisiologia vegetal, biotecnologia e interação com estresses bióticos e abióticos (Jank et al., 2017).

A melhoria no sistema de manejo, deste a instalação da pastagem, também fez parte dos cenários alternativos. Procurou-se reproduzir as recomendações técnicas propostas por Dias-Filho (2012). Desta forma, na remoção da vegetação nativa não se utilizou queimada, nem a remoção das raízes. No plantio da gramínea foi realizada fertilização do solo e posteriormente foram simuladas renovações do pasto com fertilização a cada cinco anos.

Considerando as simulações de melhoria no manejo das pastagens descritas acima, os dois cenários alternativos testados variavam apenas em relação período de pastejo do gado: Cenário 1 - os animais pastejam somente nos períodos de chuvas; Cenário 2 - o pastejo ocorreu durante todo o ano. Essas alterações se basearam em comunicação pessoal com o prof. da escola de Zootecnia e Veterinária da Universidade Federal de Goiás, Vitor Rezende, e também nos

estudos de Dias-Filho, (2012) e Salman, (2007), os quais definiram métodos para uma pastagem ambientalmente sustentável.

### 3.7. Base de Dados Climatológicos

Os dados de estações meteorológicas foram obtidos por meio do Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cujo recorte temporal foi de 1980 até 2017. Os dados extraídos foram os valores mensais de precipitação (mm) e temperatura (mínimos e máximos, °C). Para todas as estações observadas (Tabela 04) foi necessário realizar a correção dos dados climatológicos com base na metodologia proposta por Pinto et al. (2016). Estes dados foram utilizados para gerar um arquivo climático (extensão .wth) e utilizado nas simulações com o modelo Century.

Tabela 04: Pontos analisados e estações climatológicas correspondentes no Cerrado.

Ponto	Estação
Barra do Garças	Aragarças
Bom Jardim	Aragarças
Campos Lindos	Araguaína
Cariri do Tocantins	Peixe
Estreito	Imperatriz
Goiás	Goiás
Pastos Bons	Colinas
Rio dos Bois	Pedro Afonso
Sucupira do Riachão	Colinas

Ainda, e com base nos dados do INMET foram gerados os arquivos .wth para todos os pontos de validação dos dados avaliados. Os arquivos de precipitação, temperatura média máxima, e temperatura média mínima, tinham falhas nos arquivos, e para corrigi-los foi aplicada uma equação de regressão utilizando os dados da estação mais próxima e que não possuía falhas no período analisado, ou seja, de 1980 até 2017.

### 3.8. Avaliação da performance do Modelo Century

A associação entre os valores simulados pelo modelo e observados foi testada por meio de regressão linear simples, atentando-se aos valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) se aproximassem de 1, mesmo valor a ser atingido pela inclinação da reta, o que indicaria um paralelismo entre a curva obtida e a reta que representa ajuste perfeito entre os valores observados e simulados (linha 1:1). O erro médio entre os valores observados e simulados ( $M$ ) foi calculado através da equação 5:

Equação 5: 
$$M = \sum_{i=1}^n (O_i - P_i) / n$$
, ver Smith et al., (1997) para detalhes

Em que:  $M$  é a média das diferenças entre os dados,  $O_i$  diz respeito aos dados medidos em campo,  $P_i$  são os dados simulados no modelo e  $n$  o número de valores obtidos.

As diferenças relativas entre os valores observados e simulados por sítio também foram avaliadas, sendo desejável a maioria dos sítios apresente valores de erros (razão entre a diferença do valor simulado e observado pelo valor observado) entre -20 e +20%, conforme sugerido por Parton et al. (1993). Outra análise utilizada foi o Coeficiente de Eficiência do modelo (COE), também conhecida como Coeficiente de Nash (Nash e Stueliffe, 1970). Segundo Silva et al. (2008), o modelo pode ser considerado satisfatório quando o valor de COE for maior que 0,75. Para valores de COE entre 0,36 e 0,75, o desempenho do modelo pode ser considerado aceitável, enquanto valores de COE inferiores a 0,36 fazem com que o modelo seja considerado inaceitável.

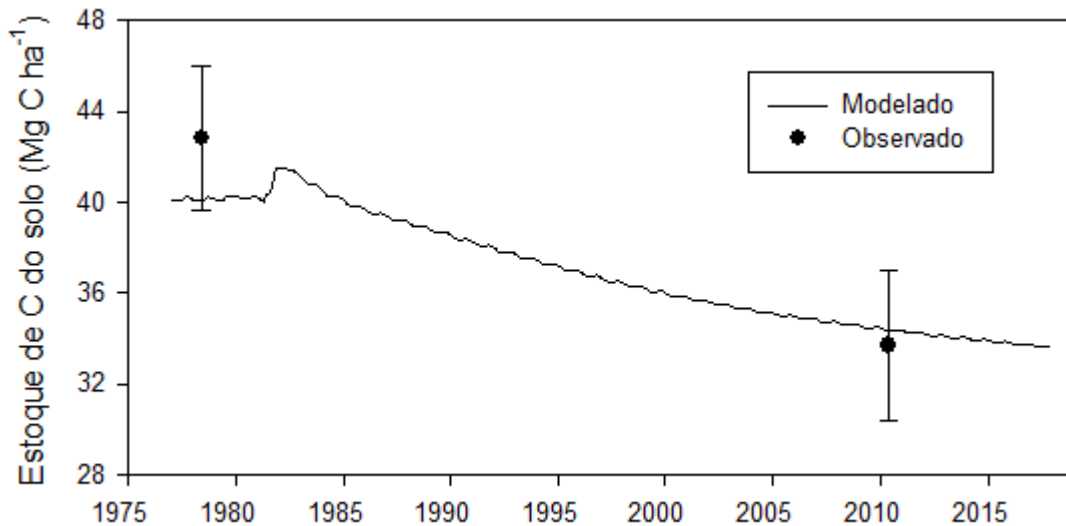
## 4. Capítulo IV - Resultados e Discussão

### 4.1. Calibração e validação do modelo Century para o estudo da dinâmica dos estoques de C de solos sob pastagem

Uma vez ajustado o modelo Century para as condições ambientais de pastagens no Cerrado foi realizada uma simulação da conversão de vegetação nativa para pastagem utilizando os parâmetros do sítio hipotético (valores ambientais médios). O modelo reproduziu de forma satisfatória o padrão geral do efeito do manejo. No campo, os estoques médios de C do solo partiram de 42,8 Mg C ha<sup>-1</sup> na vegetação nativa e atingiram 33,69 Mg C ha<sup>-1</sup> em 2010 na pastagem, conforme dados de Assad et al. (2013). Os valores simulados pelo modelo Century foram aproximadamente de 40 e 34 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente, ambos dentro da margem de erro da amostra (Figura 15). Portanto, nota-se que houve uma redução nos estoques de carbono de forma progressiva desde a conversão de vegetação nativa para pastagem, com uma perda de 9,1 Mg C ha<sup>-1</sup> no período de aproximadamente 30 anos. Redução no estoque de C do solo em função do uso do solo com pastagem também foi reportado por Corbeels et al. (2006) nos municípios de Rio Verde e Montividiu (GO), embora a perda tenha sido maior (13,2 Mg C ha<sup>-1</sup>).

A simulação mostrou que nos primeiros meses logo após a remoção da vegetação nativa ocorre um breve aumento dos estoques de C do solo (Figura 13). Isto acontece devido à incorporação do material vegetal (galhos finos, folhas e serapilheira, além de raízes da vegetação anterior), o qual é adicionado à matéria orgânica do solo. Entretanto, percebe-se que os processos relacionados à saída de C do solo (e.g., decomposição) foram mais intensos do que as entradas (e.g., produtividade da gramínea), havendo então uma perda líquida de C ao longo do tempo, ou seja, este sistema tornou-se emissor de C para a atmosfera.

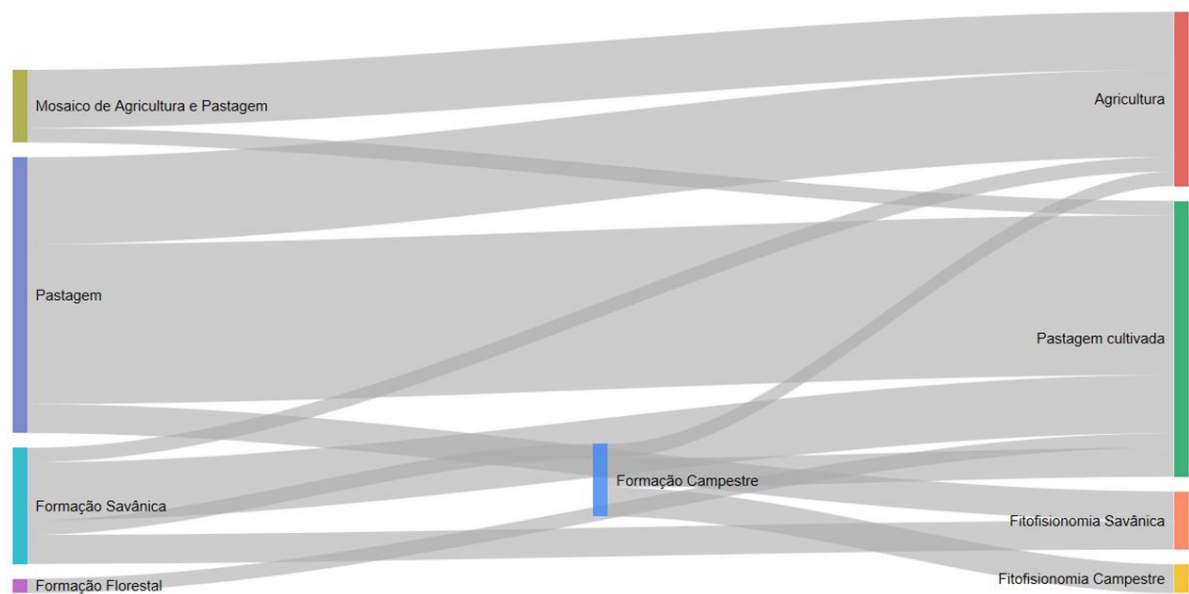
Figura 13: Estoques de carbono em área de Cerrado nativo e pastagem com 36 anos de conversão.



Fonte: do autor, (2018).

De acordo com os dados de cobertura e uso da terra do projeto Mapbiomas, a maior parte das áreas mapeadas neste trabalho eram pastagem no ano de 1985 e permaneceram desta forma até o ano 2017; algumas apresentam vegetação nativa de Cerrado e foram convertidas para agricultura e pastagem, outras ainda permanecem como vegetação nativa. Contudo, nota-se aqui um erro no mapeamento, provavelmente em função da escala de análise. De toda forma, é importante perceber neste gráfico (Figura 14) que, em geral, as pastagens do bioma são antigas e possuem potencial de emissão de CO<sub>2</sub>, em função do manejo tradicional adotado pela maior parte dos pecuaristas (Dias-Filho, 2014), mesmo no processo de mudança da cobertura é importante notar que se dá para área de agricultura. Ao avaliarmos os dados da transição correlacionados com os dados da figura 13, média dos estoques de C ao longo do tempo em áreas de pastagem, percebe-se que as áreas convertidas em sua maioria possuem um grande potencial de emissão de C, uma vez que a reprodução do modelo demonstrou que estas áreas sofrem redução dos estoques de C, e portanto, são emissores de carbono; contudo, se as mesmas forem recuperadas, há um potencial de sequestro.

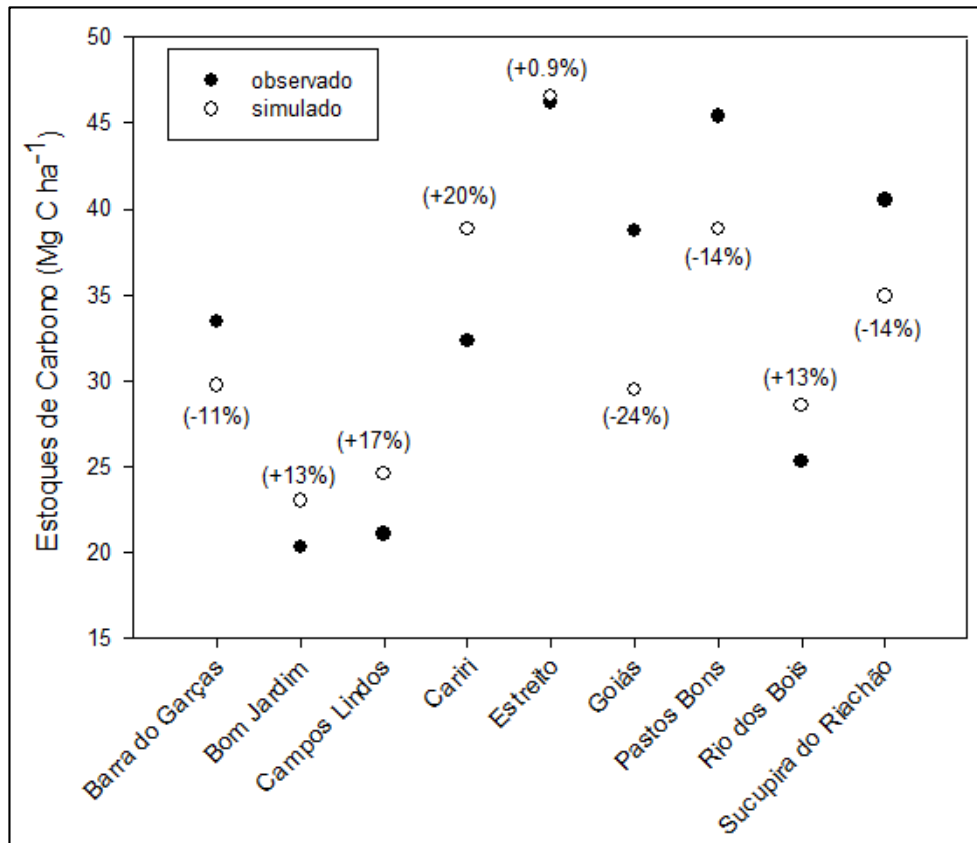
Figura 14: Transição da cobertura e uso da terra das áreas estudadas entre os anos de 1985 e 2017.



Fonte: Mapbiomas coleção 3, (2018).

Após avaliar a simulação da dinâmica de C em solos sob pastagem, seguiu-se a análise da capacidade do modelo Century em estimar os estoques de C do solo por sítio de calibração. Erros do modelo menores do que  $\pm 20\%$  foram encontrados em sete dos nove sítios utilizados para calibração (Figura 15). A melhor estimativa de estoque de C do solo pelo modelo foi observada em Estreito, MA (erro de 0,9%), enquanto o maior erro foi obtido em Goiás, GO, no qual o estoque de C do solo foi subestimado pelo modelo em 24%. O erro médio do modelo foi de  $0,97 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Estes resultados demonstraram que os ajustes feitos durante a calibração permitiram ao modelo representar de forma satisfatória a variação nos estoques de C dos solos nas áreas de pastagem estudadas.

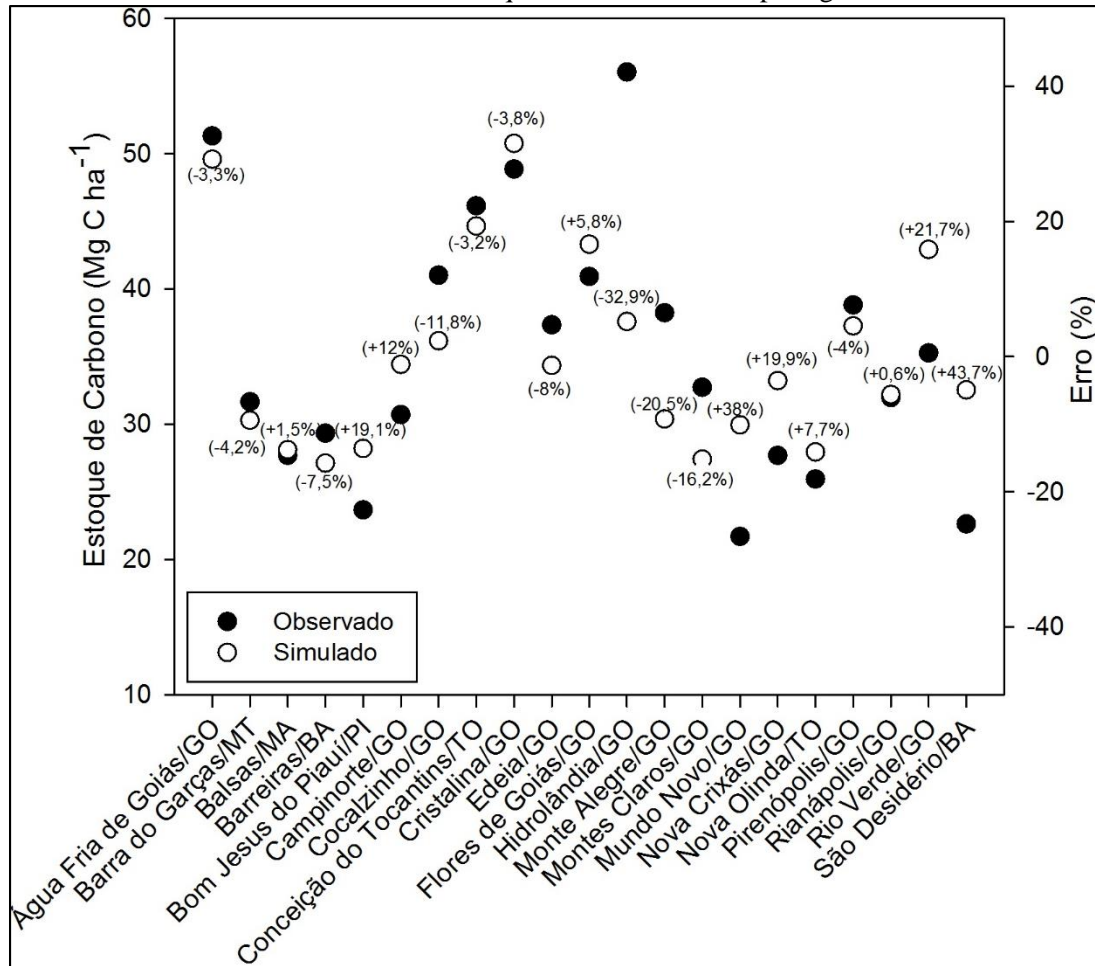
Figura 15: Estoques de C do solo em pastagens no Cerrado simulados pelo modelo Century e observados em Assad et al. (2013). Os valores entres parêntesis representam erros do modelo.



Fonte: do autor, (2018).

Ao aplicar o modelo ajustado para os vinte e um sítios de validação obteve-se um estoque simulado médio de C no solo de 35,15 Mg C ha<sup>-1</sup>, bastante próximo da média obtida em campo (35,21 Mg C ha<sup>-1</sup>). Foram observados erros do modelo entre ±20% em 14 sítios (figura 16), sendo que os pontos que apresentaram maiores erros foram São Desidério, BA (44%) e Mundo Novo, GO (38%). As diferenças nos valores de erro do modelo encontradas por sítio estão associadas a variação nas condições edafoclimáticas entre as áreas estudadas, lembrando que os pontos estudados estão dispersos pelo bioma Cerrado, ou seja, apresentam grande amplitude espacial.

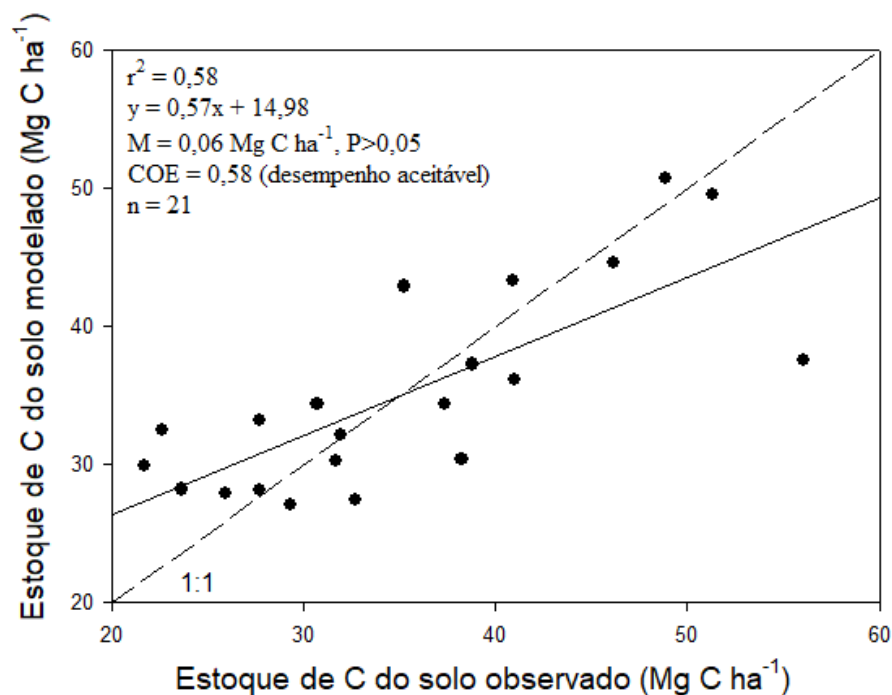
Figura 16: Resultados entre os dados simulados e observados Assad et al., (2013), com os erros médios entre os valores de estoque de C nas áreas de pastagem.



Fonte: do autor, (2019).

Ao avaliar a performance do modelo para simular os estoques de C do solo nos sítios de validação foi observado um coeficiente de determinação de 0,58, e COE com mesmo valor, além de erro médio do modelo ( $M = 0,06 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) não significativo (figura 17). Bortolon et al. (2011) no distrito de Santana no Rio Grande do Sul, ao estudarem áreas com diferentes classes de cobertura e uso do solo encontraram valor maior com  $r^2$  (0,83), entretanto, a área experimental utilizada naquele estudo não era maior do que  $70 \text{ km}^2$ , ou seja, a abrangência espacial era bastante reduzida, o que permitiu maior acurácia do modelo.

Figura 17: Relação entre os dados de estoque de C ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ) de campo e o resultado do modelo pastagem para o Cerrado, na profundidade de 0-20 cm, no processo de validação do modelo.



Fonte: do autor, (2019).

Os valores de  $r^2$  obtidos na validação se aproximaram dos dados apresentados por Cerri et al., (2007) para onze áreas de pastagem com diferentes idades de conversão na região amazônica brasileira (0,91), também foi observado um  $r$  de 0,65 no trabalho desenvolvido por Ferreira, (2013) para pastagem em áreas do Cerrado, com 21 anos de conversão, sem aplicação de nitrogênio e com queimadas a cada cinco anos. Na Amazônia rondoniense Cerri et al., (2004), encontraram valor de  $r$  igual a 0,66 em áreas de pastagem com diferentes tempos de conversão e com sob diferentes manejos. Easter et al. (2007) encontrou um  $r^2$  de 0,48 para as grandes planícies dos Estados Unidos. Em latossolos na região de Ibirubá com diferentes classes de uso do solo e tempo de conversão, Tornquist et al., (2009) encontraram valores de  $r$  igual a 0,74 entre os dados medidos e observados. O modelo ajustado para pastagens do Cerrado, após análise de performance, pode ser considerado robusto para avaliação do C no sistema analisado, mesmo em áreas com diferentes tempos de conversão e com diferentes escalas espaciais de estudo.

#### 4.2. Cenários alternativos de manejo para pastagem

Cenários alternativos de manejo em pastagens foram aplicados aos sítios de validação durante o mesmo período de tempo utilizado anteriormente. A intenção era investigar qual seria o efeito de manejos produtivos de pastagem nos estoques de C do solo caso estes tivessem sido

utilizados ao invés do manejo tradicional. O modelo respondeu ao aprimoramento no manejo, o que resultou em maior produtividade primária líquida (PPL) nos sistemas alternativos (cerca de 7 Mg C ha<sup>-1</sup> em ambos os cenários), em comparação com o valor observado no manejo tradicional (5 Mg C ha<sup>-1</sup>). Portanto, houve um aumento na PPL das pastagens da ordem de 2 Mg C ha<sup>-1</sup> (Tabela 05). Em cenários de pastagem similares apresentados por Ferreira (2013) foi observada uma produtividade de 7 Mg C ha<sup>-1</sup> em áreas de pastagem com aplicação de nitrogênio e queima a cada cinco anos, semelhante aos valores encontrados nos cenários deste trabalho. Rosa e Sano, (2013) para a bacia do Rio Paranaíba em áreas de *Urochloa Brizantha* encontraram valores similares de PPL da ordem de 8,5 Mg C ha<sup>-1</sup>, utilizando dados modelados de satélite. As maiores diferenças observadas no C do solo, em comparação aos três sistemas, indicam que o melhor manejo para que haja aumento dos estoques de C no sistema solo é do cenário 1, sendo que a PPL também demonstra que este mesmo cenário como o mais favorável às práticas de manejo que possibilitem uma maior produtividade e sustentabilidade (Salman, 2007).

Tabela 05. Resultados comparados dos modelos de manejo tradicional, com os cenários de produtividade da pastagem. Cenário 1 (pastejo no período chuvoso), Cenário 2 (pastejo em todo o ano).

	<b>Tradicional</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>
Produtividade Primária líquida (Mg C ha <sup>-1</sup> . ano <sup>-1</sup> )	5,50	7,52	7,24
Estoque de C na biomassa aérea (Mg C ha <sup>-1</sup> )	3,14	4,11	3,34
Carbono removido no evento de pastejo (Mg C ha <sup>-1</sup> )	2,32	2,49	2,61
Estoque de C no solo (Mg C ha <sup>-1</sup> ) (0 – 20 cm)	35,14	47,12	46,23
Taxa média de acúmulo de C no solo em comparação com o manejo tradicional (Mg C ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )		0,40	0,37

O carbono na biomassa aérea removido pelo pastejo apresentou aumentos de 7% e 13%, respectivamente nos Cenários 1 e 2 em relação aos valores do manejo tradicional. É importante observar que no sistema em que o gado pasteja o ano todo a proporção da biomassa é maior,

uma vez que a pastagem possui um sistema radicular com alta taxa de renovação e ainda tem-se o gado, o qual deposita fezes e urina na área, favorecendo a deposição de carbono (Carvalho et al., 2009). Portanto, entende-se que a quantidade de biomassa que serviu para a ingestão do gado ajuda no crescimento e aumento de peso dos animais, mas também contribui para a renovação da planta, sendo que a qualidade da biomassa removida pode favorecer um melhor processo de ruminação do gado e portanto, menor liberação de gás metano pelos animais (Santos et al., 2011). As maiores diferenças foram observadas nos estoques de C do solo, sendo que o Cenário 1 proporciona aumento de 37%, enquanto o Cenário 2 o aumento seria de 32%, em relação ao manejo tradicional. A taxa de acúmulo do C no solo em ambos os cenários foi de aproximadamente  $0,4 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Corazza et al. (1999), na área de pastagem do sítio experimental da Embrapa no Distrito Federal, obteve taxas de  $0,92 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , enquanto Maia et al. (2009) identificaram uma taxa média de sequestro de C em áreas de Rondônia e Mato Grosso em pastagens bem manejada na ordem de  $0,61 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

Em relação a outros usos e cobertura da terra, dados obtidos por Corazza et al., (1999) na área de latossolo vermelho escuro com textura argilosa, demonstraram que a pastagem e o eucalipto promovem aumento do teor de C por camada no solo. Já um estudo realizado por Gmach et al., (2018) em uma área de latossolo amarelo com textura arenosa identificou que nem as áreas de pastagem, nem de agricultura com plantio direto, nem as áreas de eucalipto tiveram capacidade de promover acúmulo do C no solo, em relação à vegetação nativa, embora as áreas de pastagem tenham sido aquelas que tiveram maior acúmulo de C em relação às demais. Portanto, é importante avaliar para além do manejo as condições naturais do ambiente (clima, solo, relevo e outros) em que será implantado o sistema de uso da terra.

Quando se observam os valores de incremento do carbono nos cenários propostos as taxas são baixas, mas estão dentro dos valores encontradas na literatura, em comparação aos trabalhos publicados por Rosendo e Rosa, (2018). Em uma região entre Uberlândia e Uberaba – MG, região do Cerrado, em solos da classe dos latossolos vermelho e vermelho amarelo, na área de pastagem melhorada apresentou um incremento de  $7,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , na de pastagem degradada  $2,06 \text{ Mg C ha}^{-1}$  e na área de cana-de-açúcar  $6,52 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Macedo et al., (2015), demonstraram que em áreas de sistema integrado de agricultura e pastagem (ILP) ( $2,47 \text{ g C m}^{-3}$ ) os teores de carbono do solo são maiores do que àqueles observados em áreas de lavoura-pecuária-floresta (ILPf) com 14 metros entre as linhas e a outra de 22 metros entre as linhas ( $1,95$  e  $2,24 \text{ g C m}^{-3}$ , respectivamente), pois no sistema ILP há menos competição por luz, água

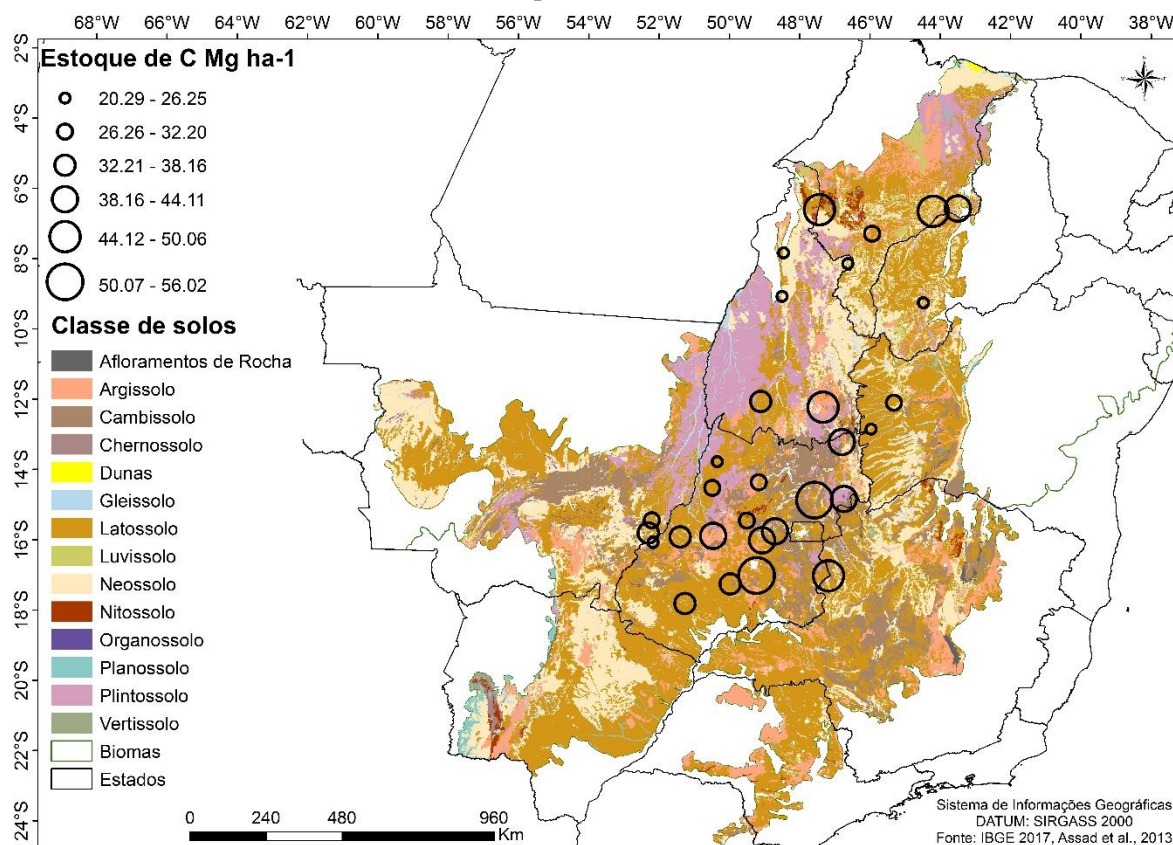
e nutrientes do que nos demais, sendo que nele houve maior quantidade de resíduo depositado no solo.

Estes trabalhos colaboram para entender que os estoques de C em áreas de culturas agrícolas, em áreas de pastagem e mesmo em sistemas integrados. Quando possuem um manejo produtivo, estes promovem a elevação dos estoques de C, considerando além do manejo, as características ambientais favoráveis a este processo, sendo que as áreas de pastagem tendem a promover maior estoque de C no solo do que outras áreas avaliadas.

Na figura 18 observa-se que os maiores estoques de carbono obtidos em campo foram em áreas com solos da classe dos latossolos com textura argilosa, em Goiás nos municípios de Água Fria e Hidrolândia, em comparação às áreas que apresentaram menores estoques foram sob os Neossolos litólico e Quartzarênico, Tocantins (Campos Lindo) e Goiás (Bom Jardim), também são encontrados valores de 23 Mg C ha<sup>-1</sup> em áreas de latossolo, com textura média a argilosa, isso pode indicar que para além das condições ambientais favoráveis ao processo de estoque de C no solo, é importante haver um manejo sustentável.

Os latossolos do Cerrado estão em sua maioria em relevos com declive plano a suave-ondulado e possuem uma fertilidade natural baixa com argilas de baixa atividade do tipo 1:1, já os Neossolos (22% da área do Cerrado), possuem teores de argila menores que 15% e mais de 80% de areia, a depender do material de origem, sendo estes mais frágeis e susceptíveis aos manejos (Resck et al., 2008).

Figura 18: Classe de solos do bioma Cerrado e os pontos de estoque de carbono estimados com dados de campo no ano de 2010.



Fonte: IBGE, (2017); Assad et al., (2013).

No processo de estabilização do C na matéria orgânica do solo vários fatores influenciam como o clima, a quantidade e qualidade do resíduo depositado no solo, a atividade microbiana, a estrutura do solo, a textura e a composição mineralógica, assim ao avaliar os teores de C existem vários fatores a se considerar no processo de modelagem (Resck et al., 2008).

Para o pecuarista aplicar manejo em sua propriedade que considere os fatores apresentados e que garanta maior rentabilidade na sua produção levando ao processo de mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> para atmosfera, é importante que essa pastagem demonstre produtividade e que os animais produzidos nestas áreas tenham um preço de arroba maior em relação àqueles produzidos sob manejos que não sejam sustentáveis estimulando tais práticas.

#### 4.3. Cenários de pastejo e Monetização de manejos produtivos

Os produtores rurais que se dedicam a atividade da pecuária tem certa resistência ao investimento no manejo da pastagem, uma vez que ao longo de décadas a pastagem serviu

objetivamente para ocupação das terras e garantia de propriedade desta, bem como a criação de bovinos a pasto (Barreira, 1997; Dias-Filho, 2014; Aurélio Neto, 2016). Assim, com base em dados coletados em empresas do setor de agropecuária, estimou-se o custo de instalação e manutenção dos sistemas de manejo propostos nesta tese, o tradicional, com baixa aplicação de recursos e sistema extensivo, e o produtivo, em que há reforma periódica da pastagem, com a correção do solo através de revolvimento e fertilização, com sistema intensivo. No sistema tradicional, o custo de instalação e de manutenção são de, respectivamente, R\$ 797,00 e R\$ 233,00 anuais por hectare, enquanto no sistema produtivo estes valores aumentam em R\$ 1.184,00 para a implantação e R\$ 561,00 para a manutenção do pasto. Os valores aplicados em cada sistema dizem respeito ao insumos, maquinários, horas de mão-de-obra que são necessários para se desenvolver cada um, para maiores detalhes consultar Oliveira e Couto, (2018).

Os investimentos realizados em um sistema produtivo são maiores do que aqueles do tradicional, neste sentido, o que garante ao produtor um bom retorno do capital investido diz respeito ao sistema ser mais sustentável do ponto de vista ambiental e também da produtividade. Do ponto de vista da produtividade, as áreas com manejo tradicional no país possuem média de uma unidade animal (1 UA) por hectare (Mazetto et al., 2015). Em manejos produtivos, Dias-Filho, (2014) verificou um aumento para 2,5 UA, o que demandou uma produção de biomassa elevada para garantir o aumento e mesmo manutenção do pesos destes animais.

Observando os cenários produtivos descritos anteriormente nota-se que o pastejo do gado durante todos os meses do ano, ou somente no período chuvoso não demanda diferença na quantidade de carbono armazenado no solo, assim, o aumento no pastejo, com manejo adequado são favoráveis a aumentar a unidade animal (UA) (Aguiar et al., 2017), assim, o pastejo durante todo o ano em pastagens bem manejadas (sem perda do vigor vegetativo da planta) geram mais rentabilidade ao produtor.

Em pastagens mais produtivas o resíduo da biomassa aérea e subterrânea depositada no solo e incorporada é diferente daquele do sistema tradicional (tabela 05), uma vez que no primeiro se tem uma maior quantidade de resíduo e este tem melhor qualidade do material. Alves et al., (2008) demonstraram que a qualidade do resíduo da biomassa em áreas de pastagem produtivas pode aumentar os estoques de C no solo, ou ao menos manter em relação as áreas nativas de Cerrado. Sendo que uma pastagem com melhor qualidade de nutrientes

garantem uma dieta melhor para os animais e reduz o tempo de abate destes, consequentemente reduzindo a emissão de CH<sub>4</sub> pela fermentação entérica (Martins et al., 2010).

Assim, com o intuito de aumentar as áreas recuperadas de pastagem e favorecer projetos de integração lavoura-pecuária-floresta o setor público tem investido em ferramentas, a exemplo do Plano ABC, no qual está sendo proposto um selo para a carne que gere baixa emissão de CO<sub>2</sub> (Observatório ABC, 2017).

O investimento dos pecuaristas em reforma ou recuperação das pastagens pode se dar por meio do Plano ABC, o qual disponibiliza recursos para essa ação, o mesmo foi formatado para atender à agricultura empresarial (produtores rurais e suas cooperativas), já a agricultura familiar é financiada por outras linhas de crédito, como o Pronaf Eco e Pronaf Floresta, sendo que os juros deste último são mais atrativos do que do Plano ABC (MAPA, 2012). Na figura 20 é possível verificar que os recursos do plano tiveram aumento entre os anos de 2014 e 2016, se concentrando em áreas dos estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Na porção sul do bioma Cerrado tem-se as maiores áreas em que foram aplicados os recursos do plano ABC para recuperação das pastagens, sendo que estas pastagens são antigas e consolidadas (Figura 20). Das áreas avaliadas neste trabalho, aquelas do estado de Goiás, no município de Nova Crixás e Mundo Novo, estão nas regiões de maior investimento de recursos do Plano ABC, nos anos de 2013 até 2017, assim, sabe-se que muitos pecuaristas desses municípios receberam recursos do plano. Quando se analisa os dados de estoque de C medidos em campo, os mesmos indicam que esta área possui os menores teores, ou seja, a aplicação dos recursos ao longo prazo vão permitir que os estoques de C nesta região seja aumentado.

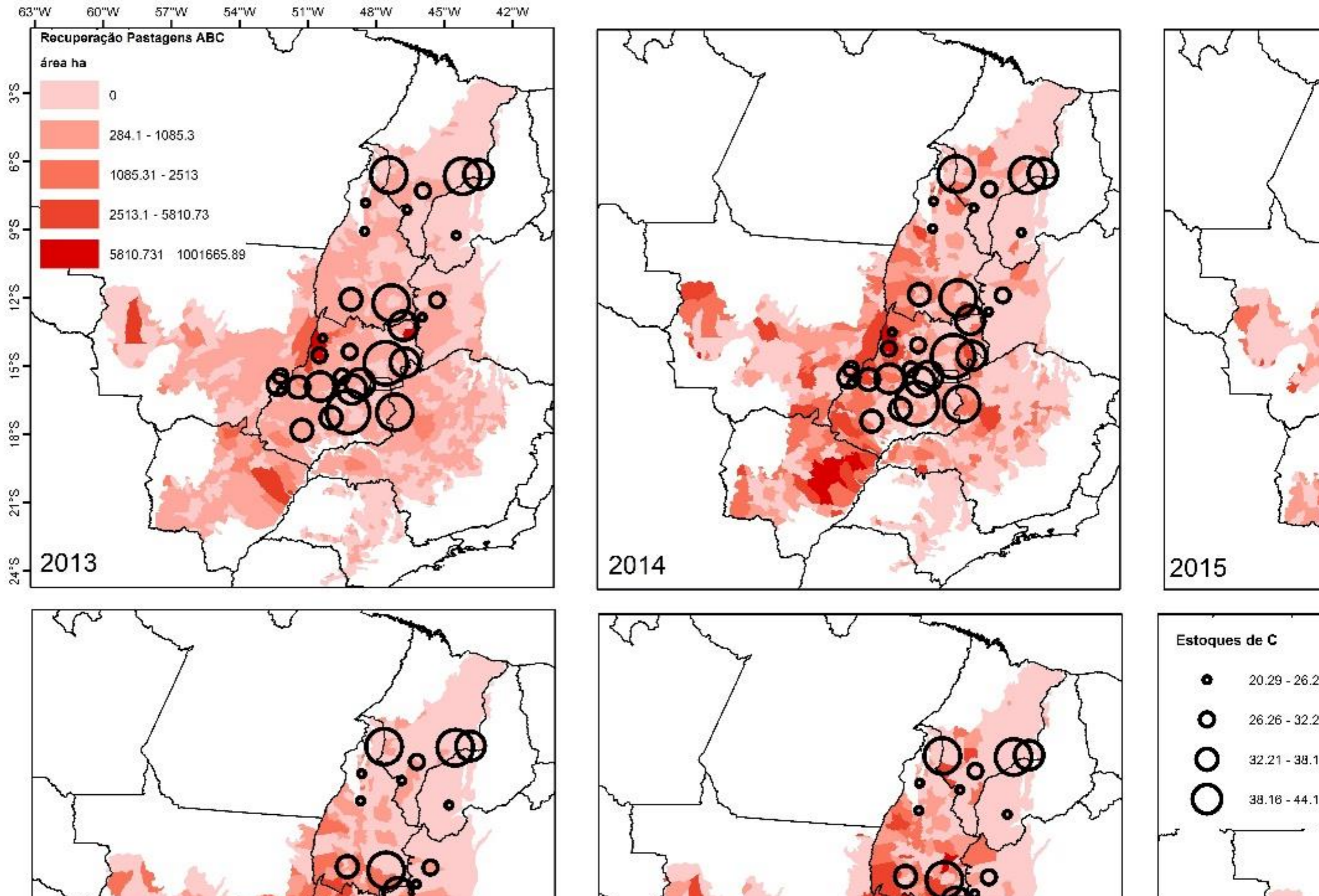
Já na região norte do bioma Cerrado (Tocantins, Maranhão, Piauí e Bahia) estão as áreas com baixa adesão ao plano ABC ou mesmo nula, nestas mesmas áreas observa-se que os estoques de C são baixos (27 Mg C ha) em relação à média, a exemplo do município de Balsas no Maranhão, o qual está localizada na nova fronteira agrícola, tem tido altas taxas de desmatamento, Tocantins com 14,76% e Maranhão com 13,09% entre os anos de 2001 a 2018 (INPE, 2019), e portanto, e em consonância com o plano ABC é uma área prioritária para investimento de recuperação de pastagem, e projetos de mitigação das emissões dos GEE pelas atividades antrópicas. Em uma avaliação da aplicação dos recursos do Plano ABC para esta região, ainda que prioritária, em termos de possuir grande parte das áreas com pastagem degradada, o investimento para promover a recuperação é maior do que em áreas do sul do

bioma, mas, são fundamentais em termos de garantir pastagens mais sustentáveis e propiciar a mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. O mesmo relatório apontou que considerando todos os usos da terra pós Plano ABC a redução das emissões de CO<sub>2</sub> seria de 50,1 milhões tCO<sub>2</sub>eq (Observatório ABC, 2017).

As áreas que apresentaram maiores estoques de C estão na porção centro-leste do estado de Goiás, em áreas com produção já consolidada, de soja, milho e outras culturas e com pastagens produtivas, em contraponto, estas apresentam baixa aplicação do Plano ABC, demonstrando que os produtores da região possuem investimento e estrutura já desenvolvidos. Dados apresentados pelo relatório do plano ABC, (2017) mostraram que nesta região do bioma os produtores possuem recursos próprios ou mesmo buscam outras formas de financiamento para desenvolverem suas atividades.

Considerando as áreas prioritárias do plano ABC para o Cerrado (7.370 milhões ha), se houvesse aplicação de investimentos de acordo com os cenários propostos nesta pesquisa, seria necessário um total de R\$ 12.855.860,00, a ser aplicado em toda a área na recuperação das pastagens para implantação e manutenção do manejo produtivo.

Figura 19: Áreas com projetos de recuperação de pastagem do Plano ABC entre os anos de 2013 – 2018.



Mendes, (2014) avaliou a aplicação do plano ABC no município de Formosa – Go (leste de Goiás), no qual foi demonstrado que mais de 50% das propriedades que optam por buscar recursos do Plano ABC são maiores que 1000 ha. Há ainda uma maioria (85%) que conta com assistência técnica para desenvolver as atividades produtivas. Também verificou que 96% daqueles que buscaram financiamento de suas atividades por meio do Plano ABC utilizaram o mesmo em função das condições do financiamento e da melhoria da produtividade que o plano demonstra.

Com vistas a ter maior aceitação do Plano ABC pelo pecuarista, a Embrapa elaborou um selo que visa proporcionar para áreas que aplicam manejos sustentáveis uma carne que tenha garantia de ser menos poluidora que nos sistemas tradicionais, a carne baixo carbono (CBC), a qual poderá ser comercializada no mercado interno e externo para uma demanda crescente que se preocupa com alimentos produzidos por meio de processos sustentáveis, em que haja fixação do carbono no solo, redução dos processos erosivos e de lixiviação, redução do assoreamento dos rios, aumento da produtividade para os produtores e fixação destes no campo (Alves et al., 2015). A expectativa para a comercialização desta carne é que seja ainda no ano de 2020 com participação do grupo Rocandor (Mato Grosso) e Mafrig Global Foods (Embrapa, 2018).

No que diz respeito aos manejos produtivos é possível inferir que estes podem mitigar a emissão de CO<sub>2</sub> em comparação ao modelo tradicional de pastejo. Assim, pastagens bem manejadas, as quais promovem sequestro de CO<sub>2</sub> da atmosfera e acúmulo deste elemento no solo, poderiam propiciar a comercialização de carbono na bolsa de valores, a exemplo dos valores que estão sendo comercializados (média do último mês – Junho, 2019), para ser vendido no mercado no valor de € 26,60, sendo que cada crédito de C equivale a uma tonelada de CO<sub>2</sub>eq, uma pastagem mitigando 44 Mg CO<sub>2</sub>eq ha pode render ao produtor aproximadamente € 1.171,00 por hectare. Considerando que no Cerrado aproximadamente 50% das áreas apresentam características de degradação, o potencial de arrecadação no mercado de carbono, considerando a recuperação da área de 24 milhões de hectares de pastagem, seria da ordem de 647 milhões de euros (2.782.000,00 em reais<sup>5</sup>). Embora, a comercialização dos estoques de C provenientes de áreas de pastagem produtivas não seja possível dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é importante notar que as áreas de pastagem já existentes no

---

<sup>5</sup> Valores convertidos para reais com a cotação do euro na média do mês de Junho de 2019.

Brasil, com manejo adequado e com uma alta produtividade, têm o potencial de estocar o C no solo (Corazza et al., 1999; Bustamante et al., 2006), e assim, garantir maior proteção a vegetação nativa, pois reduz a necessidade de abertura de novas áreas para pastagem.

#### 4.5. Características dos solos sob pastagem na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho e aplicação do modelo Century para estudo da dinâmica de C

As áreas da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho em que foram coletados os dados de pastagem possuem características edafoclimáticas típicas de região do Cerrado, com precipitação média anual de 1.200 mm, solos ácidos e com um baixo teor de argila, sendo em sua maioria áreas com pastagens antigas, em média 20 anos da primeira formação do pasto (Tabela 06), os quais possuem manejo tradicional.

Tabela 06: Características das áreas de pastagem na BHRV amostradas em 2016. PREC = Precipitação.

Área de Pastagem	Município	Idade do pasto (anos)	Carbono Mg C ha <sup>-1</sup>	Areia %	Silte %	Argila %	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	p.H	PREC mm <sup>6</sup>
Ajuricaba	Britânia	20	15,6	74,0	3,0	23,0	1,5	4,8	1256
Dois Córregos	Goiás	15	76,7	67,0	6,0	27,0	1,4	5,2	1460
Fazenda Forte	Goiás	30	22,0	65,0	6,0	29,0	1,4	5,2	1460
Fazenda Jatobá	Goiás	30	27,8	67,0	6,0	27,0	1,5	4,7	1460
Fazenda Marajó	Britânia	20	34,1	82,3	2,3	15	1,7	5,7	1256
Fazenda Nova Esperança	Santa Fé de Goiás	22	31,7	58,9	5,9	36	1,6	4,3	1460
Poço Fundo	Goiás	8	29,6	65,0	6,0	29,0	1,5	4,4	1460
Rainha do Asfalto	Itapirapuã	14	26,0	58,0	7,0	35,0	1,4	4,8	1460
Sítio PAJ	Goiás	14	30,0	74,0	3,0	23,0	1,3	5,5	1460
Sítio Vitória da União	Goiás	20	51,2	58,0	7,0	35,0	1,5	5,1	1460

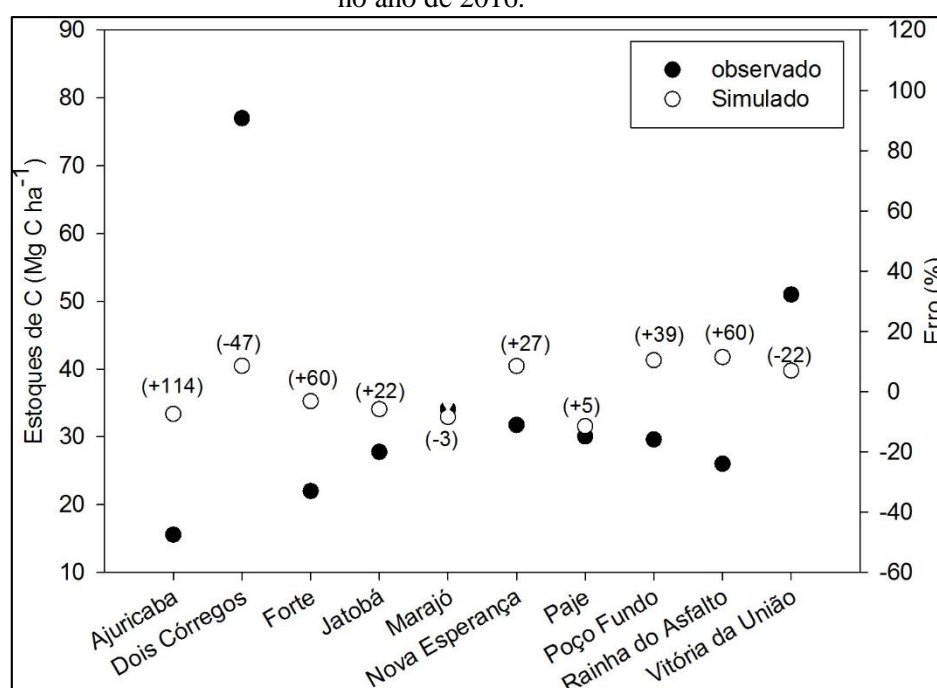
Fonte: do autor, (2018).

Ao utilizar o modelo Century para simular os estoques de C do solo dos sítios da BHRV, após ajustes dos parâmetros ambientais em acordo com as características ambientais *in situ* (textura, densidade e pH do solo, além de precipitação e temperatura mensais – máximas e mínimas), foi possível observar que os erros entre os valores simulados pelo modelo e os observados em campo foram, em sua maioria, maiores do que 20%. O modelo apresentou pior

<sup>6</sup> Os dados de precipitação da bacia foram obtidos de duas estações (Goiás e Aragarças), em função da proximidade dos pontos e da disponibilidade de dados.

acurácia ao simular os estoques de C do solo nas fazendas Ajuricaba (114%), enquanto o erro obtido para a fazenda Marajó (-3%). Na primeira fazenda o histórico de manejo informado pelos proprietários indica que ela possui pastos muito antigos e que estes tiveram baixo manejo. Com base nos mapas de geologia e solos da região estas propriedades estão em áreas de quartzitos com altas proporções da fração de areia. A fazenda Marajó apresentou o menor erro, mesmo esta possuindo mais de 80% da fração areia em sua textura, o manejo aplicado na área garante que esta tenha estoques de C dentro do esperado pelo modelo.

Figura 20: Erros médios entre os dados de campo e os simulados pelo modelo para a BHRV no ano de 2016.

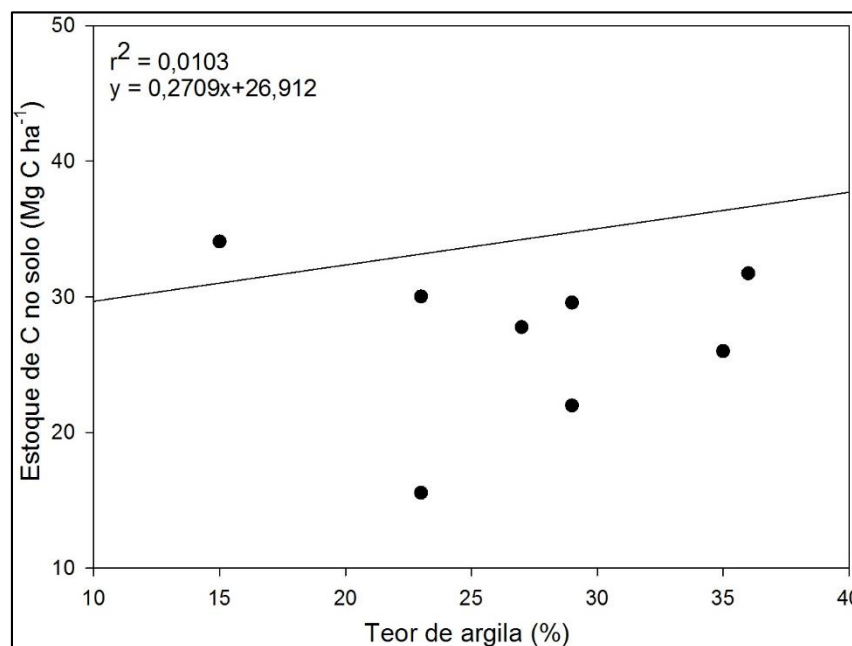


Fonte: do autor, (2019)

Na avaliação da performance do modelo para a bacia os resultados entre os estoques de C simulados e aqueles medidos em campo indicaram um valor de  $r^2$  de 0,16 demonstrando uma baixa relação entre os valores observados e simulados. O valor do COE (0,11) indica que o modelo possui um desempenho inaceitável para esta área (Figura 21). A média das diferenças indica que o modelo possui um viés significativo, ou seja com altos erros (Figura 20). A média dos estoques de C simulados foi de 37 Mg C ha<sup>-1</sup>, enquanto os dados obtidos em campo foram de 34 Mg C ha<sup>-1</sup>, com uma diferença de 3 Mg C ha<sup>-1</sup>.



Figura 22. Relação entre os teores de argila (%) e os estoques de carbono do solo sob pastagem na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, Goiás.



Fonte: do autor, (2019).

Houve então a necessidade de investigar quais seriam os fatores que contribuem para a variação dos estoques de C nos solos nesta região, pois o estabelecimento de relações entre fatores ambientais que determinam os estoques de C no solo podem auxiliar na proposição de manejos ambientalmente sustentáveis.

#### 4.6. Fatores responsáveis pela variação de C do solo sob pastagem na BHRV

A Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho possui uma composição de paisagem bem característica de ambientes de Cerrado, em sua área de quase 11 mil km<sup>2</sup>, predominam os solos com textura arenosa, como os cambissolos e os neossolos quartzarênicos, estes últimos formados principalmente por sua relação de posição no relevo diretamente relacionado com a depressão do rio Araguaia, do qual o rio é um dos principais afluentes na margem direita (Vieira, et al., 2015).

Uma análise dos condicionantes que influenciam os estoques de C no solo foi realizada de modo a entender quais características das pastagens influenciam na variação dos estoques de C do solo na região. Para tanto, foram definidas as variáveis que possam indicar tal variação, CTC, argila, silte, declividade e outras, as quais foram as preditoras do modelo, conjuntamente

ao índice de degradação (degradação do solo e do pasto) definido para a região por Oliveira, 2017 em sua tese.

De acordo com a avaliação das variáveis preditoras e resposta foi observado que as mesmas não possuem correlação linear e quadrática significativa (tabela 07). Então, devido à não correlação entre o índice de degradação e o teor de carbono, as variáveis foram analisadas separadamente para as dez propriedades da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, com vistas a verificar se áreas com melhores índices apresentaram melhores estoques de C.

Tabela 07: Correlação de Pearson e Kendall entre o índice de degradação e o teor de carbono nas camadas de solo, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm.

Camada	indDeg:Solo	indDeg:Pasto
Método de Pearson		
TC1	-0.236	-0.358
TC2	-0.162	-0.035
TC3	-0.377	-0.018
Método de Kendall		
TC1	-0.381	-0.025
TC2	-0.521	0.208
TC3	-0.411	0.103

Valores apresentados em negrito indicam que a correlação é significativa ao nível de significância de  $p < 0.05$ . TC1 é o teor de carbono na camada de zero a dez, TC2 é o teor de carbono na camada de dez a vinte, e TC3 é o teor de carbono na camada de vinte a trinta.

#### 4.7. Condicionantes de controle dos estoques de carbono no solo

Para o primeiro modelo (sem o índice de degradação), as variáveis preditoras foram determinadas considerando o comportamento do teor de C na camada de 0-20 cm do solo. Das variáveis obtidas em campo, não foi considerada a M.O pois ela é integradora dos valores obtidos de C. Assim, as variáveis preditoras foram: a densidade; a granulometria (silte, areia e argila); a capacidade de trocas catiônicas (CTC); o p.H do solo em água; o nitrogênio; a altitude; a declividade; o potássio (K); e o fósforo (P). A variável resposta, neste primeiro modelo, foi o teor de carbono, a escolha das variáveis baseou-se em Lal, (2004); Oliveira et al., (2015).

O valor de Q2 indica o quanto uma componente está se ajustando para o modelo, desta forma, é possível observar na tabela 08 que a componente 3 possui os valores inferiores a

0.0975, entende-se que esta responderia melhor ao ajuste do modelo. Então, o número de componentes principais utilizadas foram três ( $Q2 < 0.0975$ ).

O ajuste do modelo  $r^2$  e a preditividade  $Q2_{cum}$  para o teor de carbono foi 0,78, 0,50 respectivamente, demonstrando assim que o modelo desenvolvido pode ser utilizado para um outro conjunto de dados independentes, Grinand et al., (2017), obteve o valor de  $r^2$  igual a 0,72 para o modelo aplicado em regiões de Madagascar. A explicação de variabilidade com uma componente foi 0,29 e 0,57, para variáveis preditoras e resposta (Tabela 08). Com três componentes, a explicação de variabilidade foi ajustada para 0,59 e 0,79 para variáveis preditoras e resposta, nesta ordem. Assim, o modelo pode ser considerado como bem ajustado.

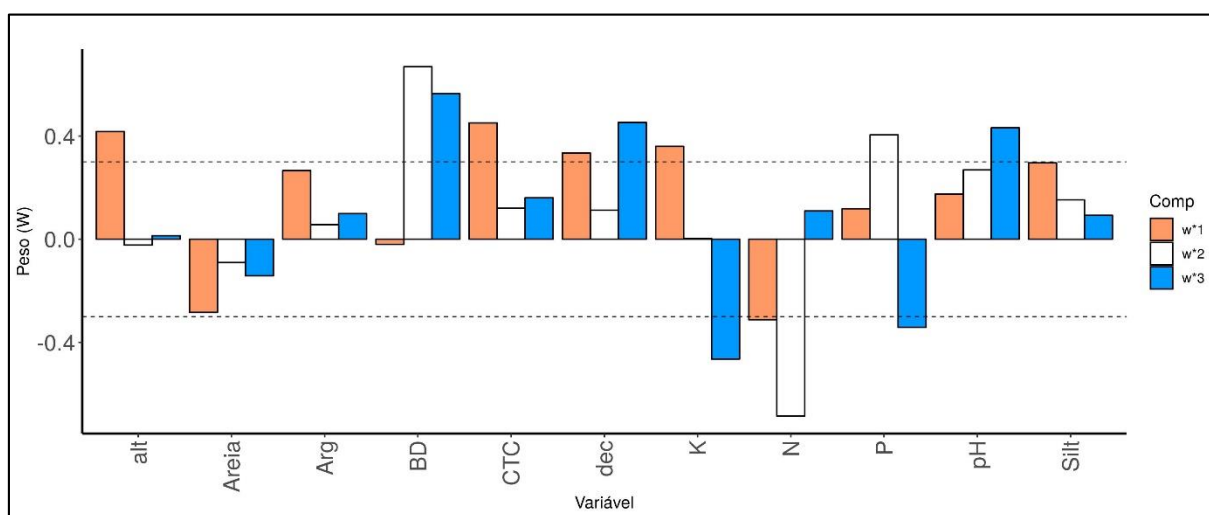
Tabela 08: Resultado da modelagem das variáveis resposta.

Comp	Q2cum	Explicação de variabilidade em X acumulada	Explicação de variabilidade em Y acumulada	Q2.Teor.de.C	Q2 limite
1	0.38	0.29	0.57	0.38	0.0975
2	0.56	0.47	0.73	0.29	0.0975
<b>3</b>	<b>0.50</b>	<b>0.59</b>	<b>0.79</b>	<b>-0.14</b>	<b>0.0975</b>
4	0.46	0.90	0.81	-0.09	0.0975
5	0.58	0.92	0.92	0.23	0.0975
6	0.94	0.94	1.00	0.85	0.0975
7	0.99	0.98	1.00	0.83	0.0975
8	1.00	1.00	1.00	1.00	0.0975
9	1.00	1.00	1.00	0.83	0.0975

Nos valores **W** (pesos), as variáveis que têm maior peso na explicação da primeira componente do modelo é a CTC, a altitude, o potássio e a declividade, medindo 0,45, 0,42, 0,36 e 0,33 nessa ordem. Na segunda componente do modelo as variáveis que tiveram maior peso foi o nitrogênio, densidade e fósforo, com os valores -0,69, 0,67, 0,40, respectivamente. Para terceira componente, o número de variáveis que apresentaram maior peso foram a densidade, a declividade e o potássio (Figura 23). A variável densidade do solo na segunda camada também possui peso na segunda componente do modelo, o maior valor de densidade do solo na segunda camada pode estar diretamente relacionado com o pisoteio dos animais, e no processo de

revolvimento do solo em algumas propriedades, com maquinários (arado e grade) que só revolve a camada superficial, fazendo com que a M.O migre nesse solo compactado para camadas inferiores. Ainda, o nitrogênio tem alta influência na segunda componente do modelo, mas sendo inversamente proporcional, o que indica que quanto maiores os valores de N menor serão os teores de C nesta componente do modelo. Na terceira componente a variável com maior peso é a densidade, seguida dos valores de potássio e da declividade (0,56, -0,46 e 0,45).

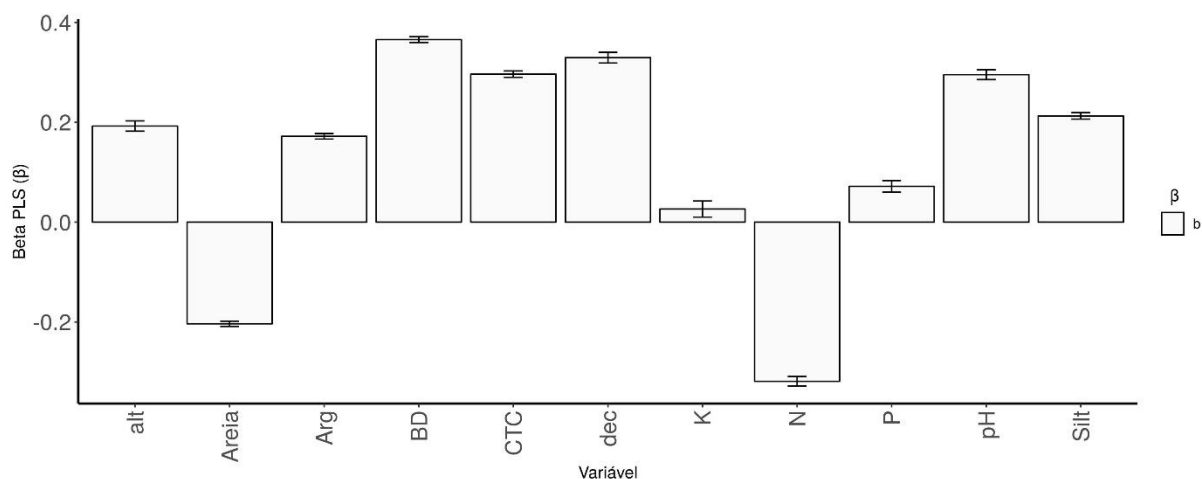
Figura 23: Peso das variáveis predictoras para o modelo de regressão PLS considerando as variáveis predictoras do modelo teor de C. Em que: Alt = Altitude, Arg= Argila, BD= Densidade, CTC= Capacidade de Troca Catiônica, Dec= Declividade e Silt= Silte.



+ e - indicam a direção de influência.

O modelo analisado demonstrou que dentre as variáveis escolhidas para identificar a que possui maior influência nas variações dos teores de C no solo, observa-se que a densidade é fundamental, em que a mesma altera em 36% os teores de C, quando a mesma sofre variação, outra variável fundamental neste modelo é a declividade que altera em 32% os teores de C. Resultados apresentados por Fontana et al., (2014) em uma toplotossequência, demonstraram que as áreas de menor declividade concentram maiores teores de C do que aquelas com maior declividade, uma vez que o processo de erosão faz com que o material da camada superficial seja removido e depositado em porções inferiores do relevo. Já observando a variável N, nota-se que a sua relação com o teor de C é inversamente proporcional ao passo em que se aumentam os teores de N os teores de C são reduzidos.

Figura 24: Coeficiente\* de regressão para BHRV, para as variáveis do modelo.



\* são os coeficientes padronizados para variância unitária. As barras de erro no Beta corresponde ao intervalo de confiança de 95%. As barras foram produzidas utilizando o método Jack Knife. Durante a aplicação desse método foram mantidas três componentes.

Embora os valores de pH e CTC não estejam dentro do coeficiente aceitável para serem incluídos como variáveis que corroboram fortemente para os teores de C, as mesmas têm quase 30% de influência, com valores de 0,29, sendo assim as mesmas podem ser utilizadas como variáveis de forte tendência a explicar as alterações nos teores de C nas áreas da bacia.

No segundo modelo as variáveis predictoras foram estoque de carbono, declividade e altitude. As variáveis respostas foram os índices de degradação de solo e biológica (Oliveira et al., 2018). Neste modelo foram utilizadas três componentes ( $Q2 < 0.0975$ ). A explicação de variabilidade para uma componente é de 0,54 e 0,28 para variáveis X e Y. Com as três componentes, a explicação de variabilidade é atualizada para 1,00 e 0,5 para variáveis predictoras e resposta, nesta ordem (Tabela 09). O ajuste do modelo  $r^2$  para o índice do solo e biológico foi de 0,81 e 0,19, nessa ordem, e a generalização do modelo foi de 0,15.

Tabela 09: Modelagem das variáveis de degradação de solo e biológica e estoque de carbono.

Estatística	Comp 1	Comp 2	Comp 3
: indDeg Biológica	-0.1	-0.02	<b>0.01</b>
: indDeg Solo	0.18	0.53	<b>0.43</b>
Estatística	Comp 1	Comp 2	Comp 3
	0.04	0.22	<b>0.15</b>
Explicação de variabilidade em X acumulada	0.54	0.77	<b>1.00</b>

Explicação de variabilidade em Y acumulada	0.28	0.46	<b>0.50</b>
Q2 indDeg: Solo	-0.10	0.08	<b>0.03</b>
Q2 indDeg: Biológica	0.18	0.42	<b>-0.19</b>
Q2	0.04	0.19	<b>-0.02</b>

Os resultados apresentados na tabela 09 demonstram que as variáveis de estoque de carbono, declividade e altitude não são correlacionadas com o índice de degradação de biológico. Porém, as variáveis preditoras são correlacionadas com o índice de degradação de solo. Então, pode ser entendido que o estoque de carbono, declividade e altitude estão relacionados com o tipo de manejo e com as características intrínsecas da paisagem. Como o índice de degradação biológico considera fundamentalmente a condição da gramínea, as variáveis indicadas não se relacionam diretamente, embora sabe-se que áreas com pastagens mais produtivas podem aumentar o carbono no solo, pois estas depositam mais matéria orgânica no solo, do que pastagens com baixa produtividade.

Por esse motivo, o índice de degradação biológico foi retirado do bloco de variáveis preditoras. Apresentando os resultados sem considerar tal índice, tabela 10, foram utilizadas três componentes, tendo em vista que o número máximo de componente é maior valor entre o número de fazendas e variáveis, que são três. A explicação de variabilidade com uma componente é de 0,54 e 0,51 para as variáveis X e Y. Com três componentes, a explicação de variabilidade é ajustada para 0,95 e 0,81 para as variáveis preditoras e resposta, nesta ordem. O ajuste do modelo  $r^2$  foi de 0,809 e a capacidade de predição Q2 foi de 0,70.

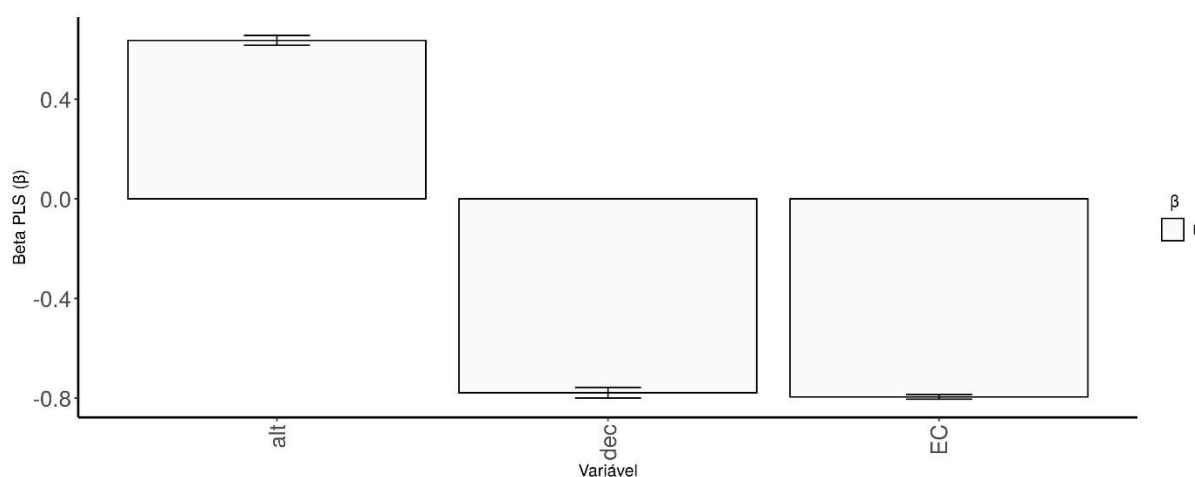
Tabela 10: Resultado da modelagem das variáveis com o índice de degradação.

Comp	Q2cum	Explicação de variabilidade em X acumulada	Explicação de variabilidade em Y acumulada	Q2.T.de.C	Q2 lim
1	0.40	0.54	0.51	0.40	0.0975
2	0.64	0.78	0.76	0.40	0.0975
<b>3</b>	<b>0.70</b>	<b>0.95</b>	<b>0.81</b>	<b>0.16</b>	<b>0.0975</b>

As variáveis com maior peso (Figura 26) para o modelo na primeira componente foram o EC e a Declividade, ambas influenciando negativamente no índice de degradação do solo. Na

segunda componente, o estoque de carbono permaneceu influenciando negativamente e a altitude influenciou positivamente. Na terceira componente, a declividade influenciou negativamente e a altitude influenciou positivamente. Demonstra-se assim que, a declividade e a altitude, fatores edáficos inerentes aos ambientes, são fundamentais para determinar uma pastagem com solos menos degradados (Fontana et al., 2014). Os estoques de C nas áreas de pastagem observadas demonstram que estes têm um poder significativo na determinação dos solos de melhor qualidade (ricos em matéria orgânica e mais estruturados) (Oliveira et al., 2015), e esse pode ser melhorado com manejos adequados e mais produtivos.

Figura 25: Peso das variáveis predictoras para o modelo de regressão PLS.

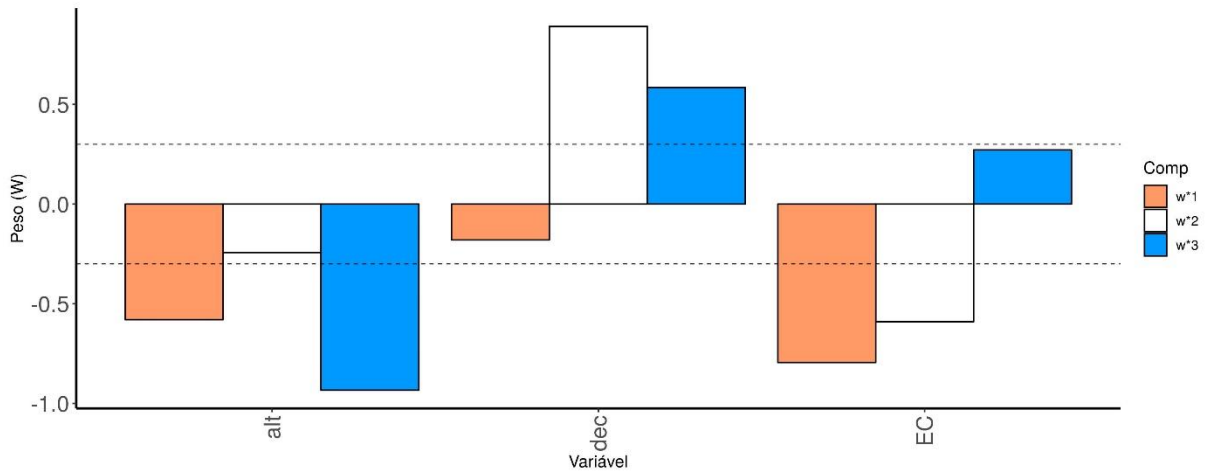


+ e - indica a direção de influência.

A alteração do estoque de carbono na declividade e altitude está na figura 25. O estoque de carbono e a declividade reduzem o índice de degradação do solo, enquanto a altitude aumenta o índice de degradação do solo. Essa relação se dá como aferida por Olszewski et al., 2007, a medida em que se aumenta a altitude se observa um aumento nos estoques de C, estes autores identificaram 106 ton C ha nas áreas mais elevadas, apresentando um grande remanescente florestal com baixa presença humana, e de 55 ton C ha em terrenos mais baixos com clima mais seco e sazonal e alto grau de degradação, decorrentes da prática agropecuária tradicional. Os estoques de C maiores indicam solos mais desenvolvidos para o crescimento das plantas, enquanto que as declividades menores indicam áreas com menor perda de material removido pela erosão, o que ocasiona deposição de serapilheira e incorporação dessa ao solo, melhorando as condições do solo, no que diz respeito a agregação e trocas catiônicas (Oliveira et al., 2015).

Embora tal fato não ocorra na BHRV é importante observar que o processo de menor estoque em baixas altitudes demonstra a possível influência do clima e do manejo nestes resultados.

Figura 26: Lista de coeficiente\* de regressão para BHRV, considerando a relação com o índice de degradação do solo.



Nota: \* os coeficientes estão escalados para variância unitária, Coeficientes com o valor mais elevados têm maior poder de alteração.

Assim, identificou-se que as variáveis fundamentais na dinâmica dos teores de C com base nos dados de campo da BHRV e do modelo foram a declividade, a densidade, a altitude, e a CTC, outras variáveis também devem ser consideradas, uma vez que a matéria orgânica do solo é influenciada por variáveis ambientais, como o clima, o relevo, o material de origem, os organismos e o tempo, todos estes fatores vão influenciar a formação da M.O e por conseguinte o teor de C no solo, também não pode ser excluído o manejo (índice biológico e do solo) adotado para entender o comportamento da dinâmica de C.

## **Considerações Finais**

As pastagens no bioma Cerrado são o principal uso da terra e recobrem uma área de 24% do território, das quais aproximadamente 50% apresenta algum grau de degradação, portanto são potencialmente favorável ao sequestro de C da atmosfera.

Embora, os modelos ecológicos não substituam os dados obtidos em campo, empregar tal ferramenta para compreender a dinâmica espaço temporal de carbono pode propiciar aos tomadores de decisão uma certeza maior na ação a ser tomada. Neste sentido, o modelo Century se mostrou satisfatório para estimar os estoques de C nas pastagens do bioma Cerrado, com uma relação de 0,76 entre os dados de referência e os valores simulados.

A modelagem da dinâmica do carbono no sistema solo-planta-atmosfera pelo Century, se mostra como uma ferramenta essencial principalmente quando se considera a dinâmica deste na pastagem, uma vez que esta possui um alto potencial para o desenvolvimento de ações que visem mitigar as emissões de CO<sub>2</sub>, bem como prestar diversos serviços ambientais. Contudo, deve-se observar que a conversão de áreas nativas para pastagens deve ser vista com cautela, uma vez que para além do aumento nos estoques de C, a vegetação nativa garante a manutenção da biodiversidade (Bustamante et al., 2006). Os resultados apresentados aqui indicam maior investimento na recuperação das áreas de pastagens degradadas e não a substituição de uma vegetação nativa por uma antrópica.

Com os diversos métodos e técnicas que estão propostos, em diversos estudos, para determinar o quanto uma área de pastagem pode estocar carbono é fundamental que estes indiquem o melhor manejo considerando condições naturais, sociais, culturais e econômicas para que seja efetiva a ação.

Nos cenários obtidos neste trabalho é possível inferir que com manejos realizados com baixa aplicação de recursos podem aumentar a produtividade das pastagens e ainda uma elevação nos estoques de C no solo provenientes do manejo produtivo. Assim, é importante salientar que produtores rurais, ainda que não busquem manejar os pastos para serem sustentáveis, todos querem ter mais produtividade em uma área menor e com baixo custo; em consequência tem-se a redução no desmatamento para abertura de novas áreas para pecuária.

Ainda que diversos estudos comprovem o potencial de estoque de carbono em áreas de pastagem, é importante observar que existe uma variação destas medidas em relação aos fatores

não controláveis, condições ambientais (classe de solo, clima, relevo, e outros), que são inerentes ao meio em que a pecuária é desenvolvida. Portanto, vale sempre fazer ressalvas quanto à substituição de áreas nativas por atividades antrópicas, mesmo aquelas de baixa emissão, pois o comportamento de um sistema em um ambiente é diferente de outro.

As políticas governamentais voltadas para a recuperação das áreas de pastagens, as quais possam servir para o sequestro CO<sub>2</sub> e estoque de C ainda são incipientes, mas indicam um bom caminho para ações que incentivem os produtores, grandes e pequenos, no investimento da recuperação das áreas degradadas e a venda do ativo gerado nos mercados de comercialização desses. O Plano ABC, mesmo sendo uma iniciativa que visa melhorar a produtividade e garantir a sustentabilidade do sistema produtivo, é um plano voluntário, portanto, os produtores que desejem obter recursos por meio deste plano o fazem com expectativa de que seu produto seja mais valorizado no mercado, e ainda que demonstre a preocupação deste com a conservação do meio ambiente.

Para tanto, o desenvolvimento de um selo da carne baixo carbono (CBC), com manejo sustentável do ponto de vista ambiental, social e econômico, é fundamental para incentivar os produtores a investirem nestas práticas, em que a valorização de seu produto no mercado interno e externo irá garantir o retorno do capital investido, haja vista haver uma demanda crescente de consumidores preocupados com questões sociais e ambientais que foram empregadas na produção de determinados itens. É fundamental que na atual conjuntura política se observe a diplomacia ambiental, a qual pode trazer recursos/investimentos que possibilitem uma melhora nas condições sociais, econômicas e ambientais do país.

Para além das questões ambientais, relativas à melhor qualidade das pastagens, sabe-se que áreas mais produtivas elevam o preço da terra, e portanto, podem trazer “bem estar” àqueles proprietários que possuem suas áreas com baixo preço da terra e mesmo marginalizadas em relação a políticas de desenvolvimento. Uma qualidade de vida melhor ao trabalho do campo garante a permanência no campo e mesmo a continuidade familiar do trabalho.

As áreas degradadas de pastagem em geral estão em propriedades de pecuaristas com poucos recursos para realizar a recuperação destas, o que torna o sistema menos produtivo, provocando menor rentabilidade para o produtor e conseqüentemente elevando a precariedade do trabalho e das atividades produtivas no campo.

## Referências Bibliográficas

ABDI, Hervé. Partial least squares regression and projection on latent structure regression (PLS Regression). **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 2, n. 1, p. 97–106, 2010.

ABIEC, Associação Brasileira das indústrias Exportadoras de Carnes Bovinas, **Beef report, perfil da pecuária no Brasil**, relatório, 2019. Acesso em: 18 de junho de 2019, Disponível em: <http://www.abiec.com.br/Sumario2019.aspx>;

AGUIAR, D. A.; MELLO, M. P.; NOGUEIRA, S. F.; GONÇALVES, F. G.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Modis Time Series to Detect Anthropogenic Interventions and Degradation Processes in Tropical Pasture, **Remote Sensing**, vol. 9, n° 73, 2017;

AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; SILVA, W. F.; ADAMI, M.; MELLO, M. P. Remote sensing images in support of environmental protocol: monitoring the sugarcane harvest in São Paulo State, Brazil. **Remote Sensing**, v. 3, n. 12, p. 2682–2703, 13 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/3/12/2682/>>. Acesso em: 13 dez. 2011;

ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. L.; P.; BODDEY, R.; Dinâmica do Carbono em solos sob pastagens, In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. O. (Ed.), **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre, 2.ed., p. 561-569, 2008;

ALVES, F.; V.; ALMEIDA, R.; G.; LAURA, V.; A. **Carne Carbono Neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos**, Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2015, 29p.;

ARAÚJO, F. M.; FARIA, A. FERREIRA, L. G.; NOGUEIRA, S. Distribuição e avaliação da acuidade espacial dos mapeamentos da área de pastagem para o Brasil, In: **Anais XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Santos-SP, Brasil, 2017;

ASSAD, E. D., PINTO, H. S., MARTINS, S. C., GROppo, J. D., SALGADO, P. R., EVANGELISTA, B., VASCONCELLOS, E., SANO, E. E., PAVÃO, E., LUNA, R., CAMARGO, P. B., MARTINELLI, L., A., Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey, **Biogeosciences**, vol. 10, 2013, 6141–6160 p.;

AURÉLIO NETO, O. P.; **Pecuária goiana: espaço e técnica na modernização do agronegócio**. 1. ed. Goiânia: Editora UFG, 2016. 194 p.;

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 332 p.;

AZEVEDO, T.; COSTA JUNIOR, C.; BRANDÃO JUNIOR, A.; CREMER, M. S.; PIATTO, M.; et al. SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. **Scientific Data**, vol. 5, pg. 1 – 43, 2018;

BAÊTA JR., J. D.; SOUZA J. O.; MORETON L. C. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Folha SD.22-Z-C-II – Morro Agudo de Goiás; Folha SD.22-Z-C-

V, Goiás; Folha SE.22-X-A-II - Sanclerlândia. Escala 1:100.000. CPRM, Goiânia, Relatório Interno. 1998;

BALATSKY, V. A.; BALATSKY, I. G.; BORYSOV, S. S. Resource Demand Growth and Sustainability Due to Increased World Consumption. **Sustainability**, vol. 7, n. 3, p. 2071-1050, 2015.

BARREIRA, C., C., M., A., **Região da Estrada do Boi: Usos e Abusos da Natureza**. 1. ed. Goiânia: UFG, 1997. v. 1. 154p;

BATJES, N. H.; Organic carbon stocks in the soils of Brazil. *Soil Use Manage.* 21, p. 22–24, 2005.

BAYER, M. **Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do Rio Araguaia**. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais, Goiânia, 2010,

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2nd. ed. Madison: Wisconsin, American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, p. 363-375, 1986.

BLOIS, J. L. et al. Climate change and the past, present, and future of biotic interactions. **Science**, vol. 341, p. 499–504, 2013.

BODDEY, R., M., ALVES, B., J., R., URQUIAGA, S., JANTALIA, C., P., MARTIN NETO, L., MADARI, B., E., MILORI, D., M., B., P., MACHADO, P., L., O., Estoques de carbono nos solos do Brasil, In LIMA, M., BODDEY, R., M., ALVES, B., J., R., MACHADO, P., L., O., URQUIAGA, S., (Orgs), **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**, Brasília, DF: Embrapa, 2012;

BORTOLON, E. S. O.; MIELNICZUK, 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**, vol. 167-168, p. 156–166, 2011.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Matéria Orgânica do Solo, In: Elementos da Natureza e propriedades dos solos**, BRADY, N.C.; WEIL, R.R.; (Orgs), 3° ed.; Porto Alegre, Bookman, p. 398-436, 2013.

BRASIL. Decreto nº 2.652, de 1º de julho 1998. Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992. Diário Oficial [da] República do Brasil, Brasília, DF, 8 dez. 1998. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D2652.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2652.htm)>. Acesso em: 01 agosto 2019.

BRASIL. Decreto nº 7390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6o, 11 e 12 da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República,[2010]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm). Acesso em 20 julho. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2009]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm). Acesso em: 20 julho 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: TerraClass Cerrado 2013. MMA, SBF. Brasília: MMA, 2015. 67 p.

BRASIL. Portal Brasil – Infraestrutura. 2016. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/05/matriz-energetica-de-2016-tera-maior-participacao-das-energias-renovaveis>. Acessado em: 14. Mar. 2017.

BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; GUIMARÃES, A. P.; SANTOS, C. A.; SANTOS, S. C.; PINHEIRO, E. F. M.; BODDEY, R. M. Soil Carbon Stocks under Productive and Degraded Pastures in the Brazilian Cerrado. **Soil and Water Management and Conservation**, v. 77, nº3, p. 914-928, 2013.

BUSTAMANTE, M. M .C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R.; Soil carbon and sequestration potential in the Cerrado Region of Brazil. In: Lal, R.; Cerri, C. C.; Bernoux, M.; Etchevers, J.; Cerri, C. E. P. (Eds.), **Carbon Sequestration in soils of Latin America**, p. 285–304, 2006.

CAMPOS, A. B.; LUIZ, G. C.; MACEDO, R. A. R.; PEIXOTO, V. M. R. Análise do comportamento espacial e temporal das temperaturas e pluviosidades no Estado de Goiás. In: **Abordagens Geográficas de Goiás: O Natural e o Social na Contemporaneidade**. ALMEIDA, M. G. (Org). Goiânia: IESA, 2002. 260 p.

CARDOSO, M. F.; COSTA, M. H.; JOLY, C. A.; LEITE, C. C.; MOUTINHO, P.; SAMPAIO, G.; Strassburg, B. B. N.; Ima C. G.; Vieira, I, C. G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, Vol. 4, p. 27–35, 2014.

CARKNER, M. K.; ENTZ, M. H. Growing environment contributes more to soybean yield than cultivar under organic management. **Field Crops Research**, vol. 207, p. 42–51, 2017;

CARVALHO, P. C. F.; GENRO, T. C. M.; GONÇALVES, E. N.; BAUMONT, R. A Estrutura do pasto como conceito de manejo: reflexos sobre o consumo e a produtividade. In: Reis, R. A. et al. (Orgs.). **Volumosos na Produção de Ruminantes**, Jaboticabal, Funep, p. 107-124, 2005;

CARVALHO, P. C. F.; TRINDADE, J. K.; MEZZALIRA, J. C.; POLI, C. H. E. C.; NABINGER, C.; GENRO, T. C. M.; GONDA, H. L. Do bocado ao pastoreio de precisão: compreendendo a interface planta animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, 2009, 109-122p.;

CERRI, C. E. P., PAUSTIAN, K., BERNOUX, M., VICTORIA, R., MELILLOS, J., CERRI, C., C., Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the Century model, **Global Change Biology**, vol. 10, 2004, 815–832 p.;

CERRI, C.; E.; P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLOON, P.; POWLSON, D.; S.; BATJES, N.; H.; MILNE, E.; CERRI, C.; C.; Predicted

soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030, **Agriculture, Ecosystems and Environment**, vol.; 122, p. 58–72, 2007a.

CERRI, C.; E.; P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLON, P.; POWLSON, D.; S.; BATJES, N.; MILNE, E.; CERRI, C.; C.; Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from the Brazilian Amazon with RothC and Century models, **Agriculture, Ecosystems and Environment**, vol. 122, p. 46-57, 2007b.

CHAULYA, S. K.; PRASAD, G. M. Application of Cloud Computing Technology in Mining Industry. Chaulya, S. K.; Prasad, G.M. (Org.), **Sensing and Monitoring Technologies for Mines and Hazardous Areas**, Elsevier, p 351-396, 2016.

COHN, A. S.; et al.; Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, vol. 111, n°. 20, p. 7236–7241, 2014.

COLEMAN, K.; JENKINSON, D. S. RothC-26.3. A model for the turnover of carbon in soil. In: POWLSON, D. S.; SMITH, P.; SMITH, J. U. (Eds.). **Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing, Long-Term Datasets**. NATO ASI series no.1, Vol 38. Springer, Berlin Heidelberg New York, p. 237–246, 1996.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

CORBEELS, M., MARCHÃO, R., L., SIQUEIRA NETO, M., FERREIRA, E., F. G., MADARI, B., M., SCOPEL, E., BRITO, O., R., Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil, **Scientific Reports**, vol., 06, 2016, 21450 p.;

CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; CARDOSO, A.; BERNOUX, M.; DOUZET, J. M.; SIQUEIRA NETO, M. S. Soil carbon storage potential of direct seeding mulch-based cropping systems in the Cerrados of Brazil. **Global Change Biology**, v. 12, 2006, 1773-1787 p.;

COSTA JUNIOR, PICCOLO, M., C., SIQUEIRA NETO, M., CAMARGO, P., B., CERRI, C., C., BERNOUX, M., Carbono total e  $\delta^{13}\text{C}$  em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem no bioma Cerrado, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 35, n° 04, 2011, 1241-1252 p.;

COUTINHO, A., C., Drivers of agricultural frontier expansion in Mato Grosso, **Revista de Política Agrícola**, vol.18, n°.1, 2009, 80-97 p.;

DAI, A. G. Increasing drought under global warming in observations and models. **Nature Climate Change**, vol. 3, p. 52-58, 2013.

DELPLA, I.; JUNG, A. V.; BAURES, E.; CLEMENT, M.; THOMAS, O. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. **Environment International**, Vol. 35, n. 8, p. 1225-1233, 2009.

DESJARDINS, T.; BARROS, E.; SARRAZIN, M.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A.; Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 103, p. 365–373, 2004.

DIAS-FILHO M. B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens degradadas. Embrapa Amazônia Oriental. **Documentos 258**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 31p;  
DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4ª Ed. Ed. Do Autor – Belém, PA, 2011;

DIAS-FILHO, M. B. Formação e Manejo de Pastagens. **Comunicado Técnico**, EMBRAPA, 2012;

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. **Documentos**, Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36p.

DINIZ, B. P. C. O grande cerrado do Brasil Central: geopolítica e economia. **Tese** (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia/USP. São Paulo, 2006.

DIXON, A. P. et al. Distribution mapping of world grassland types. **Journal of Biogeography**, vol. 41, p. 2003–2019, 2014.

EASTER, M, PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; WILLIAMS, S.; FENG, T.; AL-ADAMAT, R.; BATJES, N.H.; BERNOUX, M.; BHATTACHARYYA, T.; CERRI, C. C.; CERRI, C.E.P.; COLEMAN, K.; FALLON, P.; FELLER, C.; GICHERU, P.; KAMONI, P.; MILNE, E.; PAL, D. K.; POWLSON, D. S.; RAWAJFIH, Z.; SESSAY, M.; WOKABI, S.; The GEFSOC soil carbon modelling system: a tool for conducting regional-scale soil carbon inventories and assessing the impacts of land use change on soil carbon. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, vol. 122, p. 13–25, 2007.

ELLIS, E.; C.; Goldewijk, K.; K.; SIEBERT, S.; LIGHTMAN, D.; Ramankutty, N.; Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. **Global Ecology and Biogeography**, vol. 19, p. 589–606, 2010.

ELLIS, E.; C.; KAPLAN, J.; O.; FULLER, D.; Q.; VAVRUS, S.; Goldewijk, K.; K.; VERBURG, P.; H.; Used planet: A global history. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, vol. 110, n. 20, p. 7978–7985, 2013.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, **Manual de métodos de análise de solo**, 2º. ed. rev. atual.; Rio de Janeiro, 1997. 212p.;

EMBRAPA, **Acordo viabiliza primeira área de estudo oficial da Carne Baixo Carbono**, Disponível em: [www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/38870256/acordo-viabiliza-primeira-area-de-estudo-oficial-da-carne-baixo-carbono](http://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/38870256/acordo-viabiliza-primeira-area-de-estudo-oficial-da-carne-baixo-carbono), acesso em: 15 de julho 2019;

ENGELHARDT, M.; M.; MONTEIRO, E. C.; BURAK., D.; L.; PASSOS, R.; R.; Carbono orgânico total em pastagens com diferentes níveis de degradação : relação com cobertura do solo , relevo e clima, **Anais: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Natal – RN, 02-07 de Agosto, 2015.;

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. **Food and agriculture data**. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acessado em: 01 jan. 2019.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, vol. 108, 1998, 147–166 p.;

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geostatístico por indicação. **Tese** (Doutorado em Computação Aplicada). São José dos Campos: INPE, 1999. 212p.

FELLER, C.; MANLA, R.; SWIFT J.; M.; BERNOUX, M.; Functions, services and value of soil organic matter for human societies and the environment: a historical perspective. **Geological Society**, London, Special Publications, vol. 266, p. 9-22, 2006.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 6, p. 1-15, 2016;

FERREIRA, E. Dinâmica De Longo Prazo Do Carbono Do Solo Em Sistemas De Manejo No Cerrado. **Tese** (doutorado em Ecologia). Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, 2013.

FONTANA, A., PEREIRA, M., G., DOS ANJOS, L., H., DOS SANTOS, A., C., BERNINI, T., A., Matéria orgânica de horizontes superficiais em toplotossequências em ambiente de Mar de Morros, Pinheiral, RJ. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 45, n. 2, p. 221-229, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Manual for Local Level Assessment of Land Degradation and Sustainable Land Management Part 1, Rome, 2011;

FRANÇA, A., M., da S., PAIVA, R., J., O., Estimativa e modelagem dos estoques de carbono em solos sob áreas de campo limpo úmido do Distrito Federal, **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, vol. 27, n° 01, 2015, 171-184 p.;

FRANK, S.; HAVLÍK, P.; STEHFEST, E.; VAN MEIJL, H.; WITZKE, P.; PÉREZ-DOMÍNGUEZ, I.; VAN DIJK, M.; DOELMAN, J. C.; FELLMANN, T.; KOOPMAN, J. F. L.; TABEAU, A.; VALIN, H. Agricultural non-CO2 emission reduction potential in the context of the 1.5 °C target. **Nature Climate Change**, Vol. 9, p. 66–72, 2018.

GARAGORRY, F. L.; DE MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L. A. 2015. MATOPIBA: evolução recente da produção de grãos. **Nota Técnica 9**. Embrapa. São Paulo: Campinas, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/>. Acessado em: 04 jan. 2019.

GELADI, P.; KOWALSKI, B. R. Partial least-squares regression: a tutorial. **Analytica Chimica Acta**, vol. 185, p. 1–17, 1986.

GIANETTI, G. W. O Plano e Programa ABC: uma avaliação da execução e distribuição de recursos. **Dissertação** (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017;

GIBBS, H. K.; RUESCH, A. S.; ACHARD, F.; CLAYTON, M. K.; HOLMGREN, P.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Tropical forests were the primary sources of new

agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, vol. 107, n. 38, p. 16732–16737, 2010.

GIBBS, H. K.; RAUSCH, L. J.; MUNGER, J. I.; SCHELLY, I.; MORTON, D. C. P.; NOOJIPADY, C. P.; SOARES-FILHO, B.; P. BARRETO, P. L.; MICOL, L.; WALKER, N. F. Brazil's Soy Moratorium. **Science**, Vol. 347, n. 6220, p. 377-378, 2015.

GMACH, M. R.; DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; NÓBREGA, J. C. A.; LUSTOSA-FILHO, J. F.; SIQUEIRA-NETO, M.; Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, vol. 14, e00178, 2018.

GRINAND, C., LE MAIRE, G., VIEILLEDENT. G., RAZAKAMANARIVO, H., RAZAFIMBEL, T., BERNOUX, M., Estimating temporal changes in soil carbon stocks at ecoregional scale in Madagascar using remote-sensing, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, vol. 54, p. 1–14, 2017;

HARD, et al. Geologia e geocronologia do complexo Uv, bloco Arqueano de Goiás. **Revista Brasileira de Geociência**, vol. 35, 2005.

HOWDEN, S. M.; SOUSSANA, J. F.; TUBIELLO, F. N.; CHHETRI, N.; DUNLOP, M.; MEINKE, H. Adapting agriculture to climate change. **Proceedings of the national academy of sciences**, vol. 104, n. 50, p. 19691-19696, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Agropecuário 2006. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa Pecuária Municipal - 2015. Efetivo dos Rebanhos. 2016. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/3939>>. Acesso em: 16. Junho 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017**. 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 27 agosto 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. PRODES - Incremento anual de área desmatada no Cerrado Brasileiro. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/cerrado>. Acesso em 01 agosto 2019.

IPCC, 2006, **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme**, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Japan, 2006;

IPCC, 2007: **Resumo para Decisores**. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas [Stocker, T.F.; D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NI, EUA;

IPCC, 2013: **Resumo para Decisores**. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel

Intergovernmental sobre Alterações Climáticas [Stocker, T.F.; D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NI, EUA;

JANK, L.; SANTOS, M. F.; DO VALLE, C.; B.; BARRIOS, S.; C.; SIMEÃO, R.; Novas alternativas para cultivares de forrageiras e melhoramento para a sustentabilidade da pecuária, **Anais: IV Simpósio de adubação e manejo das pastagens; IV Simpósio de produção animal à pasto**, p. 107-132, 2017.

JANTALIA, C., P., VILELA, L., ALVES, B., J., R., BODDEY, R., M., URQUIAGA, S., Influência de pastagens e sistemas de produção de grãos, no estoque de carbono e nitrogênio em um Latossolo Vermelho, **Boletim de desenvolvimento**, EMBRAPA Agrobiologia, n° 11, 2006, 50p.;

Killham, K., **Soil Ecology**. Cambridge University Press. Cambridge, UK, 1994;

KRISHNAN, A.; WILLIAMS, L. J.; Mcintosh, A. R.; ABDI, H., Partial Least Squares (PLS) methods for neuroimaging: a tutorial and review. **Neuroimage**, vol. 56, n. 2, p. 455–475, 2011.

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

LAL, R.; Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security, **Science**, Vol. 304, n. 5677, p 1623-1627, 2004b;

LAL, R., Soil carbon sequestration in latin America, In: n: Lal, R.; Cerri, C. C.; Bernoux, M.; Etchevers, J.; Cerri, C. E. P. (Eds.), **Carbon Sequestration in soils of Latin America**, 2006, 285–304 p.;

LAL, R.; FOLLETT, R., F., **Soil carbon sequestration and the greenhouse effect**. Madison WI: Soil Science Society of America, 2009. 410 p.;

LAL, R., Beyond Copenhagen: mitigating climate change and achieving food security through soil carbon sequestration, **Food Security**, vol, 2, 2010, 169-177 p.;

LAPOLA, D. M.; MARTINELLI, L. A.; PERES, C. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERREIRA, M. E.; NOBRE, C. A.; AGUIAR, A. P. D.; BUSTAMANTE, M. M. C.; Cardoso, M. F.; Costa, M. H.; Joly, C. A.; Leite, C. C.; Moutinho, P.; Sampaio, G.; Strassburg, B. B. N.; Vieira, I. C. G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, vol. 4, p. 27–35, 2014.

LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T. M. Geomorfologia do Estado de Goiás e Tocantins. Goiânia, Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Estado de Goiás, 2006, 128 p.

LEAL, M. A. A.; DE-POLLI, H. Aplicação de Modelos ao Estudo da Matéria Orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. O. (Ed.), **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 171-181.

LEITE, J. F.; FERREIRA Jr, L. G: REDD: DESAFIOS E OPORTUNIDADES DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE VALORIZAÇÃO DO CERRADO NO ESTADO DE GOIÁS. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 32, n. 2, p.205-218, 2012.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O.A. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plough systems using the Century model. *Geoderma*, v. 120, p. 283–295, 2004;

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. Modelo Century de dinâmica da matéria orgânica do solo: equações e pressupostos. **Revista Ciencia Rural**, v. 33(4), 6, 2003, 679-686 p.;

LEPSCH, I., F., **Lições de Pedologia**, São Paulo: Oficina de Textos, 2011, 456 p.;

LEPSCH, I.F. Formação e conservação dos solos. 2ª ed. São Paulo: Oficinas de Textos, 2010;

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JR.; R.; BERTOLINI, D.; Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 2ª Ed. Campinas SP. Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 1991, p.175;

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; STAPE, J. L.; MENDONÇA, E. S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; PAUL, K.; SCHULTHAIS, F.; POLGLASE, P.; RAISON, J.; SOARES, E. M. B. Modeling changes in organic carbon stocks for distinct soils in southeastern Brazil after four eucalyptus rotations using the century model. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 35, n. 3, pg. 833-847, 2011.

LIU, D. L.; CHAN, K. Y.; CONYERS, M. K.; LI, G.; POILE, G. J. Simulation of soil organic carbon dynamics under different pasture managements using the RothC carbon model. **Geoderma**, vol. 165, n. 1, pg. 69–77, 2011.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens. 2000. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte. **Comunicado Técnico**, 62, Embrapa Gado de Corte, 4 p.

MACEDO, M. N.; DEFRIES, R.; MORTON, D. C.; STICKLER, C. M.; GALFORD, G. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **PNAS**. 2012 Jan 9; (10.1073);

MACHADO, P. L. O. DE A.; Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global, **Quim. Nova**, Vol. 28, nº 2, 329-334, 2005;

MAIA, S., M., F., 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**, vol. 149, 2009, 84-91 p.;

MAIA, A. G. Multicolinearidade. **Econometria: conceitos e aplicações**. Editora Saint Paul. São Paulo: Campinas, 2017. 384p.

MANELLA, M. Q.; BOIN, C.; Importância da qualidade da água no desempenho animal, disponível em: <[http://www.beefpoint.com.br/radares-tecnicos/sistemas-de-](http://www.beefpoint.com.br/radares-tecnicos/sistemas-de)

producao/importancia-da-qualidade-da-agua-no-desempenho-animal-5201>. Acessado em: 25 março 2017;

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília: MAPA/ACS, 2012;

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass – **Coleção 3.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2018**. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acessado em: 25 novembro 2018.

MARA, F. P. O. The role of grasslands in food security and climate change. **Annals of Botany**, p. 1263–1270, 2012.

MARGULIS, S. Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira. **Banco Mundial**, Brasília DF, 2003;

MARTINS, S. C., SALGADO, P., R., VASCONCELLOS, E. B., C., EVANGELISTA, B., A., PINTO, H., S., ASSAD, E., D., Capacidade de Sequestro de CO<sub>2</sub> em pastagens produtivas no bioma Cerrado, In: **Anais**, XXXIII Congresso brasileiro de ciência do solo, Uberlândia - MG, 2010;

MAZZETTO, A.M.; FEIGL, B.J.; SCHILS, R.L.M.; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. **Livestock Science**, vol.175, 2015, p.101-112;

MELADO, J.; Pastagens Ecológicas: O Habitat Natural do Bovino Orgânico, In: **Anais I Conferência virtual global sobre produção orgânica de bovinos de corte**, 2002.

MENDES, P., D., A., G., Plano ABC - agricultura de baixo carbono sua elaboração no âmbito do governo federal e sua implementação no município de Formosa-GO. **Dissertação**, Universidade de Brasília, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural, 2014. 170 p.

MERRY, F.; SOARES-FILHO, B. Will intensification of beef production deliver conservation outcomes in the Brazilian Amazon ?. **Elementa Science and Anthropocene**, vol. 5, n. 24, 2017.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO - MDA. **Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf)**. 2017. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-creditorural/sobre-o-programa>>. Acessado em: 15 Março 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: TerraClass Cerrado 2013**. MMA, SBF. Brasília: MMA, 2015. 67 p;

\_\_\_\_\_. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação, Unidades de Conservação Brasileiras. 2018. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs>. Acessado: 20 maio 2018;

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B., KENT, J., Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 403, 2000, 853-858.

NABINGER, C.; CARVALHO, P, C, F.; DALL'AGNOL, M. **Pastagens no ecossistema de clima subtropical**. 42º reunião da sociedade brasileira de zootecnia, 2005;

NASH, J.E., SUTCLIFFE, J.V., River flow forecasting through conceptual models, Part I – a discussion of principles. **Journal of Hydrology**. 10, 1970, 282–290p.;

NEILL, C.; MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C.; MORAES, J. F. L.; PICCOLO, M. C.; BRITO, M. Soil Carbon and Nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestrn brazilian amazonia. **Ecological Applications**, vol. 7, n. 4, p. 1216-1225, 1997;

NELSON, G.; BOGARD, J.; LIVIDINI, K.; ARSENAULT, J.; RILEY, M.; SULSER, T. B.; MASON-D'CROZ, D.; POWER, B.; GUSTAFSON, D.; HERRERO, M.; WIEBE, K.; COOPER, K.; REMANS, R.; ROSEGRANT, M. Income growth and climate change effects on global nutrition security to mid-century. **Nature Sustainability**, vol. 1, p. 773 - 781, 2018.

OBSERVATÓRIO DO ABC. **Impactos Econômicos e Ambientais do Plano ABC**, Relatório, 2017, Disponível em: <http://observatorioabc.com.br/publicacoes/>, Acessado em: 25 novembro 2018;

OGLE, S.; M.; CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; Deriving grassland management factors for a carbono accounting method developed by the intergovernmental panel on climate change. **Environmental Management**, vol. 33, n 4, p. 474-484, 2004.

OLIVEIRA et al.; Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem, **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n.1/2, p. 71-93, 2015a;

OLIVEIRA, L.; B.; T.; SANTOS, A.; C.; LIMA, J.; S.; NEVES NETO, D.; N.; Variabilidade espacial das respostas produtivas e morfológicas do capim-Marandu em função dos atributos químicos e topográficos, **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, vol. 16, n. 4, p. 772-783, 2015b;

OLIVEIRA, E., R., Pecuária bovina e condicionantes socioambientais na bacia hidrográfica do Rio vermelho - GO. **Tese** (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017, 196 p.;

OLIVEIRA, E. R., COUTO, V. R., M., Productive and Economic Viability of Raising Beef Cattle in the Savanna of the Brazilian State of Goiás, **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba-SP, vol. 56, nº 03, Jul./Set. 2018, p. 395-410;

OLIVEIRA, E. R., SILVA, J. R., BAUMANN, L., R., F., MZIARA, F., FERREIRA JUNIOR, L., G., MERELLES, L., R., O., COUTO, V. R., Development of a Technological Index for the Assessment of the Beef Production Systems of the Vermelho River Basin in Goiás, Brazil, **Pesquisa Operacional**, vol. 38(1), 2018, 117-134 p.;

OLSZEWSKI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E. I. Estimativa do estoque de carbono em unidades geoambientais da bacia hidrográfica do Rio Preto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, vol. 7, n. 2, p. 56-64, 2007.

PARENTE, L.; FERREIRA, L. G.; FARIA, A.; NOGUEIRA, S.; ARAÚJO, F.; TEIXEIRA, L.; HAGEN, S.; Monitoring the brazilian pasturelands: A new mapping approach based on the landsat 8 spectral and temporal domains. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, vol. 62, p. 135-143, 2017;

PARTON, W., J., SCHIMEL, D., S., COLE, C., V., OJIMA, M., O., Division S-3 soil microbiology and biochemistry, **Soil Scientific Society**, vol. 51, 1987;

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

PARTON, W., J., SCURLOCK, J., M. O., OJIMA, D., S., GILMANOV, T., G., SCHOLE, R. J., SCHIMEL, D., S., KIRCHNER, T., MENAUT, J., C., SEASTEDT, T., MOYA, G., E., KAMNALRUT, A., KINYAMARIO, J., I., Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. **Global Biogeochemical Cycles**, vol. 7, n. 4, 1993, 785-809 p.;

PARTON, W. J.; RASMUSSEN, P. E. Long-term effects of crop management in wheat- fallow: II. CENTURY model simulations. **Soil Science Society of America Journal**, vol. 58, p. 530-536, 1994.

PAUSTIAN, K.; LEVINE, E.; POST, W. M.; RYZHOVA, I.; M.; The use of models to integrate information and understanding of soil C at the regional scale. **Geoderma**, vol. 79, p. 227-260, 1997.

PHELPS, J.; WEBB, E. L.; ADAMS, W. M. Biodiversity co-benefits of policies to reduce forest-carbon emissions. **Nature Climate Change**, Vol. 2, n. 497, 2012. <https://doi.org/10.1038/nclimate1462>

PIATTO, M.; COSTA JUNIOR, C. **Good Livestock Production Practices reduce GHG emissions and increase meat production in the Amazon**. Piracicaba, SP, Imaflora, 2016, 68p.;

PINTO, P. H. P.; SOUZA, L. B.; ZAVATTINI, J. A. **A correção de falahas e seleção de classes para interpolação de dados pluviométricos**, In: anais, XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Goiânia – GO, 2016;

PRADO, L.; MIZIARA, F.; FERREIRA, M. E.. Expansão da Fronteira Agrícola e Mudanças no Uso do Solo na Região Sul de Goiás: ação antrópica e características naturais do espaço. **Boletim Goiano de Geografia**, vol. 32, p. 1-15, 2012.

PRIMAVESI, O., BERNDT, A., LIMA, M., A., FRIGHETTO, R., T., S., DEMARCHI, J., J., A., A., PEDREIRA, M., S., Produção de Gases de efeito estufa em sistemas agropecuários, In LIMA, M., BODDEY, R., M., ALVES, B., J., R., MACHADO, P., L., O., URQUIAGA, S., (Orgs), **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**, Brasília, DF: Embrapa, 2012;

PULINA, A; LAI, R.; SALIS, L.; SEDDAIU G.; ROGGERO, P. P.; BELLOCCHI, G. Modelling pasture production and soil temperature, water and carbon fluxes in Mediterranean grassland systems with the Pasture Simulation model. **Grass Forage Science**, vol. 73, pg. 272–283, 2018. <https://doi.org/10.1111/gfs.12310>

RAMANKUTTY, N. et al. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 22, n. 1, p. 1–19, 2008.

REATTO et al.; Solos do Bioma Cerrado: Aspectos Pedológicos, In: Cerrado: Ecologia e Flora...; 2008;

RESCK, D.V.S. O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, n° 27 , Brasília, **Resumo expandido**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999;

RESCK, D., V., S., FERREIRA, E., A., B., FIGUEIREDO, C., C., ZINN, Y., Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado, In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. O. (Ed.), **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 359-407 p.;

RESENDE, M. G. Stratigraphy of the Goiás and Faina Greenstone belts, Central Brasil: A New Proposal. **Revista Brasileira de Geociência**, 28(1):77-94, 1998;

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In Sano, S. M.; Almeida, S. P.; Ribeiro, J. F. (eds.), **Cerrado: ecologia e flora**. Embrapa Cerrados: Planaltina, 2008. pg.151 -212.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P.; Ribeiro, J. F (Org.). **Cerrado: ecologia e flora**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2008. Cap. 6, p.151-212;

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T.; **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. (Eds.), Cerrado: Ambiente e Flora. EMBRAPA, Planaltina, DF, p. 89–166, 1998.  
RIEDO, M.; GRUB, A.; ROSSET, M.; FUHRER, J. A pasture simulation model for dry matter production, and fluxes of carbon, nitrogen, water and energy. **Ecological Modelling**, Vol. 105, n. 2, p. 141–183, 1998.

ROCHEDO, P. R. R.; SOARES-FILHO, B.; SCHAEFFER, R.; VIOLA, E.; SZKLO, A.; LUCENA, A. F. P.; KOBERLE, A.; DAVIS, J. L.; RAJÃO, R.; RATHMANN, R.; The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil, **Nature Climate Change**, vol. 8, p. 695–698, 2018;

ROSA, R., SANO, E., E., Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS, **GeoFocus** (Artículos), n°13-1, 2013, p. 367-395;

ROSA, R., SANO, E., E., ROSENDO, J., S., Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, vol. 26 (2), 2014, 333-351 p.;

ROSENDO, J. S., ROSA, R., Comparação do Estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado, **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, vol. 24 n ° 2, 2012, 359-376 p.;

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Utilização do modelo century na simulação do carbono sob diferentes usos da terra, **Espaço em Revista**, vol. 20, n. 1, p. 22-37, 2018.

RUDORFF, B.; F.; T.; ADAMI, M.; AGUIAR, D.; A.; MOREIRA, M. A.; MELLO, M. P.; FABIANI, L.; AMARAL, D. F.; PIRES, B. M.; The Soy Moratorium in the Amazon Biome Monitored by Remote Sensing Images. **Remote Sensing**, vol. 3, p. 185-202, 2011.

SALMAN, A. K. D.; Conceitos de pastagem ecológica, Porto Velho-RO, Embrapa Rondônia, 2007, 19p.;

SALTON, J., C., MIELNICZUK, J., BAYER, C., FABRÍCIO, A., C., MACEDO, M., C., M., BROCH, D., L., Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária, **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.46, n.10, 2011, 1349-1356 p.;

SANT-ANNA, S., A. C., JANTALIA, C., P., SÁ, J., M., VILELA, L., MARCHÃO, R., O. 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, **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, vol. 108, 2017, 101-120 p.;

SANTOS, N., L., AZENHA, M., V., DE SOUZA, F. H., M., REIS, R., A., RUGGIERI, A., C., Fatores ambientais e de manejo na qualidade de pastos tropicais, **Enciclopédia Bioesfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, n°.13; 2011,

SANTOS, P. S.; Caracterização e mapeamento biofísico ambiental da bacia hidrográfica do Rio Vermelho a partir de dados remotamente sensoriados. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. 157 p.

SCHLESINGER, W. H. **The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle: measurement and remote sensing**. Ed. G.M. Woodwell. Wiley, Chichester, 1984, 111-127p.;

SEGNINI, A., MILORI, D., M., B., P., SIMÕES, M., L., SILVA, W., T., L., PRIMAVESI, O., MARTIN NETO, L., Potencial de sequestro de carbono em área de pastagem de brachiaria decumbens, **Anais: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira, 2007;

Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa - SEEG. Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris, 2018. Observatório do Clima, disponível em: <http://seeg.eco.br/analise-de-emissoes-de-gee-no-brasil-1970-2016/>. Acessado em: 25/09/2018;

Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa - SEEG. **Emissões do setor de Agropecuária - Período 1970 a 2015**. Documento de Análise, 2017. 92p. Disponível em: <http://seeg.eco.br/>. Acessado em: 01 dez. 2018.

SILVA, E. B.; FERREIRA, L. G.; ANJOS, A. F.; MIZIARA, F.; Análise da distribuição espaço temporal das pastagens cultivadas no bioma Cerrado entre 1970 e 2006. **Revista IDeAS**, vol. 7, n.1, p. 174-209, 2013.

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização Climática do Bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P.; Ribeiro, J. F (Org.). **Cerrado: ecologia e flora**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2008. Cap. 3, p. 69-88;

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VI- VALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, vol.103, p.357-363, 2004.

SILVA, B.; E.; S.; FARIAS, P.; H.; S.; DA SILVA, S.; C.; MORAES, A.; C.; HEINEMANN, A.; B.; Análise de Tendência da Temperatura Média do Ar para o Estado de Goiás, In: **Anais**, Seminário Agropecuária no Cerrado Frente às Mudanças Climáticas, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2018;

SILVEIRA, A. M.; VICTORIA, R. L.; BALLESTER, M. V.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C. Simulação dos Efeitos das Mudanças do Uso da Terra na Dinâmica de Carbono no Solo na Bacia do Rio Piracicaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol. 35, n. 2, p. 357-363, 2000.

SIQUEIRA NETO, M., PICCOLO, M., C., SCOPEL, E., COSTA JUNIOR, C., CERRI, C., C., BERNOUX, M., Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado, **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 31, n. 4, 2009, 709-717 p.;

SIQUEIRA NETO, M.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; CARDOSO, A.; N.; DOUZET, J-M.; FELLER, C.; PICCOLO, M.; C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. **Soil and Tillage Research**, vol. 110, n 1, p. 187-195, 2010.

SKOGEN, K.; HELLAND, H.; KALTENBORN, B. Concern about climate change, biodiversity loss, habitat degradation and landscape change: Embedded in different packages of environmental concern?. **Journal for Nature Conservation**, Vol. 44, p. 12-20, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.06.001>.

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, H., KOMAROV, A. S., LI, C., MOLINA, J. A. E. J., MUELLER, T., PARTON, W J., THORNLEY, J H M., WHITMORE, A P., A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments, **Geoderma**, vol. 81, 1997, 153-225 p.;

SMITH, P. Soils and climate change. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, Vol. 4, n. 5, p. 539-544, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.06.005>;

SMITH, M. R.; MYERS, S. S. Impact of anthropogenic CO2 emissions on global human nutrition. **Nature Climate Change**, vol. 8, n. 9, p. 834 - 839, 2018;

SOARES FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L.; DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological modelling**, vol. 154, n 3, p. 217-235, 2002.

TARRÉ, R., MACEDO, R., CANTARUTTI, R., B., REZENDE, C., P., PEREIRA, J., M., FERREIRA, E., ALVES, B., J., R., URQUIAGA, S., BODDEY, R., M., The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil, **Plant and Soil**, vol., 234, 2001, 15-26p.;

TEIXEIRA NETO, A., ESTRUTURA FUNDIÁRIA DO ESTADO DE GOIÁS – 2003. **Boletim Goiano de Geografia**, 2011, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 129-160, jul./dez. 2011;

TENENHAUS, M., **La Regression PLS: Theorie et Pratique**, Technip, Paris, 1998;

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

United Nations Organisation - UNO. **Emissions Gap Report 2018**. United Nations Environment Programme, 2018. 112p. Disponível em: <https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2018>. Acessado em: 01 dez. 2018.

URBAN, M. C. et al. Improving the forecast for biodiversity under climate change. **Science**, vol. 353, n 6304, p. 1-10, 2016;

URQUIAGA, S., ALVES, B., J., R., JANTALIA, C., P., BODDEY, R. M., Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: uma análise crítica, **INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS**, nº 130, JUNHO/2010;

VALENTE, C. R. Controles físicos na evolução das unidades geoambientais da Bacia do Rio Araguaia, Brasil central. **Tese** (Doutorado em Ciências Ambientais), Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007. 163p.

VAN DER WERF, G. R.; RANDERSON, J. T.; GIGLIO, L.; GOBRON, N. & DOLMAN, A. J. Climate controls on the variability of fires in the tropics and btropics. **Global Biogeochemical Cycles**, vol. 22, p. 1-10, 2008.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, vol. 58, p.175-180, 1994.

VERDÉLIO, ANDREIA, **Conselho propõe ao governo regras para o mercado de carbono**, disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-07/conselho-propoe-ao-governo-regras-para-o-mercado-de-carbono>, acesso em: 05/12/2018, 2018;

VIEIRA, P. Dinâmica de ocupação, vulnerabilidades e cenários para a bacia hidrográfica do rio vermelho, Goiás - GO. **Tese** (Doutorado em Ciências Ambientais), Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

VIEIRA, P. A. Caracterização das Unidades Geomorfológicas Geoambientais da Planície do Bananal. **Dissertação** (Mestrado em Geografia), Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, 2003. 148p.

VIEIRA, P. A.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Análise da vulnerabilidade natural da paisagem em relação aos diferentes níveis de ocupação da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, estado de Goiás. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, vol. 28 n 2, 2014.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; BARIONI, L. G.; BARCELLOS, A. O. **Integração lavoura-pecuária**. In: Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina: Embrapa Cerrados, vol. 1, p. 933-962, 2008;

VILLELA, A. A.; FREITAS, M.V. O ciclo do carbono e emissões no uso do solo e da biomassa, In: **Emissões de carbono na mudança de uso do solo**, Villela, A. Freitas, M.; Rosa, L. P.; (Orgs.), Rio de Janeiro, Interciência, p. 3-33, 2012.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2012. 42 p.;

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Scientific**, v. 37, 1934, 29-38 p.;

WENDLING, B., JUCKSCH, I., MENDONÇA, E., S., ALMEIDA, R. F., ALVARENGA, R., C., Simulação dos estoques de Carbono e Nitrogênio pelo Modelo Century em Latossolos, no Cerrado Brasileiro, **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n° 2, 2014, 238-248 p.;

WOLD, S.; SJÖSTRÖM, M.; ERIKSSON, L. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. **Chemometr Intell Lab**, v. 58, n. 2, p. 109–130, 2001;

WOLDESENBET, T., A, ELAGIB, N., A., RIBBE, L., HEINRICH, J., Hydrological responses to land use/cover changes in the source region of the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia, **Science of the Total Environment**, vol. 575, 2017, 724–741p.;

YANG, X. Assessing responses of grasslands to grazing management using remote sensing approaches. **Thesis** (Doctor of Philosophy) In the Department of Geography and Planning University of Saskatchewan Saskatoon, 2012.

Apêndice I: Questionário de coleta dos dados da BHRV

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS / INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIOAMBIENTAIS/LAPIG									
<b>Data:</b>	<b>Entrevistador:</b>		<b>Município:</b>						
<b>Nome Propriedade:</b>			<b>Idade da propriedade:</b>		<b>Tamanho (ha):</b>		<b>Quantos pastos?</b>		
<b>Proprietário:</b>			<b>Entrevistado (proprietário/gerente)</b>						
<b>Contato:</b>		<b>Coordenadas GPS (sede da propriedade):</b>			<b>Long</b>	<b>Lat</b>	<b>Nº questionário:</b>		
<b>Perfil socioeconômico do entrevistado</b>									
<b>1. Proprietário reside na propriedade?</b>	<b>Não (Quanto tempo passa na mesma por mês?)</b>				<b>Sim (há quanto tempo?)</b>				
<b>2. O entrevistado possui filhos?</b>		<b>Quantos em cada faixa etária?</b>	<b>zero a 04 anos</b>	<b>de 5 a 9 anos</b>	<b>10 a 14 anos</b>	<b>15 a 19 anos</b>	<b>acima de 20</b>		
<b>3. Filhos com idade igual ou superior a 6 anos estão na escola? Sim ou Não</b>			<b>Tem filho que estuda em área correlata a atividade da propriedade? Qual Curso (técnico/superior)?</b>						
<b>4. Qual o grau de escolaridade do entrevistado?</b>	<b>Sem escolaridade</b>	<b>Ensino fundamental</b>	<b>Médio/Técnico</b>		<b>Superior</b>		<b>Pós graduação</b>		
<b>5. Estado civil?</b>	<b>Marital</b>		<b>Solteiro</b>		<b>Casado</b>		<b>Divorciado</b>		<b>Viúvo</b>

<b>6. Renda familiar?</b>	<b>0,5 a 1 sm</b>		<b>1 a 3 sm</b>		<b>5 a 10 sm</b>		<b>acima de 10 sm</b>	
<b>7. Vive exclusivamente da atividade agropecuária?</b>	<b>Sim</b>		<b>Não</b>		<b>Se não, qual a outra atividade?</b>			
<b>8. Acesso à terra</b>	<b>Proprietário</b>		<b>Assentamento</b>	<b>Arrendamento</b>	<b>Outro (Qual?)</b>			
	<b>Herança</b>	<b>Aquisição</b>						
		<b>o</b>						
	<b>Houve redução/expansão da área? (quantos ha)?</b>							
<b>9. O proprietário está vinculado</b>	<b>INSS</b>	<b>Sindicato</b>	<b>FAEG</b>	<b>Cooperativa</b>	<b>Outro (qual)</b>			
<b>10. Tipo(s) de atividade desenvolvida na propriedade? (Se gado de corte e leite definir em percentagem o total do rebanho)</b>	<b>Gado de Corte</b>	<b>Gado de Leite</b>	<b>Lavoura (Qual?)</b>		<b>Faz consorciamento de pasto e lavoura? Planta lavoura e capim juntos)</b>	<b>Faz Integração Lavoura-Pecuária</b>	<b>Faz Integração Lavoura-Pecuária-Floresta?</b>	
<b>11. Há Quanto tempo trabalha com a atividade pecuária?</b>	<b>&lt; de 2 anos</b>		<b>Entre 2 a 4 anos</b>		<b>Entre 05 até 08 anos</b>		<b>Acima de 8 anos</b>	
<b>12. Tem empregados permanentes na propriedade?</b>	<b>Não</b>	<b>Sim. Quantos ?</b>	<b>Contrata empregados temporários?</b>		<b>Não</b>	<b>Sim (Quantas Diárias em 2015?)</b>		

13. Tem mão de obra familiar trabalhando na fazenda?	Não	Sim. Quantos ?	Se sim trabalha com		Pecuária	Lavoura	Lavoura e Pecuária		
14. Possui? (Sim ou Não)	TV	Antena Parabólica	Computador	Carro (passeio ou utilitário)		Tem internet?	Quantas horas/mês utiliza internet para trabalho?		
<b>Caracterização do sistema de produção</b>									
15. Trabalha com quais fases do ciclo de produção de bovinos?	Cria		Recria		Engorda				
16. Qual raça do gado? CORTE	Nelore		Angus		Brahman		outra (qual)?		
LEITE	Holandesa		Gir		Guzerá		outra (qual)?		
17. Qual o motivo da escolha da raça utilizada?	Tradição (família/região)	Orientação técnica	Custos com manutenção		Produtividade	Por solicitação de frigorífico		Outro? (qual?)	
18. Categoria de gado no pasto	Faz rastreabilidade ou ficha de controle de animais		Vacas solteiras	Vacas com Bezerros	Bezerrões e garroteiros	Bezerras e Novilhas	Bois	Touros	Total Rebanho
Quantidade de cabeças									
	Peso (kg) médio por categoria de animais								

<b>19. Idade de desmame</b>		<b>Peso (kg) ao desmame</b>		<b>Idade de abate:</b>		<b>Idade primeira prenhez:</b>			
<b>20. Trabalha com Estação de Monta? (Sim ou Não)</b>		<b>Caso positivo com qual frequência?</b>				<b>Trabalha com Inseminção Artificial?</b>			
<b>21. Recebe assistência técnica?</b>	<b>Não</b>	<b>Eventual</b>	<b>Regular</b>	<b>Quem/qu al profissional presta assistência?</b>	<b>Sindica to</b>	<b>FAEG</b>	<b>EMA TER</b>	<b>Coope rativa</b>	<b>Parti cular</b>
<b>22. Participa de algum programa de financiamento do governo?</b>		<b>Se Custeio, Qual Valor?</b>				<b>Comprou o quê?</b>			
		<b>Se Investimento, Qual valor?</b>				<b>Comprou o quê?</b>			
<b>23. Alimentação do gado na seca</b>	<b>Pasto + sal mineral</b>	<b>Pasto + sal mineral + uréia</b>		<b>Pasto + mistura múltipla (sal mineral+ureia+concentrado)</b>					
				<b>menos de 1/2 kg (por cabeça/dia)</b>	<b>de 1/2 a 1kg e 1/2 (por cabeça/dia)</b>	<b>mais de 1 kg e 1/2 por cabeça/dia</b>			
			<b>Falta forragem na seca? Em geral por quanto tempo? (gado perde peso? Por quantos meses?)</b>						
<b>24. Faz silagem?</b>		<b>Quantas ensiladeiras ?</b>		<b>Tipo de forrageira (milho, sorgo, cana, soja)</b>			<b>Qual área (ha)?</b>		
<b>25. Suplementa o gado nas águas? Qual a quantidade?</b>				<b>Confina a pasto na seca (semiconfinamento)? (sim ou não?)</b>					
<b>26. A produção é comercializada diretamente com?</b>	<b>Frigorífico (qual?)</b>		<b>Laticínio (qual?)</b>		<b>Intermediários</b>		<b>Direto com o comércio local (açougue,</b>		

								supermercados, etc)	
<b>27. Produção de Leite (litros/dias)(média no ano)</b>			<b>Qtde. de vacas ordenhadas/dia</b>						
<b>28. Tem ordenha mecânica? (Sim ou Não)</b>		<b>Qual Modelo?</b>	<b>Balde ao pé</b>		<b>Circuit o fechad o (fosso)</b>		<b>Tem tanque de resfriamento? (qual capacidade?)</b>		
<b>29. Condições de Infraestrutura</b>	<b>Estado de Conservação: Péssimo ( P ) Regular ( R ) Bom ( B ) Excelente ( E ) ou Não possui ( NP )</b>								
	<b>Casa sede</b>	<b>Casa empregados</b>	<b>Curral</b>	<b>Brete/Tro nco de contenção</b>	<b>Balanç a</b>	<b>Casa de ordenha</b>	<b>Depósi tos</b>	<b>Cocho</b>	
<b>30. Usa Trator? (se Sim - alugado ou próprio??)</b>		<b>quantas horas/ano de trabalho do trator?)</b>				<b>Qual é a potência do trator (65?75?85?90..)</b>			
<b>31. Usa implementos agrícolas? (Se sim - alugado ou próprio)</b>		<b>Roçadeira</b>		<b>Preparo(g rade, arado, subsolado r)</b>		<b>Distribuí dora de calcário e/ou adubadei ra</b>		<b>Semea deira (plant adeira )</b>	
<b>32. Para aumentar a produtividade voce considera importante?</b>	<b>1 (não tem importância)</b>		<b>2 (pouco importante)</b>		<b>3 (importante)</b>		<b>4 (muito importante)</b>		<b>5 (não sei opin ar)</b>
<b>Crédito</b>									

<b>Assistência Técnica</b>							
<b>Incentivo de mercado (preços de insumo e de venda de produto)</b>							
<b>mudança de legislação</b>							
<b>33. Como o Sr. Avalia a situação dos pastos da propriedade? (distribua em percentagem)</b>	<b>Muito Ruim</b>	<b>Ruim</b>	<b>Regular</b>	<b>Bom</b>	<b>Muito Bom</b>	<b>Excelente</b>	<b>Não sei opinar</b>
<b>34. Quais fatores desestimulam a investir em melhor qualidade do pasto?</b>	<b>Marque os três principais fatores que o produtor julgar mais importante</b>						
<b>Preços altos do adubo e calcário</b>							
<b>Baixo preço da arroba do boi</b>							
<b>Difícil acesso ao crédito público</b>							
<b>Falta orientação técnica</b>							
<b>No caso dessa fazenda sai mais barato abrir novos pastos</b>							
<b>Arrendar pasto é mais barato do que recuperar os pastos da propriedade</b>							
<b>35. Em relação à frase seguinte avalie o quanto o senhor concorda ou não:</b>	<b>"Os pastos em condições ruins representam perda de oportunidade de ganhar dinheiro"? (só uma resposta)</b>						<b>Não sei opinar</b>
	<b>Discordo Totalmente</b>		<b>Discordo parcialmente</b>		<b>Concordo totalmente</b>	<b>Concordo parcialmente</b>	

Caracterização Manejo pasto/propriedade							
Data da coleta:		/ /		Parada/Ponto:			
Horário:				Trecho/Município:			
Latitude do pasto:				Propriedade:			
Longitude do pasto:				Tamanho do pasto (ha)			
36. Qual Manejo Utiliza para o Solo?		Faz uso de curva de nível? (Sim ou Não)		Realiza exame em laboratório de fertilidade do solo? (Sim ou Não)		Usa gradagem aradora e niveladora? Sim ou Não	
		Outra forma de manejo para o solo (qual?)					
37. Realiza exame em laboratório para nutrientes das plantas, quais? (Sim ou Não)							
Usa de roçada		Usa de calcário		Usa de adubos(fertilizantes)		Usa de herbicidas	
Manual	Mecânica	Não	SIM (qual área (ha)?)	Não	SIM (qual área?)	Não	SIM (qual área?)
38. Qual frequência da aplicação deste manejo							
39. Plantio de semente		Manual?		Mecanizada?			
40. Quantos hectares de área de preservação permanente (mata ciliar tem?)				Quantos hectares de reserva legal?			
41. Propriedade possui quantas fontes de água?		Cursos d'água?		Nascentes?		Área de veredas?	
42. A água é disponibilizada ao gado por meio de:		rio/córrego		represa/caçimba		bebedouro	
						outro (Qual?)	

43. Qual situação ambiental que prejudica a produção? (falta água?) (pasto suja muito?)								
44. Topografia (Distribuição percentual do tipo de topografia)			46. Fertilidade do solo (visão do proprietário em %)			47. Usa fogo para fazer limpeza no preparo de		
Plano			baixa fertilidade			lavoura	pasto	Se sim em qual mês?
Pouco inclinado			média fertilidade					
Muito inclinado			boa fertilidade					
45. Quando o pasto foi formado ou reformado com qual espécie?								
46. Tipo de Capim (distribuição percentual do tipo de capim na propriedade)								
<i>Brachiaria</i>			<i>Panicum Maximum</i>			Outros		
<i>B. brizantha (braquiarião)</i>			<i>Colonião</i>			<i>Andropogon</i>		
<i>B. decubens (braquiarinha)</i>			<i>Tanzânia</i>			<i>Cynodon</i>		
<i>B. humidicola (quicúia)</i>			<i>Massai</i>			Nativas		
<i>B. ruziziensis</i>			<i>Mombaça</i>					
			<i>Aruanã</i>					
47. Qual parâmetro para colocar o gado do pasto? (especificar a resposta com a altura e a cor)	Altura do capim? (cm)		Cor do capim?		Outro(qual?)			Tem cumpizeiro? (Qual % de área?)
48. Qual parâmetro para retirar o gado do pasto? (especificar a resposta com a altura e a cor)	Altura do capim? (cm)		Cor do capim?		Outro(qual?)			
49. Solo Exposto? (distribuição % de presença de solo exposto)	Não há:		Baixa:		Média:		Alta:	
50. Condição atual das pastagens:								
Sem gado, a entrar em pastejo								
Com gado em pastejo								
Em pós pastejo, com sinais de consumo recente								

<b>51. Homogeneidade do Pasto</b>			<b>52. Volume da Biomassa</b>			<b>53. Processo Erosivo</b>			
Baixa			Baixa			Sim/leve			
Média			Média			Sim/moderado à grave			
Alta			Alta			Não			
<b>54. Tipos de Invasoras: (distribuição percentual da presença de invasoras no pasto)</b>			<b>55. sistema:</b>						
Arbustiva			Rotativo		Idade do pasto:				
Semi-arbustiva			Extensivo		Qtde. de piquetes:				
Herbáceas					Período Rotativo:				
					Altura do Capim:				
<b>56. Vias de acesso</b>									
Rodovia:									
Pavimentação	( )		Asfalto	( )	Terra				
Acostamento	( )		Adequado	( )	inadequado	( )	Inexistente		
Sinalização	( )		Completa	( )	incompleta	( )	Inexistente		
Qualidade	( )		Ruim	( )	Boa	( )	Razoável		
Observações:									

## Apêndice II: Arquivos de agendamento no Century

### II - Arquivo de agendamento manejo tradicional

1980 Starting year

2017 Last year

lu\_site.100 Site file name

0 Labeling type

-1 Labeling year

-1.00 Microcosm

-1 CO2 Systems

-1 pH shift

-1 Soil Warming

0 N input scalar option

0 OMAD scalar option

0 Climate scalar option

3 Initial system

HER Initial crop

CER Initial tree

Year Month Option

1 Block # REMOÇÃO\_MATA\_VEG.EXPONTANÊA

1981 Last year

2 Repeats # years

1980 Output starting year

1 Output month

1 Output interval

M Weather choice

1 1 CROP

HER

1 1 TREE

CER

1 1 TFST

1 5 LAST

1 5 SENM

1 9 FRST

1 12 TLST

2 1 TREE

CER

2 1 TFST

2 5 LAST

2 5 SENM

2 6 TREM

CCER3

2 6 FIRE

CER

2 9 CULT

S

2 9 CROP

BE8

-999 -999 X

2 Block # INSTALAÇÃO PASTO

1982 Last year  
1 Repeats # years  
1982 Output starting year  
1 Output month  
1 Output interval  
F Weather choice

lu\_site.wth

1 9 CROP

BE8

1 9 PLTM

1 9 FERT

A

1 10 FRST

-999 -999 X

3 Block # Entrada do gado

2017 Last year

1 Repeats # years

1983 Output starting year

1 Output month

1 Output interval

F Weather choice

lu\_site.wth

1 1 GRAZ

BECH - Pastejo na chuva

1 2 GRAZ

BECH

1 3 GRAZ

BECH

1 4 GRAZ

BECH

1 5 GRAZ

BESC

1 6 LAST

1 6 SENM

1 6 GRAZ

BESC - Pastejo na seca

1 7 GRAZ

BESC

1 8 GRAZ

BESC

1 9 GRAZ

BESC

1 9 FRST

1 10 GRAZ

BECH

1 11 GRAZ

BECH

1 12 GRAZ

BECH

-999 -999 X

## II.1 - Arquivo de agendamento manejo produtivo - cenários 1 e 2

1980 Starting year  
2017 Last year  
lu\_site.100 Site file name  
0 Labeling type  
-1 Labeling year  
-1.00 Microcosm  
-1 CO2 Systems  
-1 pH shift  
-1 Soil Warming  
0 N input scalar option  
0 OMAD scalar option  
0 Climate scalar option  
3 Initial system  
HER Initial crop  
CER Initial tree  
Year Month Option  
1 Block # REMOÇÃO\_MATA\_VEG.EXPONTANÊA  
1981 Last year  
2 Repeats # years  
1980 Output starting year  
1 Output month  
1 Output interval  
M Weather choice  
1 1 CROP

HER

1 1 TREE

CER

1 1 TFST

1 5 LAST

1 5 SENM

1 9 FRST

1 12 TLST

2 1 TREE

CER

2 1 TFST

2 5 LAST

2 5 SENM

2 6 TREM

CC

2 9 CULT

P

2 9 CROP

BE8

-999 -999 X

2 Block # INSTALAÇÃO PASTO

1982 Last year

1 Repeats # years

1982 Output starting year

1 Output month

1 Output interval

F Weather choice

lu\_site.wth

1 9 CROP

BE8

1 9 PLTM

1 9 FERT

N45

1 10 FRST

-999 -999 X

3 Block # Entrada do gado

2017 Last year

5 Repeats # years

1983 Output starting year

1 Output month

1 Output interval

F Weather choice

lu\_site.wth

1 1 GRAZ

BECH

1 2 GRAZ

BECH

1 3 GRAZ

BECH

1 4 GRAZ

BECH

1 5 GRAZ

BESC

1 6 LAST

1 6 SENM

1 6 GRAZ

BESC

1 7 GRAZ

BESC

1 8 GRAZ

BESC

1 9 GRAZ

BESC

1 9 FRST

1 10 GRAZ

BECH

1 11 GRAZ

BECH

1 12 GRAZ

BECH

2 1 GRAZ

BECH

2 2 GRAZ

BECH

2 3 GRAZ

BECH

2 4 GRAZ

BECH

2 5 GRAZ

BESC

2 6 LAST

2 6 SENM

2 6 GRAZ

BESC

2 7 GRAZ

BESC

2 8 GRAZ

BESC

2 9 GRAZ

BESC

2 9 FRST

2 10 GRAZ

BECH

2 11 GRAZ

BECH

2 12 GRAZ

BECH

3 1 GRAZ

BECH

3 2 GRAZ

BECH

3 3 GRAZ

BECH

3 4 GRAZ

BECH

3 5 GRAZ

BESC

3 6 LAST

3 6 SENM

3 6 GRAZ

BESC

3 7 GRAZ

BESC

3 8 GRAZ

BESC

3 9 GRAZ

BESC

3 9 FRST

3 10 GRAZ

BECH

3 11 GRAZ

BECH

3 12 GRAZ

BECH

4 1 GRAZ

BECH

4 2 GRAZ

BECH

4 3 GRAZ

BECH

4 4 GRAZ

BECH

4 5 GRAZ

BESC

4 6 LAST

4 6 SENM

4 6 GRAZ

BESC

4 7 GRAZ

BESC

4 8 GRAZ

BESC

4 9 GRAZ

BESC

4 9 FRST

4 10 GRAZ

BECH

4 11 GRAZ

BECH

4 12 GRAZ

BECH

5 1 GRAZ

BECH

5 2 GRAZ

BECH

5 3 GRAZ

BECH

5 4 GRAZ

BECH

5 5 GRAZ

BECH

5 6 LAST

5 6 SENM

5 6 GRAZ

BESC

5 8 CULT

P

5 9 CROP

BE9

5 9 PLTM

5 9 FERT

N45

5 10 FRST

-999 -999 X

**Apêndice III: Tabela com os parâmetros modificados no Century**

	<b>Default</b>	<b>Tradicional</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>
<b>Crop.100 file</b>				
PRDX(1) : potential aboveground monthly production for crops (g C m <sup>-2</sup> )	0,3	0,3	0,7	0,7
PPDF(1) : optimum temperature for production for parameterization	30	22	22	22
CFRTCN(1): maximum fraction of C allocated to roots under maximum nutrient stress	0,4	0,3	0,3	0,3
CFRTCN(2): minimum fraction of C allocated to roots with no nutrient stress	0,25	0,25	0,25	0,25
CFRTCW(1): maximum fraction of C allocated to roots under maximum water stress	0,6	0,4	0,4	0,4
CFRTCW(2): minimum fraction of C allocated to roots with no water stress	0,2	0,1	0,1	0,1
<b>Tree.100 file</b>				
PRDX(1): potential aboveground monthly production for crops (g C m <sup>-2</sup> )	0,5	0,26	0,26	0,26

### Apêndice IV – Tabela com os dados de campo coletados na BHRV

Propriedade	Município	UF	Latitude	Longitude	Altitude	Solo predominante	Geologia	Relevo	Camada do solo			
									(pos.)	(cm)	Espessura (cm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Fazenda Forte	Goiás	GO	16.007037° S	50.283881° W	540	cambissolo, com presença de granulos a 30 cm de profundidade	granito gnaisse do complexo Uvá	plano	1	0-5	5	1.36
									2	5-10	5	1.40
									3	10-20	10	1.42
									4	20-30	10	1.62
Sítio PAJ	Goiás	GO	16.046472° S	50.347302° W	540	Argissolo vermelho	esteatito do complexo Uvá	suavemente ondulado	1	0-5	5	1.40
									2	5-10	5	1.35
									3	10-20	10	1.30
									4	20-30	10	1.40
Sítio Vitória da União	Goiás	GO	15.641811° S	50.229059° W	640	cambissolo	granito gnaisse do complexo basal goiano, proterozoico	suavemente ondulado	1	0-5	5	1.34
									2	5-10	5	1.34
									3	10-20	10	1.59
									4	20-30	10	1.79
Dois Córregos	Goiás	GO	15.802200° S	50.370539° W	500	argissolo com granulos de quartzo 3mm	ultramáfica do complexo uvá	suavemente ondulado	1	0-5	5	1.27
									2	5-10	5	1.46
									3	10-20	10	1.35
									4	20-30	10	1.39
Fazenda Jatobá	Goiás	GO	15.612762° S	50.613291° W	360	latossolo vermelho amarelo	TQDL	suavemente ondulado, vertente com rampa longa, retilinear	1	0-5	5	1.37
									2	5-10	5	1.48
									3	10-20	10	1.51
									4	20-30	10	1.50
Poço Fundo	Itapirapuã	GO	15.832277° S	50.703179° W		Cambissolo	Granito cinza grupo Iporá	plano	1	0-5	5	1.52
									2	5-10	5	1.52
									3	10-20	10	1.57
									4	20-30	10	1.60
Rainha do Asfalto	Jussara	GO	15.895620° S	50.832810° W		Argissolo, argiloso	Granito grupo Iporá/TQDL	plano	1	0-5	5	1.34
									2	5-10	5	1.45
									3	10-20	10	1.32
									4	20-30	10	1.38
Ajuricaba	Aruanã	GO	15.226066° S	51.040638° W		Neossolo quartzarênico, plintico, hidromorfico	Sedimentos arenosos Formação Araguaia	plano	1	0-5	5	1.49
									2	5-10	5	1.54
									3	10-20	10	1.46
									4	20-30	10	1.37

pH	P(Mehl)	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	M	V	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
(CaCl <sub>2</sub> )	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	%	%	-	-	-	%	%	%
5.5	3.0	150.0	1.3	0.73	5.3	0.2	7.7	7.7	31.3	1.8	1.9	3.4	16.9	9.5	5.0
5.1	2.4	44.0	1.5	0.37	2.3	0.3	4.3	13.1	46.3	4.1	3.3	13.3	35.0	8.6	2.3
5.0	1.5	91.0	1.3	0.31	2.8	0.0	4.6	0.0	39.7	4.2	1.3	5.6	28.0	6.7	5.0
5.0	1.2	40.0	1.5	0.30	2.3	0.1	4.2	5.0	45.3	5.0	2.9	14.7	35.7	7.1	2.3
5.4	3.0	170.0	5.8	1.49	2.5	0.0	10.2	0.0	75.5	3.9	3.4	13.3	56.7	14.6	4.0
5.5	1.5	145.0	5.6	1.36	2.5	0.0	9.8	0.0	74.6	4.1	3.7	15.1	57.0	13.8	3.0
5.5	1.5	94.0	5.0	1.18	2.8	0.0	9.2	0.0	69.6	4.2	4.9	20.8	54.2	12.8	2.3
5.5	0.9	96.0	5.3	1.13	2.8	0.0	9.5	0.0	70.5	4.7	4.6	21.6	55.9	11.9	2.3
5.0	3.4	95.0	2.8	1.01	3.9	0.0	8.0	0.0	51.0	2.8	4.2	11.5	35.2	12.7	3.0
4.9	2.4	60.0	2.4	0.53	2.8	0.1	5.9	3.1	52.4	4.5	3.5	15.6	40.8	9.0	2.3
5.4	5.4	310.0	2.7	0.64	2.3	0.0	6.4	0.0	64.2	4.2	0.8	3.4	42.0	9.9	1.0
5.0	2.1	61.0	2.1	0.55	2.3	0.0	5.1	0.0	55.0	3.8	3.5	13.5	41.1	10.8	3.0
5.2	1.5	34.0	2.4	1.12	2.3	0.0	5.9	0.0	61.1	2.1	12.9	27.6	40.6	19.0	1.0
5.2	2.4	36.0	2.6	1.20	2.5	0.0	6.4	0.0	60.9	2.2	13.0	28.2	40.7	18.8	1.0
5.3	5.0	72.0	3.3	2.66	3.1	0.0	9.2	0.0	66.5	1.2	14.4	17.9	35.7	28.8	2.3
5.4	2.1	31.0	2.4	1.10	2.1	0.0	5.7	0.0	63.0	2.2	13.9	30.3	42.3	19.4	1.0
5.0	31.2	330.0	1.4	1.20	2.3	0.1	5.7	2.8	60.0	1.2	1.4	1.7	24.4	20.9	1.0
4.6	8.3	62.0	0.7	0.37	2.1	0.3	3.3	19.6	36.9	1.9	2.3	4.4	21.0	11.1	4.0
4.6	2.1	26.0	5.0	0.27	2.5	0.2	7.8	3.6	68.1	18.5	4.1	75.2	63.8	3.4	0.0
4.8	0.3	17.0	0.6	0.29	1.7	0.0	2.6	0.0	35.4	2.1	6.7	13.8	22.8	11.0	1.0
4.6	1.8	105.0	0.6	0.50	2.8	0.1	4.2	6.8	32.8	1.2	1.9	2.2	14.4	12.0	6.0
4.4	1.5	53.0	0.4	0.30	2.3	0.2	3.1	19.3	26.6	1.3	2.2	3.0	12.8	9.6	4.0
4.3	2.1	42.0	0.4	0.28	2.5	0.3	3.3	27.6	24.0	1.4	2.6	3.7	12.2	8.5	3.0
4.3	0.6	40.0	0.5	0.25	2.3	0.3	3.2	26.0	27.0	2.0	2.4	4.9	15.9	7.9	3.0
5.1	1.2	76.0	1.4	0.36	2.1	0.0	4.1	0.0	48.2	3.9	1.9	7.2	34.5	8.9	4.0
4.8	1.8	39.0	1.0	0.76	2.1	0.3	4.0	13.9	47.0	1.3	7.6	10.0	25.3	19.2	2.0
4.6	0.9	22.0	0.5	0.38	2.1	0.2	3.0	17.6	30.8	1.3	6.8	8.9	16.5	12.5	1.0
4.6	0.6	13.0	0.5	0.33	2.3	0.2	3.2	18.8	27.3	1.5	9.9	15.0	15.8	10.4	1.0
5.0	2.7	200.0	0.6	0.54	1.7	0.0	3.4	0.0	49.3	1.1	1.1	1.2	17.9	16.1	1.0
4.8	1.5	90.0	0.4	0.24	1.7	0.0	2.7	0.0	36.3	1.2	1.5	1.7	15.0	12.7	1.0