



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS CORRENTE-PI
COORDENAÇÃO DO CURSO DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

TANCIO GUTIER AILAN COSTA

**GASES DO EFEITO ESTUFA E DINÂMICA DO CARBONO SOB
FITOFISIONOMIAS DO CERRADO NO PARQUE NACIONAL DAS NASCENTES
DO RIO PARNAÍBA – PNNRP**

CORRENTE

2017

TANCIO GUTIER AILAN COSTA

GASES DO EFEITO ESTUFA E DINÂMICA DO CARBONO SOB
FITOFISIONOMIAS DO CERRADO NO PARQUE NACIONAL DAS NASCENTES
DO RIO PARNAÍBA – PNNRP

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, como
parte do requisito para a obtenção do título de
Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Bruna de Freitas Iwata.

Co-orientação: Crisntian Epifânio Toledo

Área de concentração: Manejo Ecológico do Solo

CORRENTE

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Costa, Tancio Gutier Ailan

C837g Gases do efeito estufa e a dinâmica do carbono sob fitofisionomias do cerrado do parque das nascentes do rio Parnaíba - PNNRP / Tancio Gutier Ailan Costa . - 2017.
18 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental)
- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Corrente, 2017.

Orientador: Prof Dr. Bruna de Freitas Iwata
Coorientador: Crisntian Epifânio Toledo

1. Gestão ambiental – estudo e ensino. 2. Efeito Estufa. 3.
Fitofisionomias - cerrado. 4. Costa, Tancio Gutier Ailan. I.Título.

CDD - 577

Elaborado por Tefischer Huanderson Soares e Sousa CRB3/1251

TANCIO GUTIER AILAN COSTA

GASES DO EFEITO ESTUFA E DINÂMICA DO CARBONO SOB
FITOFISIONOMIAS DO CERRADO NO PARQUE NACIONAL DAS NASCENTES
DO RIO PARNAÍBA – PNNRP

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de
Tecnologia em Gestão Ambiental, como parte do requisito
para a obtenção do título de Tecnólogo em Gestão
Ambiental. Área de concentração: Manejo Ecológico do Solo

Aprovado em: __/__/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. (Doutora). Bruna de Freitas Iwata (Orientadora)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - *Campus* Corrente

Prof^º (Mestre). Régis dos Santos Braz

Universidade Federal do Ceará – *Campus* Pici, Fortaleza

Prof^ª. (Mestre). Izabel Maria Almeida Lima

Universidade Federal do Ceará – *Campus* Pici, Fortaleza

A minha Mãe, Edineuza Azevedo Costa por todo apoio, incentivo e amor dado a mim. Aos meus Avós, Ambrosina Maria Costa e Manoel Azevedo Costa pela admiração e apoio. A minha honrosa Orientadora, Bruna de Freitas Iwata por toda parceria, dedicação, compreensão e amizade e a minha Grande Amiga Juliana Vogado Coelho por todo amor, amizade, dedicação e horas de estudo.

Dedico a Vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me concedeu a vida e a oportunidade de fortalecer minha fé, guiando-me com coragem, esperança, saúde, humildade e proteção através das inúmeras dificuldades que me foram apresentadas durante essa jornada.

A minha mãe, Edineuza Azevedo Costa por todo amor que somente o papel maternal é capaz de prover e a toda minha família na figura de avós, tios e primos que sempre apoiaram meus estudos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, *Campus Corrente*, pela oportunidade e gozo da realização da Graduação.

A Pró – Reitoria de Pesquisa e Inovação (PROPI) pela concessão de bolsas de iniciação científica, as quais contribuíram para minha formação acadêmica.

Ao quadro de professores e técnicos administrativos, grandes colaboradores em minha formação acadêmica e profissional, debate diário e incentivo a propósitos profissionais.

A Janeil Lustosa, Representante Chefe do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, Fiscal do ICMBio, cujo apoio foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho em termos de apoio logístico e disponibilidade de equipe de campo.

Aos meus amigos, Laécio Miranda, Gleide Ellen, João Gabriel, Andressa Avelino e Patrícia Silva por terem sido meus fieis companheiros em momentos durante as campanhas de campo, sempre me apoiando nos momentos complicados e me proporcionando muitas risadas.

As minhas amigas Larissa Serpa, Nayara Caroline e Mireia Alves, pelos melhores momentos que a amizade pode nos proporcionar. Vocês são os meus amores de uma vida inteira.

As minhas amigas da “Turma do IBGE”, Ana Carla Maciel, Ana Valéria Rodrigues e Mila Ohana, por todas as palavras de apoio e otimismo, por toda

confiança para comigo, pelos momentos de agonia e alegria, e pela sinceridade atribuída a nossa amizade.

A meu amigo Morecks Amorim, pela grandiosa ajuda na reta final desta pesquisa e pela bela amizade de anos.

Aos Estagiários do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual do Piauí, Campus Corrente, pelo apoio, incentivo e determinação para realização das análises desta pesquisa.

A todos os Colegas de graduação da melhor turma do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, pela confiança, apoio, incentivo e ajuda amiga nas horas difíceis.

A Universidade Federal do Ceará, Campus Pici, por colaborar por diversas vezes para realização das análises desta pesquisa e demais serviços prestados.

Ao meu Coorientador Profº Doutor Cristian Toledo pelo apoio na realização do trabalho.

A minha Amada Amiga e Colega de pesquisa Juliana Vogado Coelho por toda parceria, amizade, dedicação para comigo, carinho e confiança e, por se fazer presente em grandes momentos especiais de minha vida.

Em especial a minha ilustre Orientadora e Amiga a Professora Doutora Bruna de Freitas Iwata por toda humildade, carinho, dedicação e imensa paciência em compartilhar os ensinamentos e experiências e por toda interlocução riquíssima sobre o tema durante toda a realização da pesquisa.

E assim a todos que colaboraram com seu tempo e informações valiosas quanto aos levantamentos de campo.

A todos vocês o Meu Muito Obrigado!

EPÍGRAFE

"A natureza é sábia e justa. O vento sacode as árvores, move os galhos, para que todas as folhas tenham o seu momento de ver o sol".

(Humberto de Campos)

RESUMO GERAL

Nos últimos anos, vários estudos veem demonstrando que o aquecimento global e as mudanças climáticas são, dentre os problemas ambientais, um dos mais relevantes e merecedores de atenção especial, a fim de que se possam encontrar os caminhos para a redução das emissões dos gases do efeito estufa e consequentemente minimizar a intensificação do fenômeno. Esse processo de intensificação do efeito estufa é evidenciado, sobretudo pelo aumento das concentrações atmosféricas de seus três principais gases, o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), aumentados rapidamente ao longo dos anos. Embora o efeito desses gases seja em conjunto, o CO_2 se apresenta com a maior contribuição relativa, visto que está presente na atmosfera em maiores concentrações e pode ser emitido por diversas fontes, tanto naturais quanto antropogênicas. Dentro desse contexto, o estudo objetivou quantificar a emissão dos gases de efeito estufa sob diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, assim como verificar os atributos de qualidade químicos e físicos do solo e o comportamento da dinâmica do carbono. Para esta avaliação foram delimitadas duas parcelas de 1 ha sob duas fitofisionomias do Cerrado no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, as quais foram subdivididas em cinco sub-parcelas equivalente a 0,2 ha. Nas duas fitofisionomias foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0.00 – 0.05 m e 0.05 – 0.10 m, buscando avaliar os atributos químicos e físicos do solo, bem como medir a taxa de emissão dos gases de efeito estufa nas diferentes fitofisionomias por meio do Monitor Multigases – MX6 iBrid™. Em relação à qualidade do solo, o estudo verificou que os mesmos encontram-se relativamente ácidos, com reduzida fertilidade natural, relevante adensamento de seus solos, além de aportarem um relevante teor de carbono orgânico e nitrogênio total, e boa capacidade de retenção de água no solo, principalmente para fitofisionomia de Cerradão. Quanto à dinâmica de carbono no solo, verificou-se que o mesmo encontra-se disponível em consideráveis teores nestas áreas e relativamente estocado, indicando qualidade destes solos. As áreas de cerrado estudadas apresentaram-se como significativo sumidouro de carbono, no entanto também atua como fonte emissora, uma vez que os valores de emissão do CO_2 , CH_4 e N_2O foram significativos e sofreram variação quanto à distribuição das emissões nas fitofisionomias amostras. Assim, destaca-se que o PNNR apresentou emissões significativas quanto os gases de efeito estufa, embora seja decorrente de relações naturais existentes entre o sistema solo-planta-atmosfera em suas fitofisionomias.

Palavras-chave: Dinâmica do carbono do solo. Florestas naturais. Unidades de conservação.

ABSTRACT

In recent years, a number of studies have shown that global warming and climate change are one of the most relevant and deserving of special attention among the environmental problems in order to find ways to reduce greenhouse gas emissions. Greenhouse effect and consequently minimize the intensification of the phenomenon. This process of intensification of the greenhouse effect is evidenced, mainly by the increase in the atmospheric concentrations of its three main gases, carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O), increased rapidly over the years. Although the effect of these gases is together, CO₂ presents the largest relative contribution, since it is present in the atmosphere in higher concentrations and can be emitted from several sources, both natural and anthropogenic. In this context, the study aimed to quantify the emission of greenhouse gases under different phytophysionomies of the Cerrado biome in the Parnaíba River National Park, as well as to verify the chemical and physical quality attributes of the soil and the behavior of the carbon dynamics. For this evaluation, two 1 ha plots under two Cerrado phytophysionomies were delineated in the Parnaíba Rio Nascentes National Park, which were subdivided into five subplots equivalent to 0.2 ha. In the two phytophysionomies soil samples were collected at depths of 0.00 - 0.05 m and 0.05 - 0.10 m, in order to evaluate the chemical and physical attributes of the soil, as well as to measure the emission rate of the greenhouse gases in the different phytophysionomies through the Monitor Multigases - MX6 iBrid[™]. In relation to soil quality, the study found that they are relatively acidic, with low natural fertility, relevant soil densities, and contribute with a significant content of organic carbon and total nitrogen, and good water retention capacity In the soil, mainly for Cerradão phytophysionomy. As for the carbon dynamics in the soil, it was found that it is available at considerable levels in these areas and relatively stocked, indicating the quality of these soils. The cerrado areas studied presented a significant carbon sink, but also acts as emitting source, since the emission values of CO₂, CH₄ and N₂O were significant and varied as regards the distribution of emissions in the phytophysionomic samples. Thus, it is noteworthy that the PNNR presented significant emissions regarding greenhouse gases, although it is due to natural relationships between the soil-plant-atmosphere system in its phytophysionomies.

Key words: Soil carbon dynamics. Natural forests. Conservation units.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Elevação da temperatura global e do nível do mar em relação associado às altas concentrações dos gases de efeito estufa. Fonte: IPCC, 2001.....	27
Figura 2. Contribuição relativa de diferentes setores nas emissões antrópicas mundiais de GEE (em CO ₂ equivalente). Fonte: IPCC, 2013.....	28
Figura 3. Contribuição relativa de diferentes setores nas emissões antrópicas de gases de efeito estufa no Brasil. Fonte: NASSAR et al., 2010 (Adaptado).....	29
Figura 4. Contribuição dos GEE no setor mudança no uso da terra em agroecossistemas em 2012. Fonte: MCTI, 2014.....	30
Figura 5. Fluxo e quantidades de CO ₂ nos diferentes compartimentos. Fonte: Martins et al. (2003).....	33
Figura 6. Representação do ciclo global do carbono. Fonte: BURGESS, 2017.	34
Figura 7. Contribuições de fontes para emissão total de metano, fontes antropogênicas (A) e fontes naturais (B). Adaptado de Khalil (2000).	36
Figura 8. Esquema de armazenamento e sequestro do carbono. Fonte: (CEPAC, 2016).	39
Figura 9. Armazenamento de C (em Pg C = 10 ¹⁵ g C) nos diferentes compartimentos da terra e seu fluxo (em Pg C ano ⁻¹). Fonte: Machado, 2005.....	40
Figura 10. Representação esquemática da emissão de CO ₂ em ecossistema terrestre. Fonte: UNEF, 2017.....	41
Figura 11. Representação do processo fotossintético de absorção do CO ₂ pelo vegetal. Fonte: (INSTITUTO MADEIRA, 2011).	42
Figura 12. Principais processos no solo que influenciam o conteúdo de carbono no solo. Fonte: Machado, 2005.....	45
Figura 13. Delimitação espacial dos principais biomas brasileiros. Fonte: IBGE, adaptado SFB, 2016.....	47
Figura 14. Distribuição do desmatamento no Cerrado entre os anos de 2002 a 2009. Fonte: SANO et., al. (2007).....	49
Figura 15. Perfil esquemático das principais fitofisionomias do bioma Cerrado apresenta as principais fitofisionomias do Cerrado. Fonte: RIBEIRO; WALTER (2001).....	51
Figura 16. Fitofisionomias das formações florestais do bioma Cerrado: A - Mata Ciliar; B – Mata de Galeria; C – Mata Seca e D – Cerradão. Fonte: EMBRAPA, 2017.	52
Figura 17. Fitofisionomias das formações savânicas do bioma Cerrado: A – Sensus Stricto; B – Parque de Cerrado; C – Palmeiral e D – Veredas. Fonte: CULTURA MIX, 2017.	53

Figura 18. Fitofisionomias das formações campestres do bioma Cerrado: A – Campo Limpo; B – Campo Sujo; C e D – Campo Rupestre. Fonte: EMBRAPA, 2017.....	54
Figura 19. Categorias das UC e suas subdivisões no Brasil. Fonte: SFB, 2017.	59
Figura 20. Fitofisionomias de Cerrado no PNNRP. Elaborado por: Cristian Epifânio Toledo, 2017.	59
Figura 21. Usos do solo presente no PNNRP. Elaborado por: Cristian Epifânio Toledo, 2017.	60
Figura 22. Uso da área do PNNRP para Pastagem extensiva (A) Incêndios no PARNA (B). Fonte: ICMBio, 2014.	61
Figura 23. Localização geográfica do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Elaborado por Cristian Epifânio Toledo, 2017.	78
Figura 24. Precipitação mensal (mm) durante o período de estudo. Fonte: INMET, 2017.	81
Figura 25. Aspecto fisionômico de cerrado Sensus Stricto no PNNRP. Fonte: Autor, 2016.	82
Figura 26. Aspecto fisionômico de Cerradão no PNNRP. Fonte: Autor, 2016.	83
Figura 27. Representação esquemática do sistema de coleta adotado no estudo. Elaborado por: Laécio Miranda Cunha, 2017.	84
Figura 28 a-b. Percentual de umidade do solo sob diferentes fitofisionomia do Cerrado no PNNRP: a - umidade do solo em profundidade de 0.00 – 0.05 e b – umidade do solo de 0.05 – 0.10 cm de profundidade. CE – Cerradão; SS – Sensus Stricto.* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.	91
Figura 29. Densidade do solo sob diferentes fitofisionomia do Cerrado no PNNRP, em profundidade de 0.00 – 0.10. * CE – Cerradão; SS – Sensus Stricto.* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	92
Figura 30. Localização geográfica do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Elaborado por Cristian Epifânio Toledo, 2017.	102
Figura 31. Precipitação mensal (mm) durante o período de estudo. Fonte: INMET, 2017....	105
Figura 32. Aspecto fisionômico de cerrado Sensus Stricto no PNNRP. Fonte: Autor, 2016.	106
Figura 33. Aspecto fisionômico de Cerradão no PNNRP. Fonte: Autor, 2016.	107
Figura 34. Representação esquemática do sistema de coleta adotado no estudo. Elaborado por: Laécio Miranda Cunha, 2017.	108
Figura 35 a-b. Matéria orgânica do solo sob diferentes fitofisionomia do Cerrado no PNNRP, em profundidade de 0.00 – 0.05 m e 0.00 - 0.10m. * CE – Cerradão; SS – Sensus Stricto. * As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.	110

Figura 36 a-b. Carbono orgânico total do solo sob diferentes fitofisionomia do Cerrado no PNNRP, em profundidade de 0.00 – 0.05 m e 0.00 - 0.10m. * CE – Cerradão; SS – Sensu Stricto. * As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.	111
Figura 37 a-b. Estoque de carbono do solo sob diferentes fitofisionomia do Cerrado no PNNRP, em profundidade de 0.00 – 0.05 m e 0.00 - 0.10m. * CE – Cerradão; SS – Sensu Stricto. * As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.	113
Figura 38. Taxa de sequestro de Carbono pelo solo no PNNRP, sob diferentes fitofisionomias.....	114
Figura 39. Fluxo de C do solo sob duas fitofisionomias do Cerrado no PNNRP.	115
Figura 40. Localização geográfica do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Elaborado por Cristian Epifânio Toledo, 2017.....	124
Figura 41. Precipitação mensal (mm) durante o período de estudo. Fonte: INMET, 2017...127	
Figura 42. Aspecto fisionômico de cerrado Sensu Stricto no PNNRP. Fonte: Autor, 2016. .128	
Figura 43. Aspecto fisionômico de Cerradão no PNNRP. Fonte: Autor, 2016.129	
Figura 44. Representação esquemática do sistema de gases na área de estudo. Elaborado por: Laécio Miranda Cunha, 2017.130	
Figura 45. Espacialização dos pontos de coleta de emissão dos gases de efeito estufa no PNNRP.....131	
Figura 46. Espacialização da emissão de CO ₂ no PNNRP sob fitofisionomias de Cerradão e Cerrado Sensu Stricto. Elaborado por: Cristian Epifânio Toledo, 2017.132	
Figura 47. Espacialização da emissão de CH ₄ no PNNRP sob fitofisionomias de Cerradão e Cerrado Sensu Stricto. Elaborado por: Cristian Epifânio Toledo, 2017.134	
Figura 48. Espacialização da emissão de N ₂ O no PNNRP sob fitofisionomias de Cerradão e Cerrado Sensu Stricto. Elaborado por: Cristian Epifânio Toledo, 2017.135	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Gases traços atmosféricos com potencial significativo para o aumento do efeito estufa.....	25
Tabela 2. Potencial de Aquecimento Global dos principais GEE.	29
Tabela 3. Porcentagem das áreas cobertas originalmente pelo bioma Cerrado no Brasil.	48
Tabela 4. Nível de acidez do solo sob diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado no PNNRP.....	86
Tabela 5. Bases trocáveis do solo sob duas fitofisionomias do bioma Cerrado no PNNRP...	87
Tabela 6. Riqueza de nutrientes do solo sob duas fitofisionomias do bioma Cerrado no PNNRP.....	88
Tabela 7. Material orgânico sob diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado no PNNRP.	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEPAC	Centro de Excelência e Pesquisa sobre Armazenamento de Carbono
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFCs	Clorofluorcarbonos
CIS	Carbono Inorgânico do Solo
CMOM	Carbono da Matéria Morta
CMOV	Matéria Orgânica Viva
COP	Conferência das parte
COS	Carbono Orgânico do Solo
COT	Carbono Orgânico Total
EMBRAPA	Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária
FBMC	Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas
GEE	Gases de Efeito Estufa
HFC	Hidrofluorcarboneto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MOS	Matéria Orgânica do Solo
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PARNA	Parque Nacional
PNNRP	Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba
SEMAR	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SFB	Serviço Brasileiro Florestal
UCs	Unidades de Conservação
UNEF	Unidade de Ensino Superior de Feira De Santana
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças Climática

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
C	Carbono
CH ₄	Metano
cm	Centímetros
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
eq/ano	Equivalente/ano
Gt	Giga tonelada
GtC/ano	Giga tonelada C ano
H ₂ O	Vapor D'água
m	Metro
Mg.ha ⁻¹	Mega grama por hectare
mL/m ³	Mililitro por Metro Cubico
ml/min.m ²	Milimetro por minuto por metro quadrado
mm	Milímetro
N ₂ O	Óxido Nitroso
O ₃	Ozônio
Pg	Pentagrama
Tg ano ⁻¹	Teragrama ano
Tg N/ano	Teragram de nitrogênio ano

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	20
2.1. Geral	22
2.2. Específicos	22
3. HIPÓTESES	22
4. JUSTIFICATIVA	23
5. REVISÃO DE LITERATURA	24
5.1. Mudanças Climáticas e Gases de Efeito Estufa	24
5.2. Gases de Efeito Estufa (GEE)	32
5.3. Sequestro de Carbono em Ecossistemas Terrestres	38
5.3.1 Panorama geral do sequestro de carbono	38
5.3.2 Sequestro ou emissão de carbono no solo	40
5.3.3 Sequestro de carbono sob florestas naturais	42
5.4. Dinâmica do C e sua relação com os atributos de qualidade do solo	44
5.5. Bioma Cerrado e sua caracterização fitofisionômica	47
5.5.1. Caracterização geográfica e estado de conservação	47
5.5.2. Caracterização fisionômica do bioma Cerrado	50
5.6. Estoque de carbono e Fluxo de CO ² em áreas de Cerrado	55
5.7. Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba e seu Estado de conservação	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
6. CAPÍTULO I. ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO SOLO SOB FITOFISIONOMIA DE CERRADO SENSU STRICTO E CERRADÃO NO PARQUE NACIONAL DAS NASCENTES DO RIO PARNAÍBA - PNNRP	74
6.1 RESUMO	74
6.2 ABSTRACT	75
6.3 INTRODUÇÃO	76
6.4 MATERIAL E MÉTODOS	78
6.4.1 Caracterização da área de estudo	78
6.4.2 Descrição das fitofisionomias amostradas	81
6.4.3 Delineamento amostral, tratamento e coleta de solo	83
6.4.4 Determinação dos atributos químicos do solo	84
6.4.5 Determinação dos atributos físicos do solo	85
6.4.6 Determinação das amostras	85
6.4.7 Análise estatística dos dados	85

6.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
6.5.1	Atributos químicos de qualidade do solo	86
6.5.2	Atributos físicos de qualidade do solo	91
6.6	CONCLUSÕES	93
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
7.	CAPITULO II. DINÂMICA DE CARBONO DO SOLO EM UNIDADE DE CONSERVAÇÃO DO CERRADO BRASILEIRO SOB DIFERENTES FITOFISIONOMIAS	98
7.1	RESUMO	98
7.2	ABSTRACT	99
7.3	INTRODUÇÃO	100
7.4	MATERIAL E MÉTODOS	102
7.4.1	Caracterização da área de estudo	102
7.4.2	Descrição das fitofisionomias amostradas	105
7.4.3	Delineamento amostral, tratamento e coleta de solo	107
7.1.1	Determinação do Carbono Orgânico Total (COT)	108
7.1.2	Determinação do Teor de Matéria Orgânica do Solo (MOS)	108
7.1.3	Determinação do Estoque de Carbono do Solo (EstC)	109
7.1.4	Determinação do Sequestro de Carbono do Solo	109
7.1.5	Determinação do Fluxo de Carbono do Solo	109
7.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	110
7.5.1	Teor de Matéria Orgânica do Solo (MOS)	110
7.5.2	Teor de Carbono Orgânico Total (COT)	111
7.5.3	Estoque de Carbono do Solo (EstC)	112
7.5.4	Taxa de Sequestro de Carbono e Fluxo de CO₂	113
7.6	CONCLUSÕES	116
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
8.	CAPITULO III. GASES DE EFEITO ESTUFA DOB FITOFISIONOMIAS DO CERRADO NO PARQUE NACIONAL DAS NASCENTES DO RIO PARNAÍBA - PNNRP	120
8.1	RESUMO	120
8.2	ABSTRACT	121
8.3	INTRODUÇÃO	122
8.4	MATERIAL E MÉTODOS	124
8.4.1	Caracterização da área de estudo	124
8.4.2	Descrição das fitofisionomias amostradas	127
8.4.3	Delineamento amostral e tratamento	129

8.4.4	Medição das Emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE)	130
8.4.5	Espacialização do comportamento dos gases em cada fitofisionomia	130
8.4.6	Determinação do Índice Vegetal por Diferença Normalizada (NDVI)	131
8.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	131
8.6	CONCLUSÃO	137
8.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	138
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139

GASES DO EFEITO ESTUFA E DINÂMICA DO CARBONO SOB FITOFISIONOMIAS DO CERRADO NO PARQUE NACIONAL DAS NASCENTES DO RIO PARNAÍBA – PNNRP

1. INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos, vários estudos veem demonstrando que o aquecimento global e as mudanças climáticas são, dentre os problemas ambientais, um dos mais relevantes e merecedores de atenção especial, a fim de que se possam encontrar os caminhos para a redução das emissões dos gases do efeito estufa (GEE) e consequentemente minimizar a intensificação do fenômeno. Perspectiva elencada como um desafio mundial para mitigar tais emissões (SERON, 2013).

Escobar (2008) destaca que o efeito estufa é um mecanismo natural de aquecimento da atmosfera, responsável por manter a temperatura média do planeta em níveis adequados para a existência dos seres vivos. Entretanto, conforme a crescente geração de impactos ambientais, o homem, através da realização de atividades industriais, consumo de combustíveis fósseis, redução de florestas nativas e da adoção de práticas agrícolas intensivas, é o principal responsável por intensificar tal fenômeno (VIEIRA et al., 2010). O processo de intensificação do efeito estufa é evidenciado sobretudo pelo aumento das concentrações atmosféricas dos três principais gases de efeito estufa, o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), aumentados rapidamente nos últimos anos (ALCADE, 2011).

Dos GEE emitidos pelas atividades humanas, o CO_2 apresenta a maior contribuição relativa. Entre os anos de 2002 a 2004, das emissões totais dos gases, o dióxido de carbono foi responsável por aproximadamente 80% do forçamento radiativo, enquanto que o metano e óxido nitroso foram responsáveis por 14% e 8% respectivamente (em termos equivalentes ao CO_2). Conforme o IPCC, 31% das emissões totais destes gases em 2004, eram provenientes principalmente das mudanças de usos da terra, incluindo produtividade agrícola e redução de florestas (IPCC, 2007). Este percentual vem aumentando ao longo dos anos, visto que em 2012 as emissões provenientes ao setor de mudanças no uso da terra e florestas aumentaram de forma significativa principalmente no Bioma Cerrado desde o ano de 2004 (BRASIL, 2014).

Segundo o IPCC (2007), além do aumento das concentrações atmosféricas do CO₂ pelas mudanças de uso do solo, é muito provável que o aumento observado nas concentrações de CH₄ seja predominantemente devido à agricultura e à utilização dos combustíveis fósseis. Porém, as taxas de aumento de metano têm declinado desde o início da década de 1990, consistente com as emissões totais (soma das fontes naturais e antropogênicas) sendo quase constantes durante este período. Por outro lado, o aumento na concentração de N₂O é, em primeiro lugar, devido à agricultura, sendo que os solos representam a maior fonte de N₂O, contribuindo com aproximadamente dois terços (6-7 Tg N/ano) das emissões naturais (BOUWMAN et al., 1993). Além do destaque do CO₂ para o fenômeno efeito estufa, atualmente é crescente o interesse em compreender e quantificar os fluxos de CH₄ e N₂O em ecossistemas terrestres, dados a importância que estes gases têm sobre as mudanças climáticas (TIAN et al, 2010). Assim, destaca-se que o Potencial de Aquecimento Global (PAG) de N₂O e CH₄ é de 298 a 25 vezes maior respectivamente do que a de CO₂ (IPCC, 2007).

O efeito dos diferentes sistemas de produção e manejo, em relação ao balanço das emissões de GEE em unidades de CO₂ equivalente, expresso pelo PAG, depende não somente da captura de C na MOS, mas também no fluxo N₂O e de CH₄ do solo (ROBERTSON et al. 2000), além dos custos em CO₂ das práticas de manejo e usos da terra (LAL, 2004). Porém, poucos estudos veem sendo desenvolvidos para relatar as taxas de emissões e sequestros dos três GEE de forma conjunta e por prolongados períodos de investigação (SNYDER et al., 2009), principalmente em áreas de floresta.

Embora sejam poucos e recentes os estudos sobre as emissões de GEE, a maioria destes, são realizados em sistemas de manejo e, sobretudo em solos de regiões temperadas, sendo escassos sobre áreas de florestas e ambientes conservados, principalmente sobre estas emissões em regiões subtropicais e tropicais (ESCOBAR et al., 2010). Nessa perspectiva, buscam-se ainda mais estudos sobre os GEE em regiões tropicais, principalmente em áreas florestais e ambientes conservados em áreas de Cerrado brasileiro. Dentro desse contexto, o estudo objetivou quantificar a emissão dos gases de efeito estufa sob diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, assim como verificar os atributos de qualidade químicos e físicos do solo e o comportamento da dinâmica do carbono

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

- ✓ Quantificar a emissão dos gases de efeito estufa sob diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, assim como verificar os atributos de qualidade químicos e físicos do solo e o comportamento da dinâmica do carbono.

2.2. Específicos

- ✓ Medir a emissão do Gás Carbônico (CO_2), Metano (CH_4) e Óxido Nitroso (N_2O) presentes no solo;
- ✓ Quantificar os teores de matéria orgânica do solo nas diferentes fitofisionomias;
- ✓ Calcular a taxa de sequestro de carbono do solo nas diferentes fitofisionomias;
- ✓ Espacializar a taxa de emissão de Gás Carbônico (CO_2), Metano (CH_4) e Óxido Nitroso (N_2O) nas diferentes fitofisionomias;
- ✓ Analisar os atributos químicos e físicos do solo nas diferentes fitofisionomias.
- ✓

3. HIPÓTESES

- I) O PNNRP funciona como importante minimizador da emissão de GEEs;
- II) O Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba é importante sumidouro de CO_2 do bioma Cerrado;
- III) O estoque de carbono do solo favorece a manutenção do equilíbrio da unidade de conservação;
- IV) Há significativas diferenças de sequestro de carbono do solo nas duas fitofisionomias estudadas.

4. JUSTIFICATIVA

O aquecimento do globo terrestre tem como viés teórico baseado no fenômeno do efeito estufa, fenômeno natural responsável por manter a terra aquecida em níveis adequados para manutenção da vida no planeta. No entanto, este fenômeno passou a ser motivo de preocupação desde 1957, quando estudos apontaram que as emissões principalmente de CO₂ e, outros gases contribuintes do processo do efeito estufa, estavam afetando a estabilidade da temperatura global.

Diante disso, diversas pesquisas passaram a compreender as alterações climáticas e conseqüentemente o aquecimento global, como sendo um dos problemas ambientais mais significativos, e motivadores de atenção dos últimos tempos, objetivando desenvolver alternativas que contribuíssem para a redução das emissões dos gases que passaram afetar a temperatura do planeta.

A partir de então, muitas conferências foram realizadas visando encontrar medidas de mitigação da problemática e, vários tratados assinados, pelas grandes potências mundiais. Um deles, diz respeito ao Protocolo de Montreal, assinado em 1987, pautado no objetivo de eliminar a utilização dos clorofluorcarbonos (CFCs) nas industriais de todos os países, e outro importante tratado corresponde ao Protocolo de Kyoto, estabelecido durante a terceira reunião da Conferência das Partes, vinculada a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – UNFCCC. Neste protocolo ficou definido um termo de compromisso para redução das emissões anuais dos gases de efeito estufa, referente ao período de 2008 a 2012, que foi assinado por 38 países, embora tenha gerado grande discussão sobre todos eles.

No entanto, apesar de toda essa discussão voltada para a redução dos gases de efeito estufa (GEE), a problemática vem se destacando ao longo dos anos, e se tornando um problema importante para as metas de redução, visto que existem inúmeras fontes de gases de efeito estufa no mundo, variando entre as induzidas por processos industriais e tecnológicos e as provenientes de processos naturais ocorridos nos vastos ecossistemas.

No Brasil, a queima de combustíveis fósseis, emissão por processos industriais e a conversão de ecossistemas naturais em agroecossistemas, estão entre as principais fontes de emissão dos GEE. Assim, embora as emissões pela queima de combustíveis fósseis representem a fonte mais contribuinte destas

emissões no país, nas últimas décadas, um grande destaque está sendo atribuído aos processos de mudanças de uso da terra e a sua contribuição para toda essa problemática, tendo em vista tanto o potencial de emissão realizada por estes processos quanto à capacidade de dreno destes gases pelos ecossistemas terrestres.

Por esse motivo, estudos veem sendo realizados, em diferentes regiões no país, acerca da real contribuição dos ecossistemas naturais sobre a problemática do aquecimento global, sendo realizados em sua maioria sob as áreas e biomas da região Norte, Sul e Centro Oeste do Brasil. Na região Nordeste, estudos como estes ainda estão sendo escassos, embora parte de suas área seja coberta por vegetação de Cerrado, considerado o segundo maior bioma brasileiro e, alvo da grande expansão da fronteira agrícola nos últimos tempos, requerendo maior atenção sobre todo esse contexto. Além disso, nessa região de Cerrado nordestino está situada a maior Unidade de Conservação de Proteção Integral do bioma, o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba – PNNRP, responsável por abrigar grande diversidade biológica do país, podendo exercer grande contribuição nas reduções dos GEE no país, somados aos demais biomas brasileiros.

5. REVISÃO DE LITERATURA

5.1. Mudanças Climáticas e Gases de Efeito Estufa

Naturalmente, a terra é aquecida pela radiação proveniente do espectro solar emitida sobre a superfície terrestre em forma de ondas curtas, permitindo a existência da vida no planeta. Este processo ocorre essencialmente pela absorção de uma parte da radiação incidente sobre a superfície e sua transformação em calor, entretanto, outra parte é emitida para o espaço em ondas de comprimento mais longo, em forma de radiação infravermelha. O fenômeno ocorre quando a radiação solar refletida pela superfície terrestre é absorvida por determinados gases denominados gases de efeito estufa (GEE) presentes na atmosfera. Como consequência disso, a radiação infravermelha fica retida na baixa atmosfera promovendo a elevação da temperatura do planeta (HOUGHTON, 2005).

O aumento considerável das concentrações dos GEE na atmosfera como o gás carbônico (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), devido a atividades

antropogênicas, têm levado a um impacto no balanço de entrada e saída da radiação solar do planeta, proporcionando o aquecimento da superfície terrestre (LAL et al., 1995) o que ao longo dos anos, transformou-se no alarmante aquecimento global. Esse aumento das concentrações dos GEE na atmosfera ocorre pelas emissões feitas por todos os países do mundo, independentemente do seu nível industrial e tecnológico (C&T BRASIL, 2006) e podem ser evidenciadas por diversas atividades antrópicas e naturais, como é o caso do consumo e queima de combustíveis fósseis, redução de florestas nativas e da adoção de práticas agrícolas intensivas (VIEIRA et al., 2010).

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC (2013) o CO_2 , CH_4 e N_2O são GEE de longa vida, quimicamente estáveis e podem permanecer na atmosfera durante grandes escalas de tempo, isso considerando anos, décadas e até mesmo séculos, de modo que suas emissões em grandes concentrações influenciam o clima em longo prazo. Além disso, as concentrações mundiais destes gases têm aumento consideravelmente por efeito das atividades humanas desde 1750, e estão atualmente muito superiores aos valores pré-industriais. Em um de seus relatórios, o IPCC reafirma as evidências de que as ações antrópicas são responsáveis pelo aquecimento mundial de $0,74^\circ\text{C}$, observado, sobretudo no último século (IPCC, 2006). Na tabela 1 é possível verificar as principais atividades antrópicas responsáveis pela emissão dos gases de efeito estufa, tempo de permanência e taxa atual de acréscimo desses gases na atmosfera.

Tabela 1. Gases traços atmosféricos com potencial significativo para o aumento do efeito estufa.

GEE*	CO_2^*	CH_4^*	N_2O^*	CFCs*	O_3^*	CO^*	H_2O^*
Principal fonte antrópica	Combustíveis fósseis, desmatamento	Cultivo de arroz inundado, pecuária, Combustíveis fósseis, e queima de biomassa	Fertilizantes, conversão de uso da terra	Processos industriais, refrigeradores, aerossóis	Hidrocarbonetos, queima de biomassa	Combustíveis fósseis, e queima de biomassa	Conversão de uso da terra, irrigação
Taxa de vida na	50-200 anos	10 anos	150 anos	60-100 anos	Semanas	Meses	Dias

atmosfera	meses						
Taxa anual de aumento	0,9%	0,5%	0,3%	4%	0,5-2,0%	0,7-1,05%	-
Contribuição relativa ao efeito estufa antrópico	60%	15%	5%	12%	8%	-	-

*GEE- Gases de efeito estufa; CO₂ – Dióxido de carbono; CH₄ – Metano; N₂O – Óxido Nitroso; Clorofluorcarbonetos; O₃ – Ozônio; CO – Monóxido de Carbono; H₂O – Vapor d'água. Fonte: Adaptado de KRUPA, 1997.

Além da diferença entre as taxas de permanência na atmosfera e aumento anual, cada tipo de gás com potencial de efeito estufa absorve e emite radiação em bandas específicas do espectro, mas o saldo entre o que é absorvido e emitido é limitado e diferente para cada gás (MOSS et al., 1993). Conforme o aumento da altitude na troposfera, a temperatura diminui, de modo que o calor associado com a radiação que é emitida em altitudes elevadas é menor do que o calor associado com a radiação emitida em altitudes mais baixas. Com a maior concentração de GEE na troposfera, a radiação emitida da superfície é mais absorvida nessa camada da atmosfera, fazendo com que a radiação não chegue com a mesma intensidade na atmosfera superior, que fica mais fria (SOLOMON et al., 2007).

MOSS et al., (2000), afirmam que até 2030 a temperatura do planeta terá aumentado entre 0,5 °C e 2,5 °C, enquanto que para o painel das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC), a temperatura poderá aumentar 4,0 °C até 2100 (IPCC, 2014) no cenário mais pessimista. Todo esse aumento da temperatura global deverá resultar em uma elevação média do nível do mar que poderá ocorrer de 26 a 27 cm até 2030 (MOSS et al., 2000). Este aumento do nível do mar é principalmente um resultado da expansão térmica da água dos oceanos e do derretimento do Ártico e da Antártica. A figura 1 ilustra através das imagens estilizadas a magnitude da elevação e estabilização da temperatura global e do nível do mar.

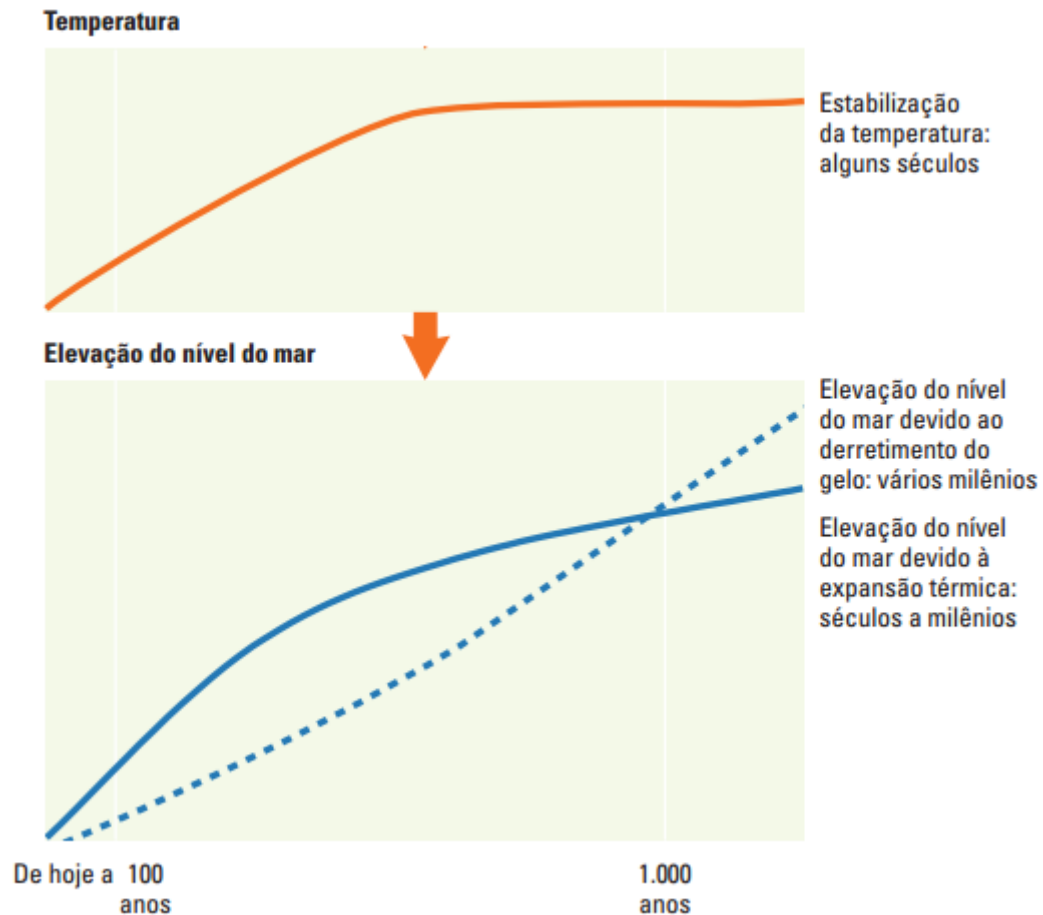


Figura 1. Elevação da temperatura global e do nível do mar em relação associado às altas concentrações dos gases de efeito estufa. Fonte: IPCC, 2001.

A figura 1 busca demonstrar que o sistema climático exibe uma inércia substancial quanto às concentrações e elevação da temperatura acerca dos GEE, principalmente o CO₂. Para este modelo, quando as concentrações atingem certos limites na atmosfera, elas dificultam as reduções de emissões, considerando o fato de que os GEE permanecem na atmosfera durante décadas ou até mesmo durante séculos. Assim, uma redução nas emissões dos GEE poderá levar muito tempo para alterar as concentrações dos gases já presentes na atmosfera. Já as temperaturas retardam as concentrações, e assim as temperaturas continuarão a aumentar por alguns séculos mesmo depois que as concentrações estiverem estabilizadas, enquanto o nível do mar retarda as reduções de temperaturas (IPCC, 2001).

Para Solomon et al. (2007) a taxa de acréscimo da temperatura da superfície terrestre se situará em 0,27 °C por década, e do oceano, 0,13 °C por década, tendo como consequências o aumento no vapor d'água atmosférico, derretimento das geleiras, redução da cobertura de neve nos Hemisférios Norte e Sul, e uma redução significativa na extensão do mar de gelo do Ártico. E chama a atenção para o fato do aumento significativo da temperatura de 0,74°C entre o período de 1906 a 2005. Toda essa problemática atual envolvendo o efeito estufa decorre dos fatos ocorridos marcadamente depois da revolução industrial. Nesse período, a queima de combustíveis fósseis para a geração de energia ou transporte e outras atividades humanas, tais como derrubada e queima de florestas, para ocupação e cultivo dos solos, passaram a liberar uma quantidade muito grande de GEE (Figura 2), causando o aquecimento do planeta e a as temidas variações climáticas (POLWSON, 2005).

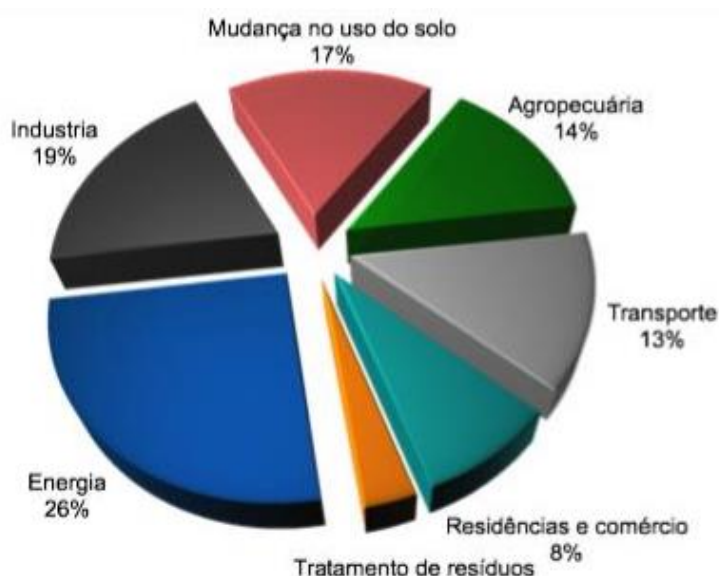


Figura 2. Contribuição relativa de diferentes setores nas emissões antrópicas mundiais de GEE (em CO₂ equivalente). Fonte: IPCC, 2013.

Embora as maiores partes dos GEE que contribuem para este fenômeno encontram-se presentes na atmosfera em resultado de processos naturais: vapor de água, dióxido de carbono, metano e óxido nitroso (BARBOSA et al., 2013), as atividades antropogênicas têm contribuído para a intensificação do efeito estufa de forma significativa, podendo se correlacionar com as alterações ocorridas sobre as temperaturas globais. No entanto, para cada gás de efeito estufa o potencial de aquecimento global é diferenciado (Tabela 2), e compreender o seu PAG é fundamental para propor medidas de mitigação destes gases.

Tabela 2. Potencial de Aquecimento Global dos principais GEE.

Poluentes	Tempo de vida em anos	Potencial de Aquecimento Global (PAG)		
		20 anos	100 anos	500 anos
CO ₂	~ 150	1	1	1
CH ₄	12	21	16	7
N ₂ O	144	310	296	156
HFC-134a	~14	3300	1300	400

Fonte: Adaptado de IPCC, 2007.

Conforme a UNFCCC (2006) nos países com alto grau de industrialização, as maiores fontes de GEE correspondem à queima de combustíveis fósseis nas indústrias, transportes e na geração de energia. Entretanto, no Brasil, em função de uma matriz energética renovável, com geração hidrelétrica de energia e combustíveis em boa parte provenientes de biomassa (etanol), a mudança do uso da terra entre os anos de 2005 a 2010, se posicionou como o principal vetor de GEE para a atmosfera (Figura 3).

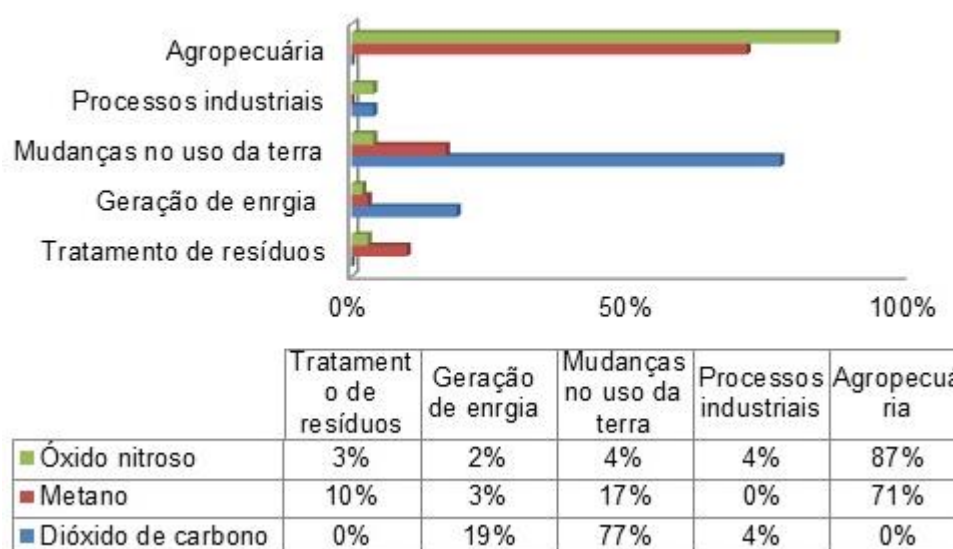


Figura 3. Contribuição relativa de diferentes setores nas emissões antrópicas de gases de efeito estufa no Brasil. Fonte: NASSAR et al., 2010 (Adaptado).

Tonato et al. (2014) destaca que por mudança no uso da terra, se entende tanto a abertura de novas áreas de floresta para uso na produção agrícola ou pecuária, como a conversão de áreas já destinadas à pecuária para o uso agrícola, ou vice e versa. Deste modo, tanto o CO₂ gerado na queima das florestas, como o CH₄ e N₂O oriundos da decomposição da matéria orgânica, seja das áreas recém-abertas, ou das áreas em produção mudando a finalidade de uso, são computados na quantificação das emissões.

O quarto relatório do IPCC (2007) relata que as conversões de ecossistemas nativos para agrossistemas contribuem atualmente, com aproximadamente 24% das emissões mundiais de CO₂, 55% das emissões de CH₄ e 85% das emissões de N₂O para atmosfera. CERRI et al., (2012) utilizando a metodologia *Climatic Analysis Indicator Tool* apresentaram dados para o Brasil em que as emissões de GEE oriundas da mudança de uso da terra e da agropecuária são relativamente bem mais acentuadas, representando aproximadamente 75, 91 e 94% do total das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente. Entretanto, conforme dados divulgados pelo Relatório de estimativas anuais das emissões dos GEE (2014), os percentuais de emissões anuais de CO₂ foram bem maiores dos que apontados pelo modelo de Cerri et al. (2012), e relativamente inferiores quanto aos percentuais das emissões de CH₄ e N₂O apontados pro eles (Figura 4).

Contribuição de cada gás (em CO₂eq) para o setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas, em 2012

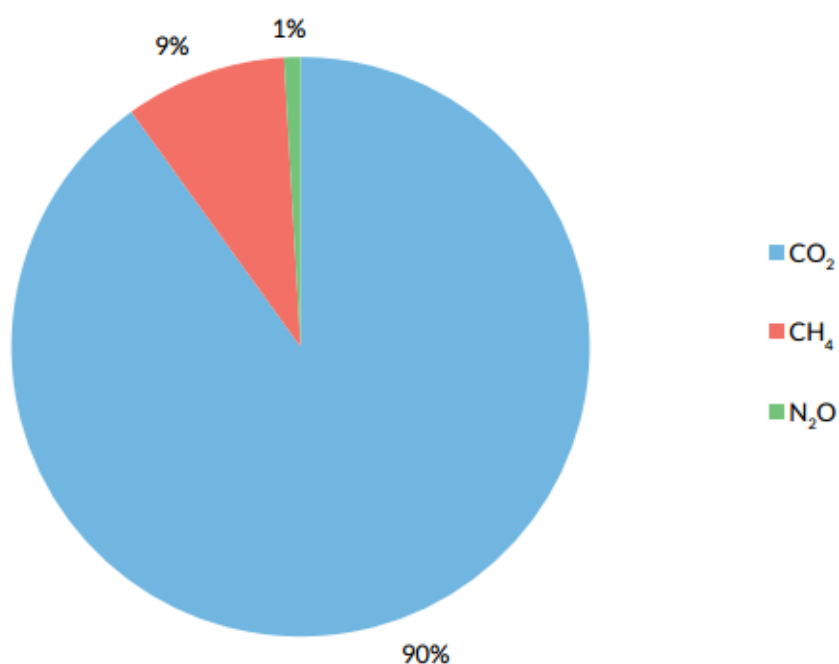


Figura 4. Contribuição dos GEE no setor mudança no uso da terra em agroecossistemas em 2012. Fonte: MCTI, 2014.

Dos GEE emitidos pelas atividades humanas, o CO₂ apresenta a maior contribuição relativa. Entre os anos de 2002 a 2004, das emissões totais dos gases, o dióxido de carbono foi responsável por aproximadamente 80% do forçamento radiativo, enquanto que o metano e óxido nitroso foram responsáveis por 14% e 8% respectivamente (em termos equivalentes ao CO₂). Conforme o IPCC, 31% das emissões totais destes gases em 2004, eram provenientes principalmente das mudanças de usos da terra, incluindo produtividade agrícola e redução de florestas (IPCC, 2007). Este percentual vem aumentando ao longo dos anos, visto que em 2012 as emissões provenientes ao setor de mudanças no uso da terra e florestas aumentaram de forma significativa principalmente no Bioma Cerrado desde o ano de 2004 (BRASIL, 2014).

Além disso, associado ao aumento das temperaturas médias globais e a influência do CO₂ sobre as mudanças climáticas deve-se considerar os efeitos diretos do enriquecimento do CO₂ atmosférico sobre a biosfera (Tian et al, 1999). Neste contexto, é importante considerar que a magnitude e as taxas das mudanças climáticas é que vão determinar a sensibilidade, adaptabilidade e vulnerabilidade do sistema climático (HOUGHTON, 1997). Vitousek et al. (1997) pontuaram que as taxas e escalas que tais mudanças estão ocorrendo são bem maiores em relação aquelas que ocorreram no passado, numa velocidade que não nos permite entendê-las suficientemente e que a atmosfera não consegue se adaptar.

A partir da problemática da emissão dos gases de efeito estufa para atmosfera, que na décima quinta conferência entre as partes COP-15 em Copenhague (2009) o governo brasileiro assumiu metas voluntárias de redução nas emissões de GEE. Entre as atividades propostas está a redução no desmatamento da Amazônia e do Cerrado, que representa aproximadamente 70% do total das metas, além da recuperação de pastagens degradadas e da adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária, que representa aproximadamente 12% desse total. Mais ainda, se propõe um aumento no uso da fixação biológica de nitrogênio e do plantio direto (BRASIL, 2010).

Desta maneira, das metas de redução dos GEE que o Brasil propôs as atenções voltam-se principalmente para a agropecuária e a mudança no uso do solo, considerando que estas são dentre muitas importantes fontes de emissão dos

GEE. Assim, o destaque atribuído a essas atividades busca incentivar a adoção de práticas conservacionistas do uso do solo em todo o país, no intuito de manter o C do solo em equilíbrio e consequentemente estocado nos ecossistemas terrestres, reduzindo a sua emissão e a dos demais GEE para atmosfera.

5.2. Gases de Efeito Estufa (GEE)

Nas ultimas décadas, a preocupação mundial quanto às mudanças do clima do planeta tem crescido em grande escala, decorrentes, principalmente, pelo aumento das emissões de dióxido de carbono (CO_2) e outros GEE, como o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) (CARVALHO et al., 2010). Toda essa preocupação está relacionada ao processo de intensificação do efeito estufa, fenômeno físico ligado a estes gases muito antes do aparecimento do homem na terra.

Estes gases são substâncias gasosas presentes na atmosfera que naturalmente absorvem parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre para o espaço, dificultando o seu escape. Assim, esse mecanismo impede que ocorra uma perda demasiada de calor para o espaço, mantendo a Terra aquecida. Sendo considerado nos últimos anos um grande problema para a população mundial (VIEIRA et al., 2010).

Na atmosfera, o vapor d'água está presente em elevadas concentrações e apresenta um potencial de contribuição para o efeito estufa natural de 80% enquanto em escala natural o CO_2 , N_2O e CH_4 representam contribuição equivalente aos 20% restantes (SMITH et al., 2003). Mesmo estando disponíveis naturalmente em ecossistemas, as concentrações destes gases tem aumentado com o passar do tempo por conta das atividades agrícolas e mudanças no uso da terra, elevando a presença destes na atmosfera terrestre e promovendo o aquecimento do planeta. Além disso, potencialmente o efeito estufa pode ter consequências sérias para a vida na terra futuramente podendo seu efeito causar grande impacto sobre a biodiversidade e ecossistemas do mundo inteiro (SANTOS, 2012).

No contexto das mudanças climáticas todos os GEE são significativos, no entanto cada um possuem o seu potencial de aquecimento global e seu destaque quanto à taxa de redução ou emissões mundiais. Dentre os gases de importância para o fenômeno destaca-se o CO_2 com relevância indiscutível para o cenário das mudanças climáticas (MARTINS et al., 2003). O gás é um dos compostos lançados

na atmosfera por atividade antrópica, sendo produzido em todas as partes do planeta, principalmente pela queima de combustíveis derivados do petróleo, pela produção de cimento, mudanças e processos de uso da terra, incluindo desmatamentos e queimadas, responsável por grande parte destas emissões (C&T BRASIL, 2006).

Os reservatórios de CO₂ na atmosfera, litosfera e oceanos são extremamente grandes. O movimento contínuo do CO₂ entre estes reservatórios são bidirecionais e quase em balanço, o que faz com que as estimativas das trocas gasosas sejam relativamente complicadas (MARTINS et al., 2003). A figura 5 ilustra estimativas de quantidades aproximadas contidas em cada ambiente e os fluxos anuais (GtC/ano) entre os mesmos.

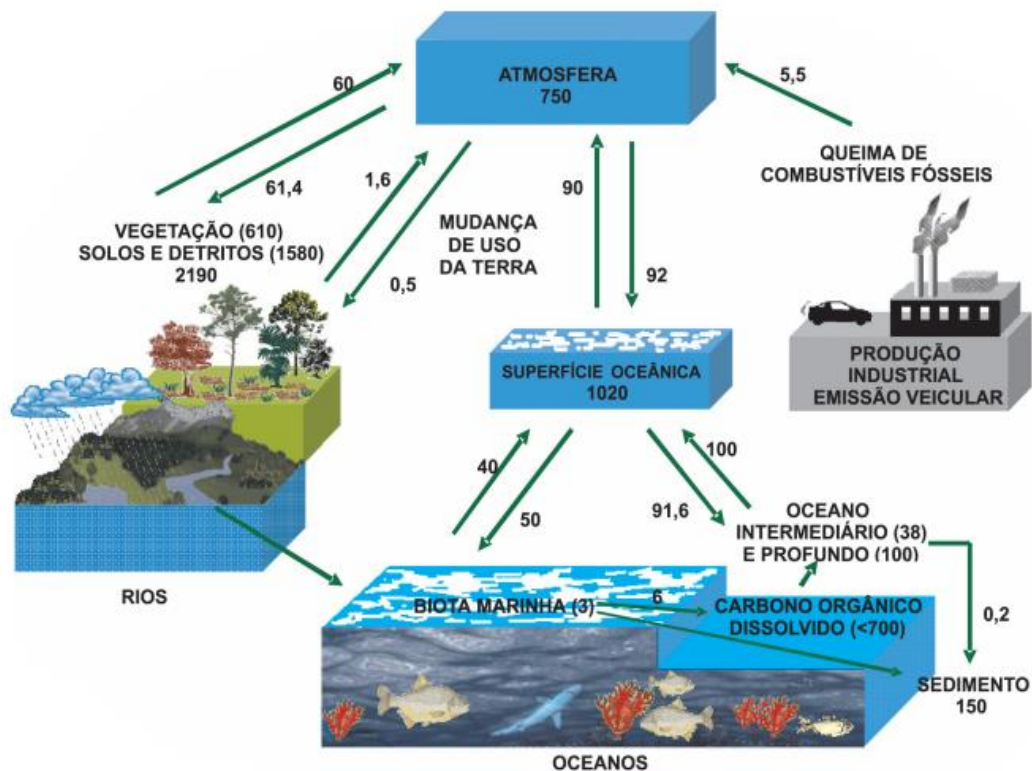


Figura 5. Fluxo e quantidades de CO₂ nos diferentes compartimentos. Fonte: Martins et al. (2003).

Conforme a imagem as trocas de CO₂ entre a atmosfera e a biosfera terrestre ocorrem principalmente através da fotossíntese e a respiração por plantas. Desta forma, parte do CO₂ é absorvido e outra parte é reemitido para atmosfera, tendo grande importância na dinâmica do fenômeno. Enquanto a fixação de CO₂ em ambientes terrestres ocorre por meio dos vegetais, a reversão deste processo ocorre

devido à decomposição biológica, liberando esse gás para a atmosfera (MARTINS et al., 2003). No entanto o principal processo de renovação do dióxido de carbono é a absorção pelos oceanos e pela vegetação, especialmente as florestas.

Além das demais fontes de armazenagem de carbono, os solos são importantes reservatórios de carbono ativo e orgânico, e desempenham um importante papel no ciclo do carbono global (Figura 6). Entretanto, algumas práticas ligadas à conversão de ambientes naturais em agroecossistemas promovem perdas significativas de carbono pelo solo, através de práticas voltadas ao desmatamento, exposição de solos a processos erosivos e compactação, e, por conseguinte à redução dos níveis de matéria orgânica no solo (SANTOS, 2012).

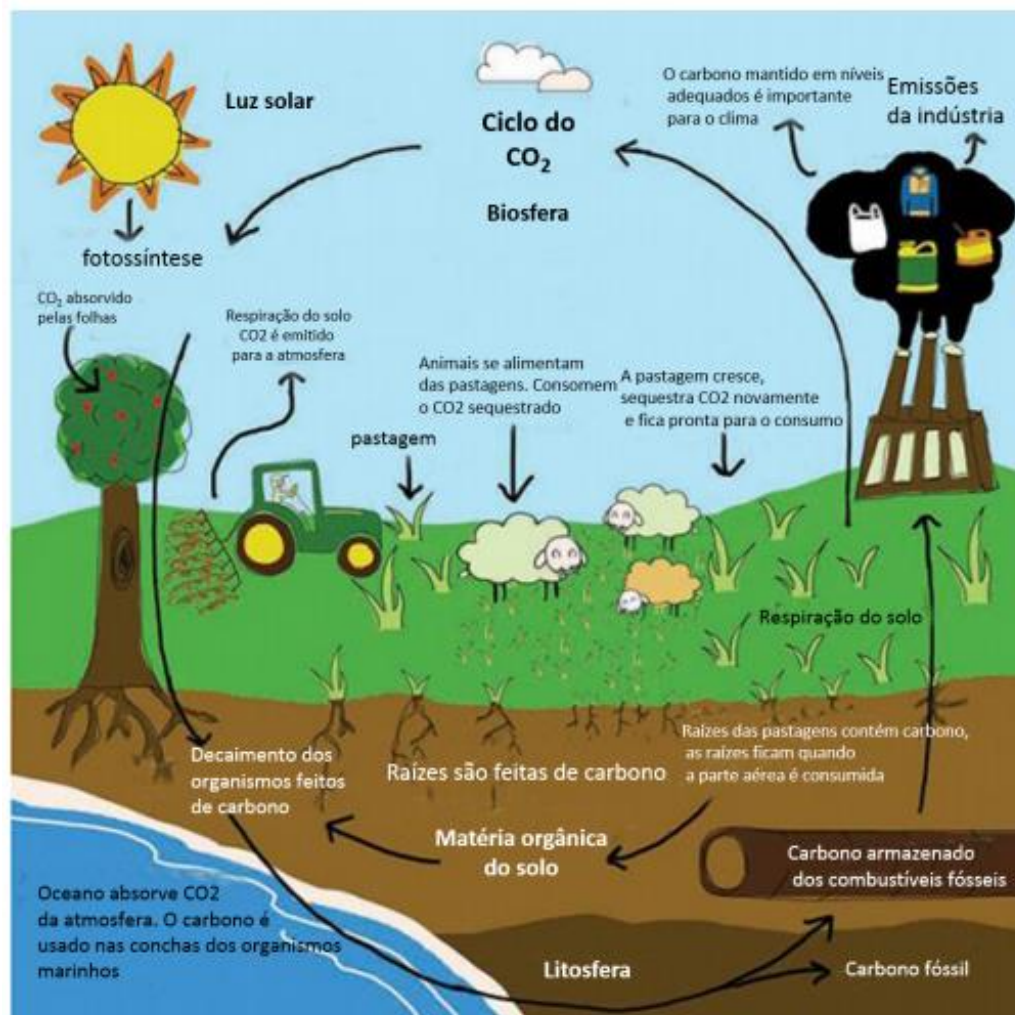


Figura 6. Representação do ciclo global do carbono. Fonte: BURGESS, 2017.

Eswaran, Van Den e Reich (1993) apontam que sob regiões de clima tropical, as condições climáticas favorecem a decomposição da Matéria Orgânica do Solo (MOS), armazenando menos C em relação a regiões de clima temperado. Porém, apesar dessa maior taxa de decomposição de MOS, os solos em regiões de clima tropical estocam 32 % do total de C orgânico contido nos solos do planeta. Contudo, apesar da MOS contribuir para o estoque de C, ao longo dos anos, a redução dos processos de decomposição tem contribuído com 78 Pg de emissões de C para a atmosfera na forma de CO_2 , (LAL, 2004), embora em estado de equilíbrio esses processos possam recuperar praticamente todo o C perdido em curto período de tempo. Desta forma, o uso e a cobertura do solo e sua manutenção da MOS, têm um papel fundamental no delineamento do C ambiente em escalas global, regional e local (SANTOS, 2012).

Somados ao CO_2 principal GEE em relação à escala de emissão, outros gases exercem grande influência para o efeito estufa atmosférico. Dentre eles o metano (CH_4) ocupa o terceiro lugar, em comparação ao N_2O e o CO_2 . A adição desse elemento à atmosfera contribui de maneira muito mais efetiva para o efeito estufa que a adição de uma mesma quantidade em massa ou número de moléculas de dióxido de carbono (WUEBBLES; HAYHOE, 2002).

Esse gás encontra-se presente em áreas naturais ou modificadas onde existe a presença da matéria orgânica em estado de decomposição, além de ser emitido por muitas fontes de origem antrópica, o que contribui severamente com o aumento da concentração global do CH_4 na atmosfera. Assim, dentre as diversas fontes antropogênicas de produção do metano, destaca-se o cultivo de arroz, a queima de biomassa, queima de combustíveis fósseis e a bovinocultura (VIEIRA et al., 2010). Sua concentração atmosférica permaneceu durante centenas de anos praticamente estável em cerca de 700 mL/m^3 até a aproximadamente 200 anos, quando começou a aumentar progressivamente para os valores médios atuais (1998) de 1700 mL/m^3 Relativamente (MARTINS et al., 2003).

Em termos químicos, a adição de um mol de CH_4 na atmosfera é aproximadamente 24 vezes mais efetiva na absorção de radiação infravermelha do que um mol de CO_2 . Por sua vez, em termos de massa, a adição na atmosfera de 1 kg de metano tem um efeito estufa sobre o clima 66 vezes mais potente que um quilograma de CO_2 . Em contrapartida o tempo de vida do CO_2 na atmosfera seja da ordem de 50 a 200 anos, sendo bem maior que o tempo de vida do metano que é cerca de 12 anos (IPCC, 1996).

A tendência da concentração do metano na atmosfera é determinada pelo balanço entre suas fontes (Figura 7) e sumidouros, responsáveis pela sua razão de crescimento (SANTOS, 2012). Segundo informações publicadas pelo IPCC (2011) as emissões de CH_4 decorrente de atividades antrópicas, contribuem significativamente no total de metano emitido para a atmosfera, incluindo fontes biogênicas com uma produção de 275 Tg ano^{-1} e emissões relacionadas a combustíveis fósseis com aproximadamente 103 Tg ano^{-1} , enquanto que o total das fontes naturais é de aproximadamente 160 Tg ano^{-1} , totalizando aproximadamente 535 Tg ano^{-1} .

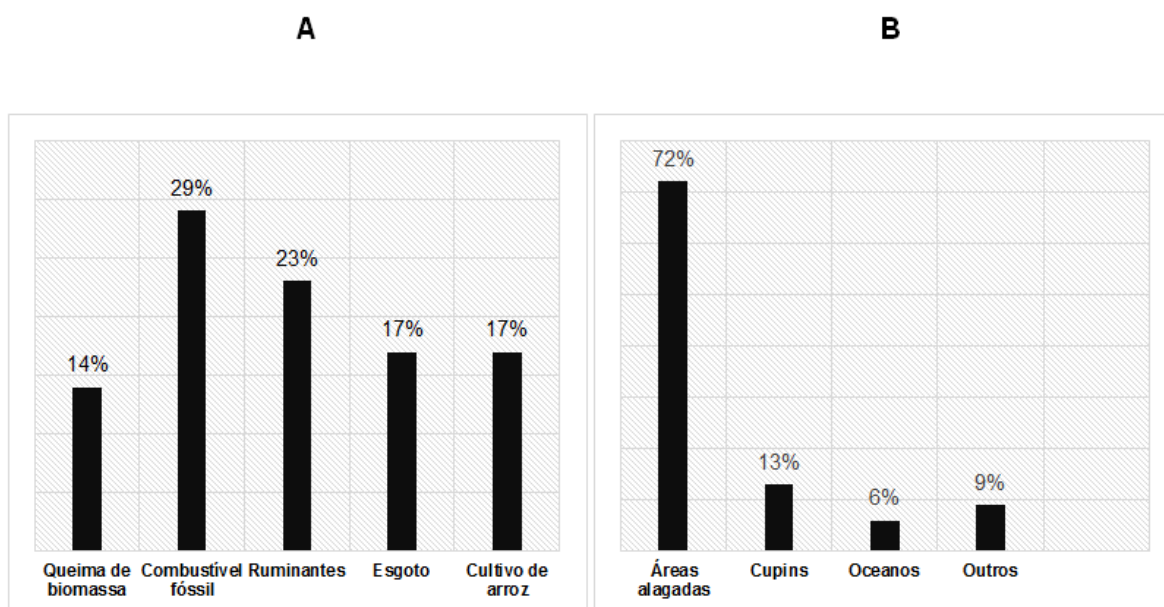


Figura 7. Contribuições de fontes para emissão total de metano, fontes antropogênicas (A) e fontes naturais (B). Adaptado de Khalil (2000).

Diversos fatores são responsáveis pela magnitude das fontes de metano, como é o caso das atividades da população, a energia usada no meio, manejo agrícola, mudança no uso da terra, temperatura, precipitação e outras possíveis influências naturais ou antropogênicas ainda não bem explicadas (WUEBBLES; HAYHOE, 2002). Com isso, a maioria das estimativas demonstram alterações climáticas significativas futuramente, visto que as concentrações de metano são projetadas para continuar a subir até o próximo século (SANTOS, 2012). Esse fato tem relação direta com a existência de inúmeras fontes emissão do CH_4 e poucos sumidouros do referido gás. Assim, devido ao aumento de sua concentração na atmosfera, sua contribuição efetiva para as mudanças climáticas, aumentou 30%

desde 1860 (MITCHELL, 1989) correspondendo a cerca de 20% do efeito total observado (WUEBBLES; HAYHOE, 2002), estando em continuo aumento no decorrer dos anos.

Associado ao CO_2 e CH_4 , o óxido nitroso (N_2O) apresenta grande importância no processo de intensificação do efeito estufa, devido essencialmente a sua elevada capacidade de aquecimento e seu tempo de permanência na atmosfera determinado por sua conformação molecular (SANTOS, 2012). Esse gás possui um potencial de aquecimento global de 296 a 310 vezes superior ao do CO_2 (IPCC, 2007), e sua concentração atmosférica vem aumentando no decorrer dos anos.

O N_2O é liberado para a atmosfera predominantemente do solo e da água, sendo os solos tropicais, provavelmente, as mais importantes fontes naturais deste gás (MARTINS et al., 2003). No ambiente, é possível encontrar este gás em vários ecossistemas naturais, incluindo solos florestais, das savanas, e dos campos, enquanto que suas fontes antrópicas correspondem a resíduos provenientes de material vegetal, queima de resíduos e combustíveis fósseis, agroquímicos a base de nitrogênio, áreas agrícolas e dejetos de animais (FORSTER et al., 2007). No entanto, o crescente aumento desse gás na atmosfera ocorre principalmente por conta das atividades antrópicas (desmatamento, uso de combustíveis fósseis, queima de biomassa etc.), que passaram a contribuir significativamente para o aquecimento global a partir do início da era industrial (IPCC, 2007), caracterizando-se como efeito estufa antropogênico.

O problema se torna ainda mais alarmante considerando o fato de existirem inúmeras fontes de emissão do N_2O e apenas um sumidouro: a estratosfera. Nela a concentração do óxido nitroso diminui com a altura, estabelecendo um gradiente vertical na sua taxa de mistura. Assim, uma fração de N_2O emitido na superfície sofre decomposição, principalmente por fotólise ultravioleta (MARINHO, 1993) reduzindo a sua concentração na atmosfera.

Deste modo, para estabilizar as concentrações atuais o IPCC estimou uma imediata redução de aproximadamente 70-80% da produção de óxido nitroso proveniente de fontes antropogênicas para minimizar o impacto desse gás ao efeito estufa (VIEIRA et al., 2010).

5.3. Sequestro de Carbono em Ecossistemas Terrestres

5.3.1 Panorama geral do sequestro de carbono

A elevação das concentrações do CO₂ na atmosfera tem se tornado uma preocupação mundial para os governantes, cientistas e para sociedade, por se tratar de um dos principais constituintes atmosféricos responsáveis por intensificar o efeito estufa e promover mudanças na temperatura global. Além disso, o aumento das concentrações deste gás na atmosfera deve-se a diversos fatores, incluindo atividades antrópicas e alteração dos ecossistemas terrestres, o que contribui para a redução considerável da capacidade de armazenamento de carbono no solo e na biomassa vegetal (OLIVEIRA JÚNIOR, 2003).

Debates realizados em vários países e conferências tem destacado a problemática do CO₂ atmosférico em suas discussões, apontando o potencial de sequestro do gás em vários ecossistemas. Apesar de muito debatido ao longo das décadas passadas, a definição de sequestro de C só foi consagrada em 1997 durante a Conferência de Kyoto, objetivando conter ou mesmo reverter o acúmulo de CO₂ na atmosfera e consequentemente diminuir as alterações climáticas ocasionadas por ele (OLIVEIRA JÚNIOR, 2003).

Conforme Lal (2008) o sequestro de carbono pode ser definido como o processo de transferência e armazenamento seguro de CO₂ atmosféricos para outros reservatórios, podendo ser realizados tanto por processos bióticos como abióticos. Em processos abióticos o sequestro ocorre por meio de reações químicas tanto em formações geológicas quanto em formações naturais de carbonatos secundários (HALMANN; STEINBERG, 1999), e por reações fotossintéticas responsáveis por transferir o C para os solos e oceanos em processos bióticos (SHRESTHA; LAL, 2006). No entanto, embora o sequestro possa ocorrer por meio destes dois processos, ambos apresentam um efeito direto sobre os ecossistemas naturais nos quais se encontra estocado, podendo ser quantificados através da análise da biomassa da planta, do cálculo de carbono estocado nos produtos madeireiros e pela quantidade de CO₂ absorvido no processo de fotossíntese (OLIVEIRA JÚNIOR, 2003).

Esse C encontra-se distribuído em vários ecossistemas naturais, entre os quais podemos incluir os oceanos, a atmosfera, formações geológicas e ecossistemas terrestres (BARRETO, 2009) responsáveis sequestrar o CO₂ e

incorpora-lo no ciclo do carbono (Figura 8) na maioria das vezes por processos realizados por organismos fotossintetizantes, o que contribui na redução do CO₂ na atmosfera.

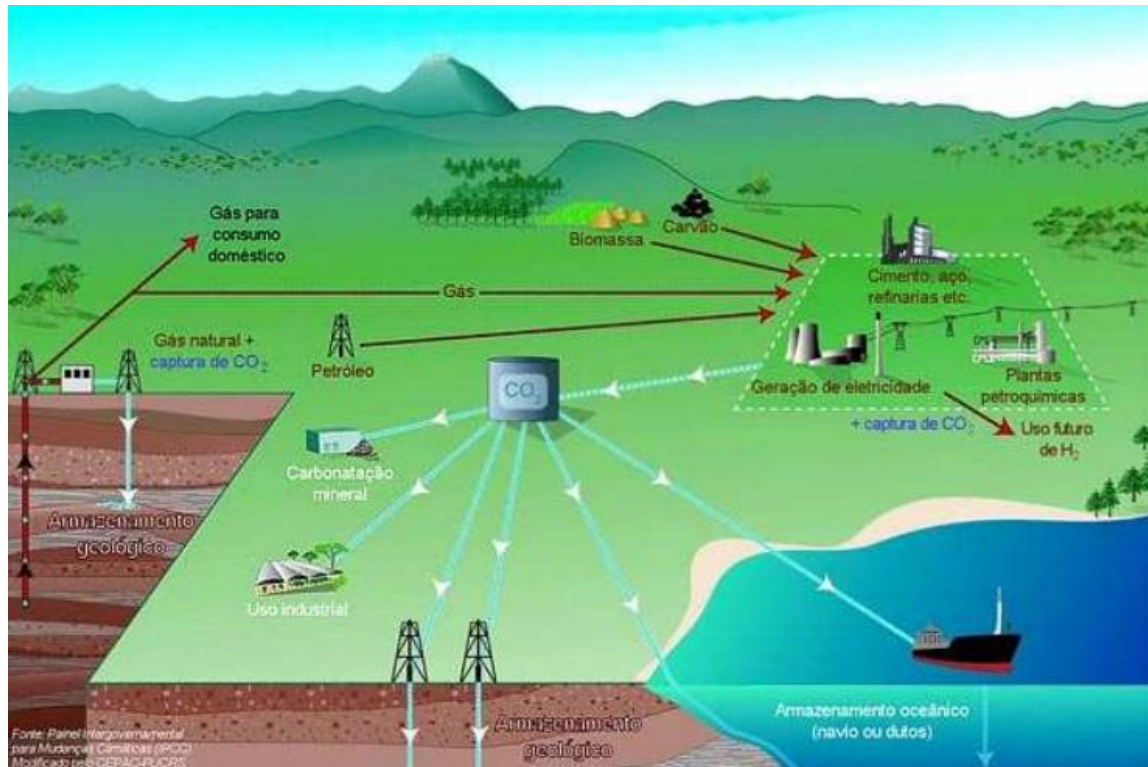


Figura 8. Esquema de armazenamento e sequestro do carbono. Fonte: (CEPAC, 2016).

Além dos processos de sequestro de C, por mecanismos naturais, captura do C pode ocorrer por processo induzido, conhecido como sequestro de carbono artificial ou geológico do C. O processo ocorre por meio da separação e captura do CO₂ produzidos em processos industriais e processos relacionados à geração ou consumo de energia, transportando-o para um ambiente de estocagem segura, de modo que ocorra o isolamento do gás em relação à atmosfera por um longo período de tempo (IPCC, 2005) e reduza a sua concentração na atmosfera. Entretanto, a conservação e manutenção de estoques de carbono nos solos, nas florestas e demais tipos de vegetação, recuperação de áreas degradadas, a conservação de florestas nativas e medidas de reflorestamento, estão entre as principais formas de sequestrar o C contribuindo para a redução da concentração deste gás atmosfera (OLIVEIRA JÚNIOR, 2003).

5.3.2 Sequestro ou emissão de carbono no solo

O armazenamento de C no globo terrestre pode acontecer em vários compartimentos, dentre os quais podemos destacar o reservatório pedológico como um dos grandes contribuintes no papel de sequestrar C. Para Lal, (2006) este reservatório pedológico contém cerca 2.500 Pg (Figura 9) dividido em 1.550 Pg na forma de carbono orgânico do solo (COS) e 950 Pg em forma de carbono inorgânico do solo (CIS). Apresentando um potencial de estocagem de C cerca de três vezes a quantidade de C no reservatório biótico e duas vezes a quantidade contida na atmosfera terrestre (ESWARAN; VAN DEN; REICH, 1993).

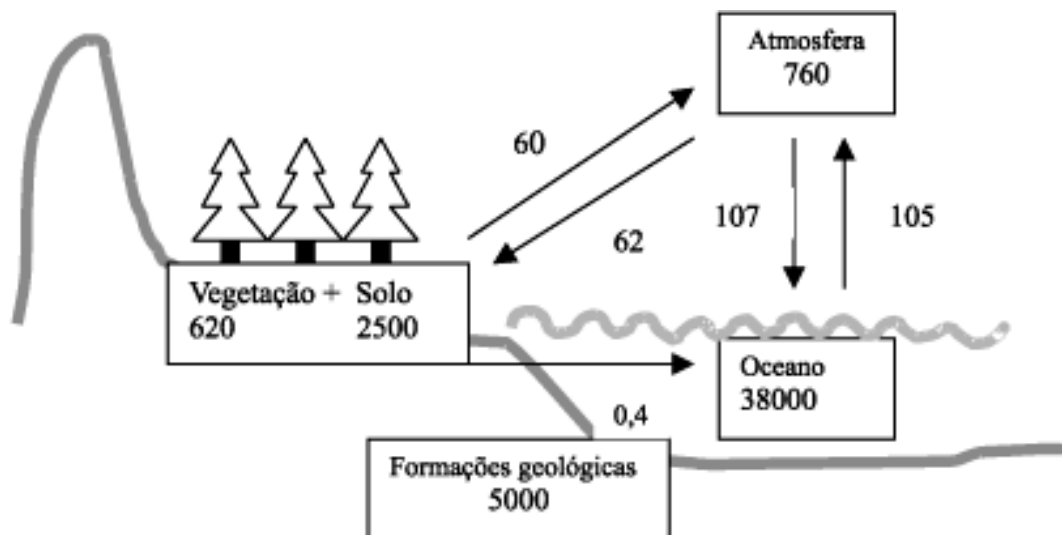


Figura 9. Armazenamento de C (em Pg C = 10¹⁵ g C) nos diferentes compartimentos da terra e seu fluxo (em Pg C ano-1). Fonte: Machado, 2005.

Embora apresente tamanho potencial de sequestrar C, os solos também correspondem a uma importante fonte de CO₂ para atmosfera, relacionada aos processos de degradação que os mesmos estão sujeitos e a mudanças no uso das terras. Neste contexto, Efigênio (2007) afirma que a mudança no uso do solo e a degradação destes, são processos primordiais para a liberação de CO₂ para a atmosfera, deixando de atuar como dreno e passando a exercer o papel de fonte emissora de CO₂. Entretanto, com a recuperação de áreas degradadas e a adoção de práticas conservacionista no uso da terra o potencial de fonte de CO₂ dos solos pode ser reduzido.

Em condições naturais o sequestro de C pelo solo envolve a transferência de C da biota para o húmus através de reações físicas e bioquímicas, visando ser

incorporado junto à biomassa novamente ao solo com elevada capacidade de mineralização, além de transferir C ao subsolo para além da zona de perturbação, e aumentar a formação de organominerais complexos ou de micro e macroagregados estáveis (SHRESTHA; LAL, 2006), além dos teores de carbono orgânico nos solos (COS).

Os teores de COS em solos naturais são mantidos por meio de processos dinâmicos que refletem o balanço entre a entrada e saída de C no solo a médio e longo prazo. Em áreas degradadas o processo é controverso, pois solos perturbados rompem as relações de equilíbrio e causam perdas de C nos solos, enquanto práticas adequadas de uso do solo e restauração de ecossistemas elevam a qualidade do solo e consequentemente restauram as concentrações de COS (NASCIMENTO et al., 2011).

No solo a emissão de CO_2 ocorre principalmente por dois processos biológicos, um referente à decomposição de resíduos orgânicos e outro a respiração de organismos e sistema radicular das plantas (Figura 10). O CO_2 se movimenta no solo por meio de processos de difusão, circulando da região de maior concentração para uma de menor concentração, além de se movimentar junto ao ar que está misturado, por fluxo de massa (BALL; SMITH, 1991).

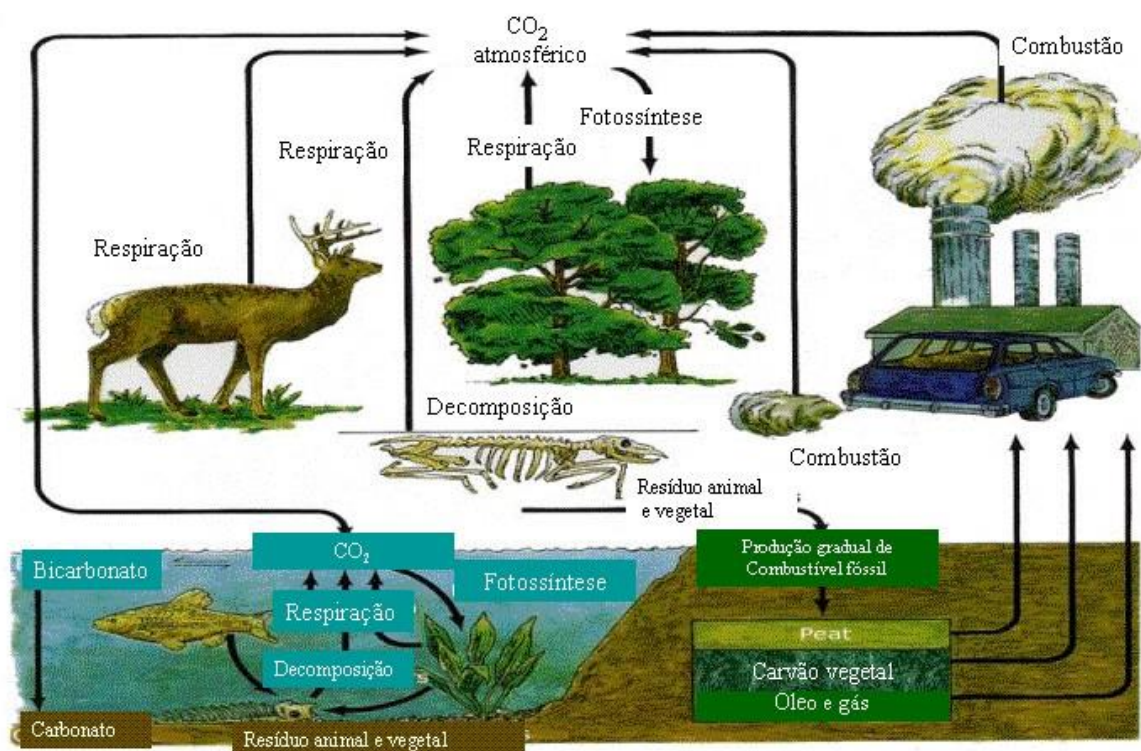


Figura 10. Representação esquemática da emissão de CO_2 em ecossistema terrestre. Fonte: UNEF, 2017.

Segundo Moreira e Siqueira (2006) a concentração de CO_2 nos espaços porosos do solo é significativamente superior do que na atmosfera, compreendendo a ordem de 10 a 100 vezes. Isso está associado à atividade respiratória no solo representando cerca de 20 % da concentração de CO_2 na atmosfera, e 80 % decorrentes da atividade biológica (MELILLO et al., 2002). Além disso, quando a respiração é superior à deposição de material orgânico ocorre perda de C no solo (BUSTAMANTE et al., 2006).

5.3.3 Sequestro de carbono sob florestas naturais

O sequestro de CO_2 atmosférico por meio das florestas é uma das alternativas para minimizar as emissões dos GEE (ALBRECHT; KANDJI, 2003). A dinâmica do C em uma floresta é decorrente da assimilação de CO_2 por meio do processo de fotossíntese (Figura 11), pela liberação desse C através da respiração das plantas, pela sua transferência para o solo na forma biomassa e pela eventual liberação de carbono do solo de volta a atmosfera através dos processo de decomposição e respiração microbiana no solo (OHSE, 2007).

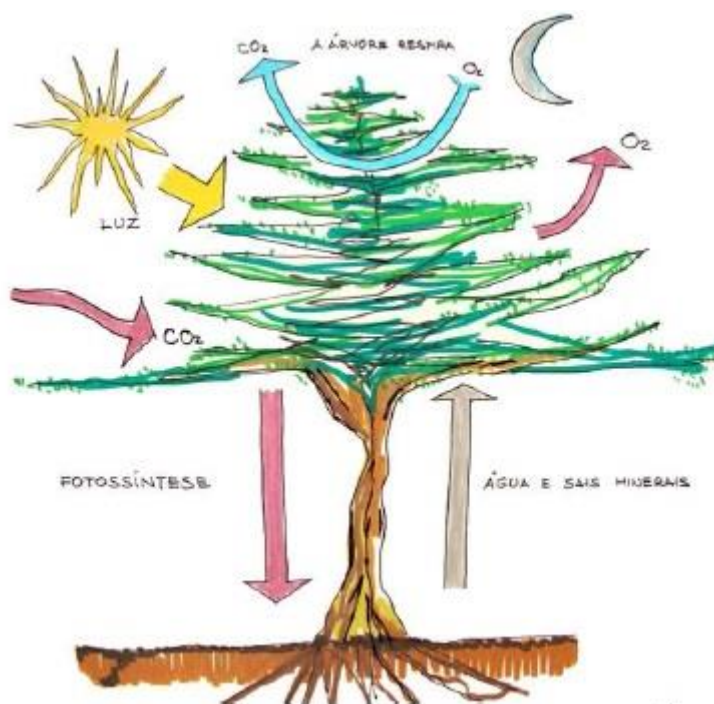


Figura 11. Representação do processo fotossintético de absorção do CO_2 pelo vegetal. Fonte: (INSTITUTO MADEIRA, 2011).

O processo fotossintético realizado pelos vegetais é o grande responsável pela manutenção e sequestro do C atmosférico. O CO₂ é sequestrado da atmosfera por este fenômeno, esta é a reação química mais significativa do planeta, sendo o único processo capaz de absorver a energia luminosa proveniente do sol, além disso, todos os processos vitais dependem da fotossíntese para a formação de alimentos na forma de carboidratos e também para a formação do oxigênio (BARBOSA et al., 2013).

Segundo Arevalo, Alegre e Vilcahuaman (2002) a proporção do carbono absorvido ou fixado pela floresta depende do tipo da espécie, da taxa de seu crescimento, do seu tempo de vida, de sua idade, das condições climáticas, do período de rotação, como também de algumas características do solo, como a textura e outras. Além disso, as florestas secundárias e os vegetais jovens possuem uma maior capacidade de sequestrar C, se com paradas as florestas primárias e vegetais maduros. Isso deve-se ao fato destas, atingirem um estágio de equilíbrio quanto ao sequestro de C e emitirem a mesma concentração de C através da decomposição da madeira morta e das árvores em senescência (AREVALO; ALEGRE; VILCAHUAMAN, 2002). Entretanto está é uma afirmação de difícil consenso, pois através de dados disponíveis na literatura florestas de aproximadamente 800 anos, ainda possuem produtividade primária líquida positiva (LUYSSAERT et al., 2008).

Houghton (1994) aponta que tipos diferentes de floresta estocam quantidades diferentes de C em sua biomassa, como também as variações de locais de um mesmo tipo de floresta promovem uma variação diferente em relação à quantidade de biomassa. Watzlawick et al. (2002) e Albrecht e Kandji (2003) indagam que toda essa variação deve-se as características de cada planta, aos fatores ambientais, as condições do solo e do clima e do tipo de manejo adotado, quando for o caso.

Durante a fase inicial de desenvolvimento de uma floresta, grande parte dos carboidratos é direcionada à produção da biomassa da copa e das raízes. Entretanto, com o passar do tempo, a produção relativa de biomassa do tronco aumenta e a das folhas e dos ramos diminui gradativamente (SCHUMACHER, 1996).

De acordo com Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC (2002) quantidades elevadas de C podem ser emitidas para a atmosfera durante a mudança de um tipo de floresta para isso se a mortalidade liberar carbono mais rapidamente do que a regeneração. Assim, o “CO₂ pode ser removido da atmosfera

por meio do crescimento de plantas com particularidades para esse fim, quanto mais rápido o crescimento, mais rápido e a absorção de CO₂ (BAIRD, 2002) ”.

Conforme Sanqueta (2002), além de ser um recurso natural renovável, as florestas podem contribuir significativamente na redução dos impactos do efeito estufa e das suas implicações nas mudanças climáticas globais, e ainda apresenta grande importância no ciclo do C. Desta forma, a estimativa da quantidade de C a ser sequestrada pelas florestas depende da variável biomassa. Além disso, diversas pesquisas da concentração de C em florestas atualmente vêm sendo desenvolvidas e a maioria referem-se à amostragem destrutiva, a contagem das frações de raízes e dos troncos e folhas, apresentando grande importância para a quantificação do conteúdo de C nas florestas (MAESTRI, 2003).

5.4. Dinâmica do C e sua relação com os atributos de qualidade do solo

O carbono orgânico do solo (COS) está disponível na natureza tanto na forma orgânica, representado pela matéria orgânica do solo (MOS), quanto inorgânica em forma de carbonatos do solo. Esta matéria orgânica além do C, apresenta em sua composição oxigênio (O) e menos de 10% de hidrogênio (BRADY; WEIL, 2012). Assim, a entrada do COS no solo está relacionada com o aporte do material orgânico disponível no mesmo (BALBINOT, 2003).

Na matéria orgânica, o COS pode estar presente tanto na matéria viva quanto na morta, com aproximadamente, 2% e 98%, respectivamente, sendo, os maiores valores de COS presente em quase sua totalidade na matéria orgânica morta. O C contido na matéria orgânica viva (CMOV) é representado pelo C contido nos microrganismos (60-80% do CMOV), macrorganismos (15-30% do CMOV) e nas raízes (5-10% do CMOV) enquanto o carbono da matéria morta (CMOM) subdivide-se no C dos resíduos vegetais recém-adicionados ao solo e no húmus (80-90% do CMOM), substâncias não húmicas (30% do carbono do húmus) representadas pelos ácidos orgânicos de baixo peso molecular e substâncias húmicas (70% do carbono do húmus) (THENG, 1987). Já o C inorgânico representado pelos carbonatos no solo, apresentam participação pouco significativa no solo, tendo em vista sua presença em ambientes mais restritos.

Neste sentido, embora o CMOV esteja presente em porções bem menores que o CMOM, ambos apresentam a mesma importância, pois tanto os

microrganismos quanto os macrorganismos através de suas atividades no solo, correspondem aos principais contribuintes para as transformações do CMOM, ocasionando o acúmulo ou perdas em forma de CO_2 de C orgânico do solo (THENG, 1987). Machado (2005) afirma que os processos envolvidos no acúmulo deste C no solo correspondem a humificação, agregação e sedimentação, ao passo que os processos de perdas desse C nos solos são influenciados por processos erosivos, decomposição, volatilização e lixiviação (Figura 12).

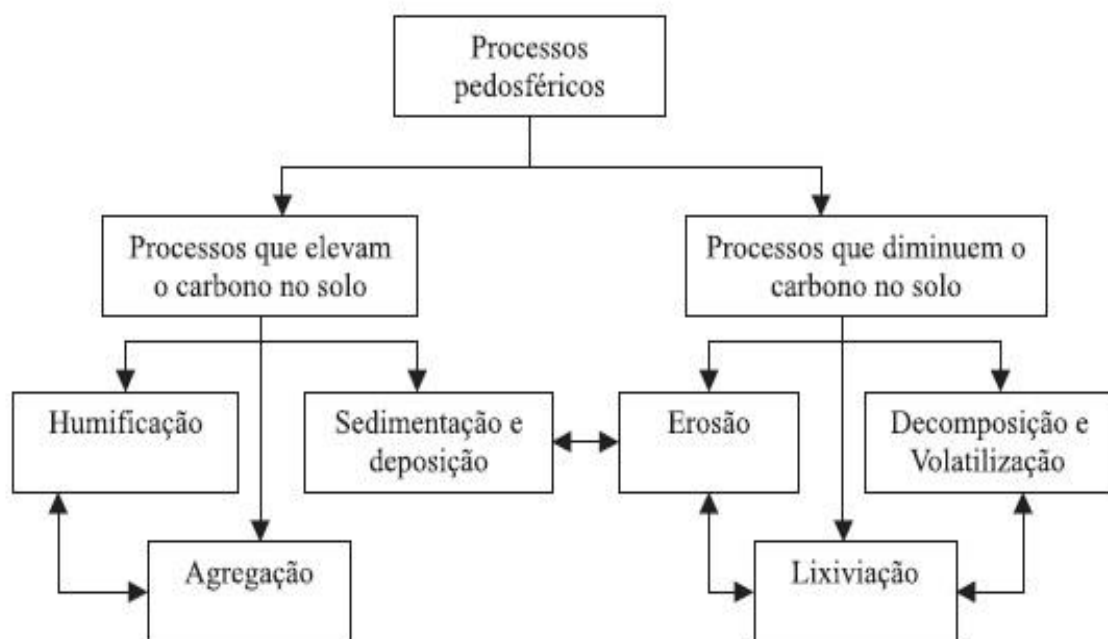


Figura 12. Principais processos no solo que influenciam o conteúdo de carbono no solo.

Fonte: Machado, 2005.

Em solos sob vegetação nativa a estocagem de C representa o balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição ou mineralização (SCHOLE, 1997). Além disso, o percentual de estoque de C e a sua qualidade dependem entre muitos fatores, do clima, do tipo da vegetação, das associações químicas e físico-químicas da matéria orgânica com os componentes minerais do solo e da localização da matéria orgânica no solo (BATJES, 1999). Esse estoque de C no solo compreende frações ligadas aos minerais, ou até mesmo frações ativas do solo, podendo está ligada à fração mineral ou não, como os resíduos vegetais de agregados do solo (ROSCOE; MACHADO, 2002).

Logo, verifica-se que as concentrações do C nos solos são influenciadas por diversos fatores, incluindo clima, textura e estrutura do solo. Além de ser influenciada pelas formas de uso dos solos, especialmente quando há a conversão de ecossistemas nativos em áreas agrícolas (SCHLESINGER, 2000).

O estoque de C em solos de regiões tropicais principalmente as úmidas e subúmidas, é de grande importância, visto que estes solos apresentam-se na maioria das vezes altamente intemperizados, e relativamente ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Deste modo, o C se relaciona com a fase mineral e com a dinâmica de nutrientes existente entre o sistema solo-planta, contribuindo para o equilíbrio dos nutrientes nos solos (SILVA; MENDONZA, 2007), neste caso apresentando uma boa correlação com os demais atributos químicos de qualidade dos solos.

A dinâmica do C e seu balanço também se relaciona com características físicas dos solos, como é o caso da textura, densidade e a macroporosidade que apresentam forte influência no C contido no solo (MARQUES et al., 2007). Na maioria dos casos solos argilosos tendem a apresentar uma maior taxa de acúmulo do COS ao longo do tempo (WANG et al., 2003). Para Marques et al. (2007) solos com uma maior densidade promove tanto a redução da macroporosidade do solo quanto dos teores de COS.

Esse COS também exerce grande influência sobre os mecanismos de formação das diferentes classes de tamanhos dos agregados (CASTRO FILHO; LOGAN, 1991). E garante uma significativa influência na melhoria da disponibilidade de nutrientes para os vegetais e culturas, na capacidade de troca de cátions (CTC) do solo e na complexação de elementos tóxicos (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Além destes atributos, o COS também influencia nas atividades microbianas do solo, sendo utilizados em vários processos biológicos dos organismos do solo que melhoram a sua qualidade. Assim, maiores concentração de COS nos solos podem condicionar uma melhoria tanto na qualidade química e física do solo quanto biológica, garantindo uma maior qualidade do mesmo (BAYER; BERTOL, 1999).

5.5. Bioma Cerrado e sua caracterização fitofisionômica

5.5.1. Caracterização geográfica e estado de conservação

O cerrado é o segundo maior bioma brasileiro e a maior região de savana tropical da América do Sul, abrangendo parte do Brasil Central, parte do nordeste do Paraguai e leste da Bolívia (MMA, 2011). No Brasil, inclui boa parte da região Centro-Oeste, parte do Norte, Nordeste e Sudeste (Figura 8).

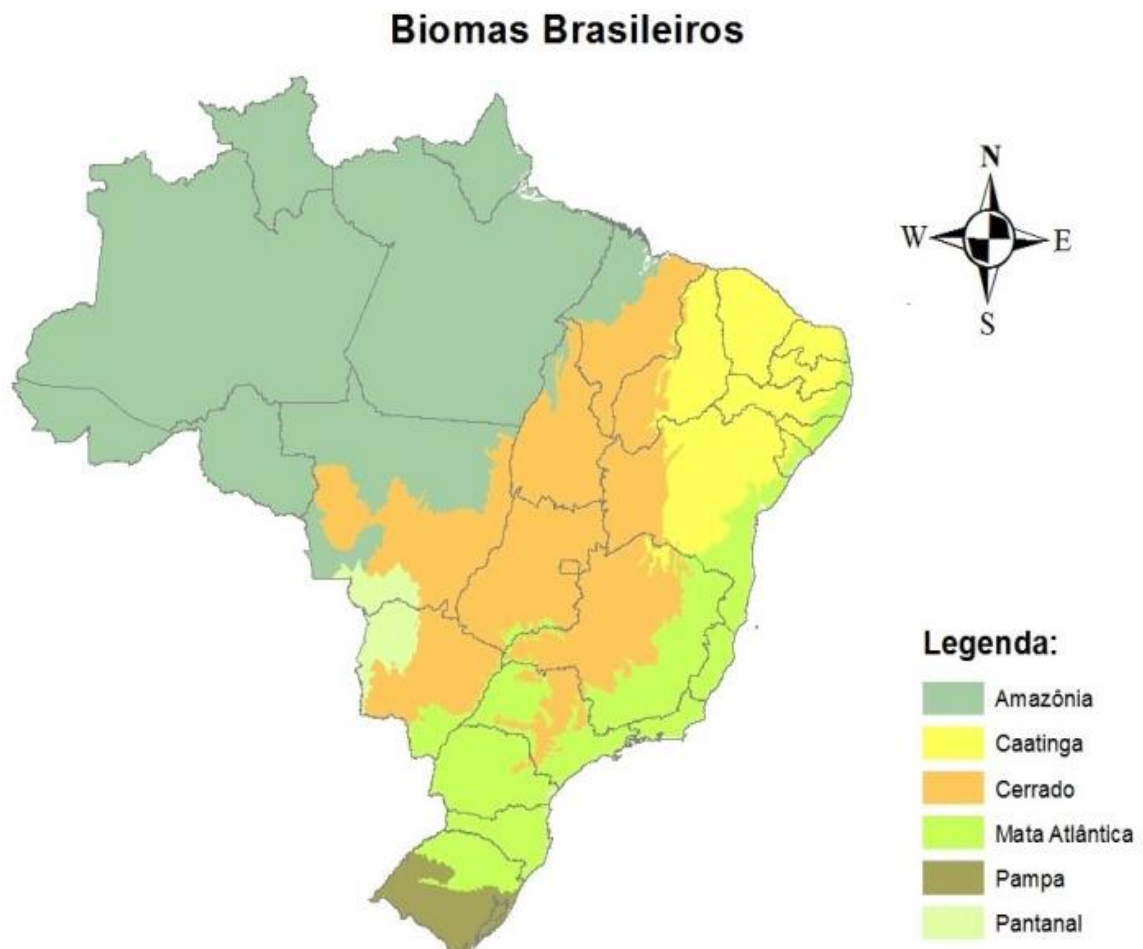


Figura 13. Delimitação espacial dos principais biomas brasileiros. Fonte: IBGE, adaptado SFB, 2016.

Localizado principalmente na região central do Brasil o bioma apresenta uma área corresponde a mais de 2.000.000 km², representando cerca de 23% do território brasileiro (SANO et al., 2008). Em território brasileiro, sua área encontra-se sobre os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, além dos enclaves no Amapá, Roraima e Amazonas, nas quais a representatividade

percentual de cobertura do bioma é diferenciada (Tabela 3).

Distribuição do Cerrado no Brasil		
	Unidade Federativa	Percentual de Cerrado %
Tabela 3. das áreas originalmente Cerrado no	Distrito Federal	100
	Goiás	97
	Mato Grosso	40
	Mato Grosso do Sul	61
	Tocantins	92
	Maranhão	65
	Bahia	27
	Piauí	37
	Minas Gerais	57
	São Paulo	33
	Paraná	2

Porcentagem
cobertas
pelo bioma
Brasil.

Fonte: MMA, 2009 (Adaptado).

Esse espaço territorial é considerado como o berço das águas do país, por comportar as nascentes dos principais rios do Brasil, pois nele estão localizadas as três maiores bacias hidrográficas da América do Sul, sendo elas a bacia do Araguaia/Tocantins, Platina e São Francisco (MMA, 2015).

No bioma os solos predominantes são os Latossolos, que chega a cobrir aproximadamente 46% da área, apresentando coloração que pode variar do vermelho ao amarelo, de alta profundidade, bem drenados na maior parte do ano, apresentando acidez, toxidez de alumínio e deficiência em nutrientes essenciais para a maior parte das espécies de plantas. Entretanto é possível encontrar outros tipos de solo em sua área como os pedregosos e rasos (Neossolos Litólicos), com ocorrência mais frequente nas encostas, os arenosos (Neossolos Quartzarênicos), os orgânicos (Organossolos), dentre outros (EMBRAPA, 2007).

Influenciado por essas características, o bioma possui heterogeneidade de ecossistemas, apresentando características distintas que de acordo com a localização e fatores climáticos, e formações vegetais com variações fisionômicas. Todas essas características são responsáveis por uma enorme biodiversidade na fauna e flora, abrigando cerca de 11.000 espécies vegetais, destas 4.400

endêmicas. Além disso, possui enorme variedade de invertebrados e vertebrados tanto terrestres como aquáticos (MIRANDA; NETO; NEVES, 2011).

Embora o Cerrado apresente grande importância para a biodiversidade nacional, o bioma vem enfrentando grandes problemas quanto a impactos ambientais gerados sobre suas áreas e seus elementos. Uma questão ligada a isso é a conversão significativa de sua vegetação nativa adjacente a áreas de produção, ocasionada principalmente por seu grande potencial agrícola, apesar de apresentar em seus solos baixos teores de nutrientes. A figura 14 apresenta dados dos estados e a distribuição do desmatamento entre os anos de 2002 e 2009.

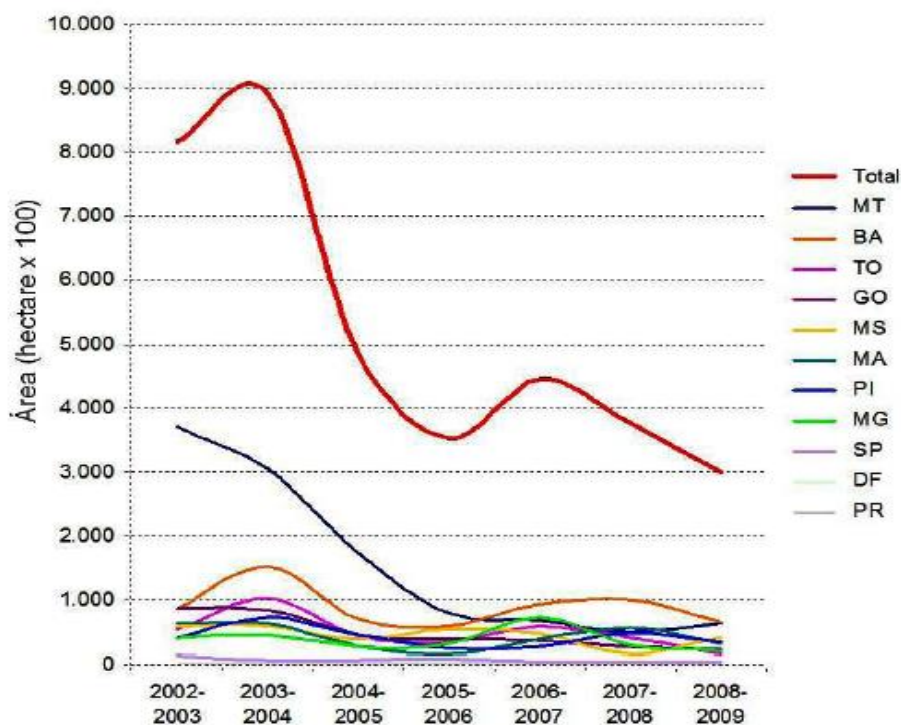


Figura 14. Distribuição do desmatamento no Cerrado entre os anos de 2002 a 2009.

Fonte: SANO et., al. (2007).

Conforme a figura anterior às ameaças voltadas a devastação do bioma através do desmatamento estão ligadas principalmente pelo processo de expansão agropecuário, que no geral tem sido efetivada, pela conversão de áreas nativas do cerrado em áreas de larga produção, com perda de vegetação original.

Esta expansão tem sido feita com uso intensivo de agrotóxicos, fertilizantes e corretivos, visto a maior produtividade de suas culturas; irrigação; pisoteio excessivo de animais; monocultura e cultura em grande escala, além do emprego de alta tecnologia química e maquinário pesado. De modo histórico, sabe-se que o aumento populacional e expansão de áreas urbanas sem ordenamento, responde por vários efeitos impactantes sobre o Cerrado, onde um viés estimula o avanço produtivo pela prática agrícola,

que de certa forma contribuem com sérios danos socioambientais (CUNHA et al., 2008).

Ligado a essa ocupação do bioma para fins agropecuários, outro fator de grande impacto ambiental para o Cerrado são as queimadas. Apesar de o bioma ser um ecossistema com grande adaptabilidade ao fogo, as queimadas utilizadas para estimular a rebrota das áreas de pastagem e para abertura de novas áreas agrícolas, causam consequentemente a perda de nutrientes do solo, compactação e aumento dos processos erosivos (LIMA, 2009). Estimativas apontaram que 67% das áreas de queimada no Brasil nos anos 2000, estavam concentradas justamente no bioma Cerrado (TANSEY et al., 2004), no entanto, toda essa destruição dos ecossistemas que constituem o Cerrado continua a crescer atualmente de forma acelerada.

Esses impactos sobre o bioma Cerrado pode estar relacionado ao fato de que a atenção reservada para sua conservação tem sido muito pequena (LIMA, 2009), visto que apenas 4,1 % do bioma estão legalmente protegidos, com somente 2,2% em Unidades de Conservação de Proteção Integral e estimativas apontando que pelo menos 20% das espécies endêmicas e ameaças de extinção permanecem fora das áreas protegidas (MACHADO et al., 2004). Além disso, estudos apontam que existe diferença na composição e na abundância das espécies presentes no bioma, afirmando que a área total protegida é insuficiente para preservar a biodiversidade de habitats, espécies e processos ecológicos do Cerrado (VIEIRA; PALMA, 2005).

Deste modo, devido a essa crescente geração de impactos ambientais sobre o Cerrado e sua diversidade de espécies, o bioma foi considerado como um dos *hotspots* de biodiversidade mundial (SILVA; BATES, 2002), no intuito de chamar a atenção mundial para toda essa problemática ambiental, procurando a adoção de políticas voltadas a reduzir ou mesmo reverter esses problemas sobre o bioma (MEYERS et al., 2000).

5.5.2. Caracterização fisionômica do bioma Cerrado

O bioma Cerrado é constituído por uma grande variedade de formas de vegetação, que lhe conferem grande heterogeneidade ambiental. Henriques (2005) acredita que a forma, dinâmica e a ocorrência de fitofisionomias do bioma são determinadas pela história da região, seu solo e a presença ou ausência de fogo.

Assim, aponta-se que cada tipo de fisionomia desenvolve-se de acordo com as interações entre fatores edáficos (solo, água, nutrientes), resultando em diferentes estágios finais de sucessão. Somando-se a isso, a influência do fogo na dinâmica fitofisionômicas no Cerrado constitui também um importante fator histórico para a paisagem, já que estudos na região mostram uma série de modificações na estrutura da vida vegetal submetida a esse tipo de interferência (LIMA *et al.* 2009).

Considerado um complexo de formações oreádicas, o bioma Cerrado apresenta entre sua vegetação 11 aspectos fisionômicos divididos entre florestais (Figura 15), savânicas e campestres. Consideram-se dois grupos de formações florestais do Cerrado, com distribuição vinculada à hidrografia e aos solos mais ricos. As formações florestais são formadas por matas ciliares, matas de galeria, matas secas e cerradão (RIBEIRO; DIAS, 2007), a formação savânica engloba quatro tipos fitofisionômicos principais: cerrado sentido restrito, parque cerrado, palmeira e vereda (MELO, 2006). As campestres são três: campo sujo, campo rupestre e campo limpo (RIBEIRO; DIAS, 2007). Os critérios adotados para diferenciar tipos fitofisionômicos no Cerrado são baseados em estrutura, formas dominantes de crescimento e mudanças sazonais e ambientais, em particular as alterações edáficas, além da composição florística (SAWYER *et al.*, 2016).

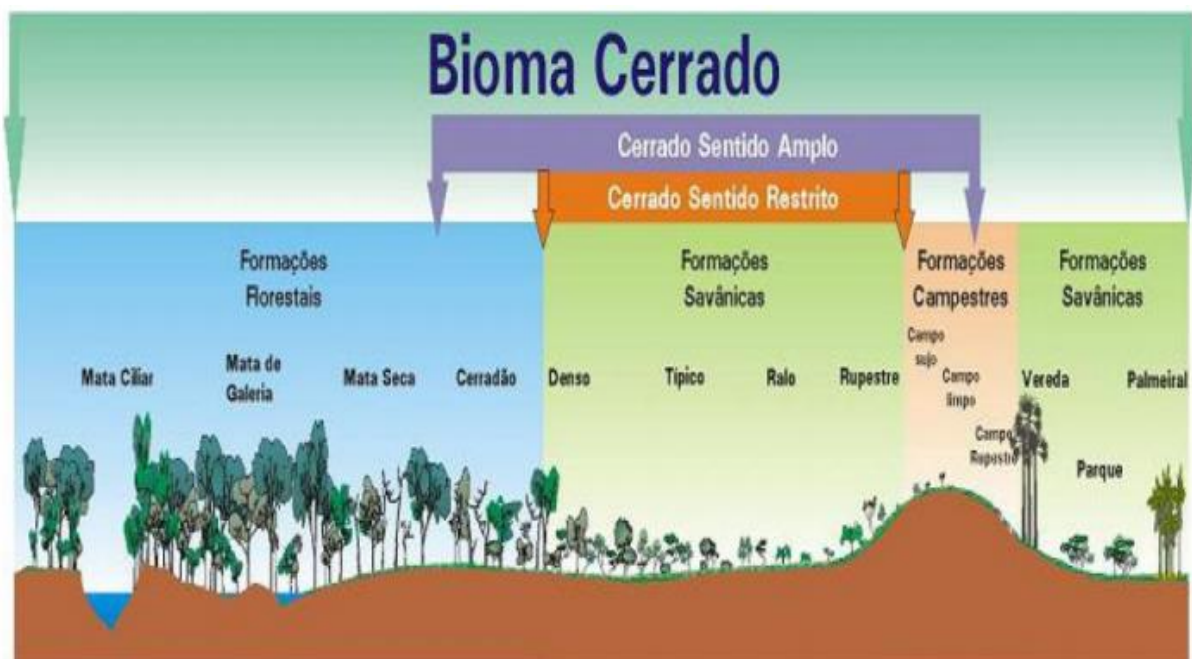


Figura 15. Perfil esquemático das principais fitofisionomias do bioma Cerrado apresenta as principais fitofisionomias do Cerrado. Fonte: RIBEIRO; WALTER (2001).

Conforme o complexo vegetacional do bioma, abaixo está à descrição para a formação florestal, savânicas e campestres (SAWYER et al., 2016):

Formações florestais: esse tipo de formação inclui tipos de plantas com predominância de espécies de árvores e formação de dossel. Esse tipo de formação compreende as matas ciliares (com dossel aberto ao longo de córregos e rios) e matas de galeria (matas ciliares com dossel fechado sobre a água) podem ocorrer em terrenos bem ou mal drenados. Além das matas secas e o cerradão que ocorrem nos níveis de relevos que separam os fundos de vales (interflúvios), em terrenos bem drenados. Caracteristicamente as árvores do Cerrado são tipicamente torcidas e possuem casca e folhas grossas a fim de sobreviver à estação seca e aos incêndios frequentes. No total, as florestas cobrem 32% das áreas naturais do *hotspots* (Figura 16).



Figura 16. Fitofisionomias das formações florestais do bioma Cerrado: A - Mata Ciliar; B – Mata de Galeria; C – Mata Seca e D – Cerradão. Fonte: EMBRAPA, 2017.

Formações savânicas: estas formações englobam as vegetações de cerrado stricto sensu, parque de cerrado, palmeirais e veredas (Figura 17). A fisionomia de cerrado stricto sensu é caracteriza-se pela presença de estratos s arbóreos e arbustivo-herbáceos, com árvores distribuídas aleatoriamente sobre o terreno com diferentes densidades, sem a formação de cobertura contínua. Em fisionomia de parque Cerrado, as árvores estão concentradas em locais específicos das áreas, com 0,1 m a 5,0 metros de altura e 0,2 m a 2,0 metros de diâmetro. Nos palmeirais, que podem ser encontrados em áreas bem ou mal drenadas, há maior densidade e predominância de espécies de palmeiras. Já as veredas, caracterizam-se pela presença de uma única espécie de palmeira, especificamente o buriti, cercada por terrenos arbustivo-herbáceos característicos, permanentemente alagados, muitas vezes atravessados por um curso de água. Assim, as formações savânicas cobrem 61% das áreas naturais do *hotspots*.

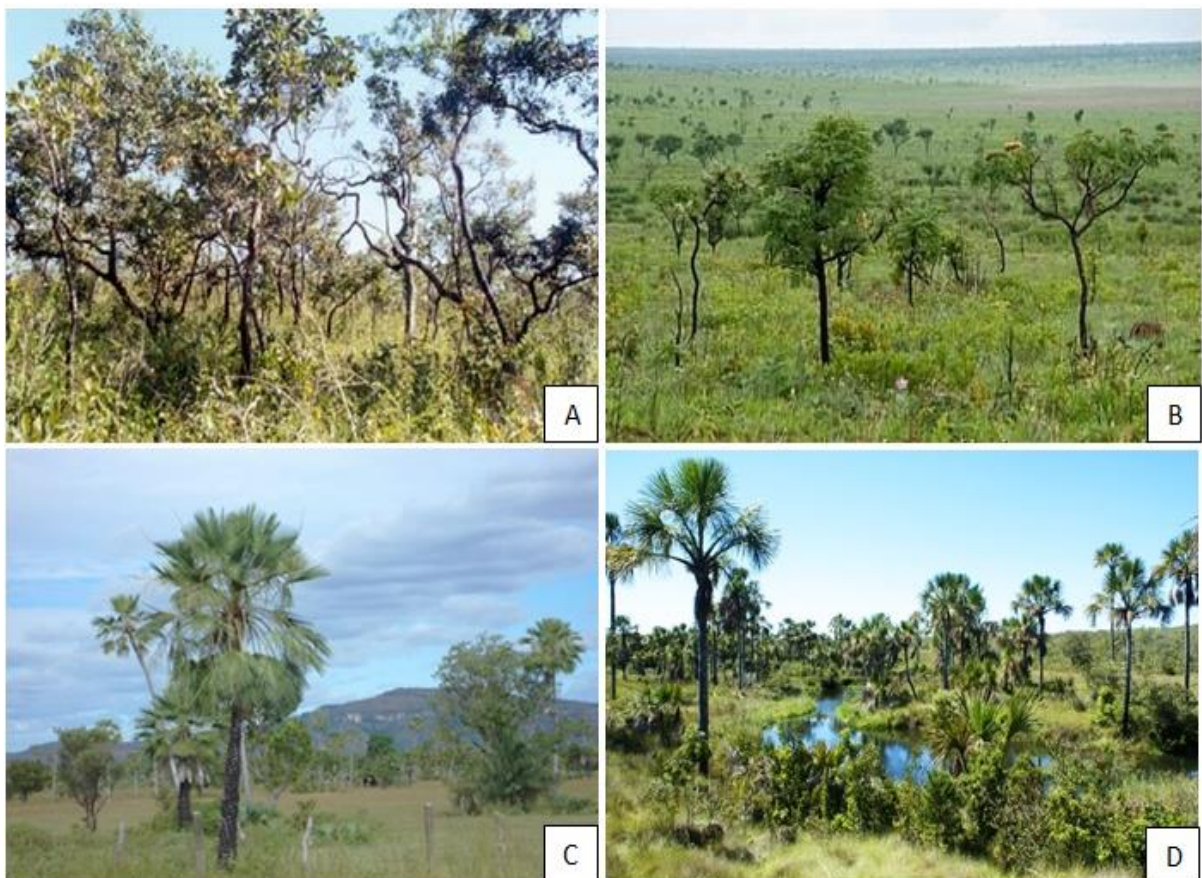


Figura 17. Fitofisionomias das formações savânicas do bioma Cerrado: A – Sensu Stricto; B – Parque de Cerrado; C – Palmeiral e D – Veredas. Fonte: CULTURA MIX, 2017.

Formações campestres: este tipo de formação aporta três tipos de vegetação principais, englobando o campo sujo, o campo limpo e os campos rupestres (Figura 18). Os campos sujos caracterizam-se pela presença de arbustos e subarbustos espalhados no estrato herbáceo. Já os campos limpos possuem pouquíssimas ocorrências de arbustos e subarbustos. E os campos rupestres apresentam mosaicos complexos de vegetação influenciada pelo relevo e pela história geológica antiga, mostrando diferentes tipos de vegetação herbácea e arbustiva sobre afloramentos rochosos, solos pedregosos a arenosos e outras fisionomias de transição, embora possuam trechos com estruturas similares aos de campo sujo e campo limpo. Estas formações de campo cobrem 7% das áreas naturais do referido *hotspots*.

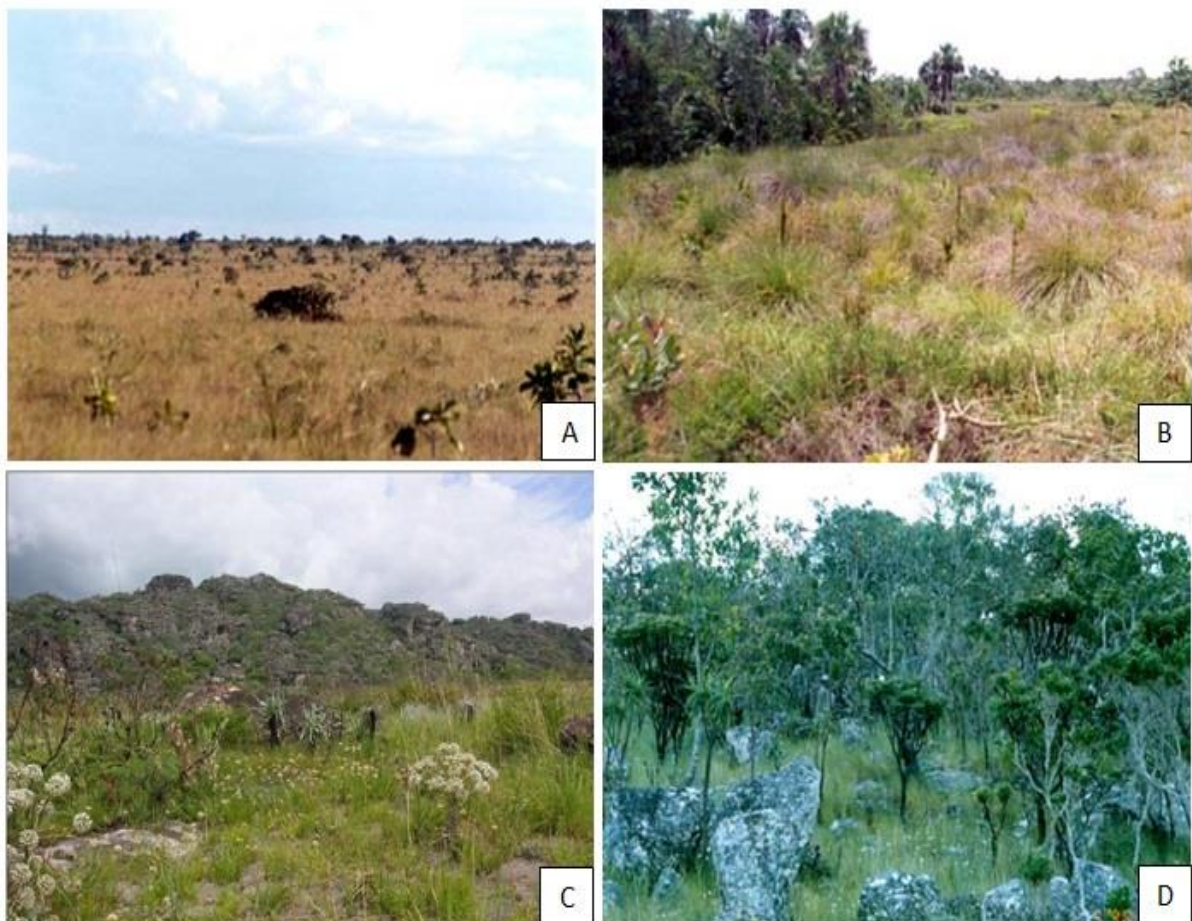


Figura 18. Fitofisionomias das formações campestres do bioma Cerrado: A – Campo Limpo; B – Campo Sujo; C e D – Campo Rupestre. Fonte: EMBRAPA, 2017.

A partir dessa classificação fitofisionômicas, Walter (2006) após avaliação da flora do bioma, afirma que as formações savânicas são as mais ricas em espécies, seguida por formações florestais e campestres, respectivamente. Além disso, a

maioria das interpenetrações de flora ocorre entre savanas e campos, seguindo-se florestas e savanas e, de forma menos significativa, florestas e campos. As maiores semelhanças na composição das espécies de flora encontram-se entre Cerrado stricto sensu e campos sujos e entre estas e os campos limpos.

5.6. Estoque de carbono e Fluxo de CO² em áreas de Cerrado

O estoque de carbono do solo sob vegetação natural representa o balanço dinâmico entre a adição de material oriundo de plantas e animais mortos e a perda pela decomposição ou mineralização (SCHOLLES et al., 1997). Com isso, para tentar reduzir a concentração de C presente na atmosfera é fundamental a ampliação de áreas florestais, visando a fixação do C em forma de biomassa vegetal e ao mesmo tempo, criar condições para o incremento de carbono no solo (REES et al., 2005) uma vez que a produção primária acima do solo é a única fonte de matéria orgânica para a maioria dos solos (VAN VEEN, 1993).

Estudos sobre o estoque de biomassa e C em diferentes fitofisionomias do Cerrado apontam uma grande variabilidade destes, em uma mesma fitofisionomia como em fitofisionomias diferentes. A variação dessas estimativas deve-se primordialmente a heterogeneidade da estrutura vegetal, a sazonalidade climática, e da vegetação, a frequência de queimadas e ao tempo da última queimada (BUSTAMANTE; OLIVEIRA, 2008).

Ottmar et al. (2001) estimaram o estoque de biomassa aérea em diferentes fitofisionomias de Cerrados do Brasil Central. Os valores de biomassa aérea variaram entre 3,78 Mg.ha⁻¹ e 16,57 Mg.ha⁻¹ para áreas de campo limpo, entre 6,68 Mg.ha⁻¹ e 15,77 Mg.ha⁻¹ para áreas de campo sujo, entre 12,55 Mg.ha⁻¹ e 39,05 Mg.ha⁻¹ para áreas de cerrado ralo, entre 20,9 Mg.ha⁻¹ e 58,01 Mg.ha⁻¹ para áreas de cerrado sentido restrito e entre 29,90 Mg.ha⁻¹ e 70,89 Mg.ha⁻¹ para áreas de cerrado denso.

Uma grande variedade de estudos relata existir um maior estoque de C em fitofisionomias de biomassa arbóreas do bioma Cerrado, como também uma maior retenção de C em biomassa do solo. Em áreas sob fitofisionomias de cerrado campo limpo, campo sujo, cerrado aberto e cerradão, os valores de biomassa aérea e subterrânea foram entre 5,5 e 29,4 Mg.ha⁻¹ e 16,3 e 52,9 Mg.ha⁻¹ respectivamente (BUSTAMANTE; OLIVEIRA, 2008). Com base nesses valores é possível verificar que em áreas sob estas fitofisionomias os valores de biomassa subterrânea são maiores que a biomassa aérea, podendo contribuir para um maior estoque de C no solo nestas áreas.

Embora a biomassa aérea e subterrânea representarem importantes estoques de C no Cerrado, suas maiores quantidades encontram-se na matéria orgânica do solo (GRACE et al., 2006). Isso pode ser verificado nos estudos de Castro (1996) em que estimou o estoque de C na MOS de diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado na região central do Brasil. Os valores encontrados por ele variaram entre 211 Mg C.ha⁻¹ e 255 Mg C.ha⁻¹. Já em outras duas áreas de cerrado sentido restrito nessa mesma região, os valores de estoque de C na MOS foram de 202 Mg C.ha⁻¹ (REZENDE, 2002) e 321 Mg C.ha⁻¹ (ABDALA et al., 1998). Deste modo, a matéria orgânica do Cerrado representa o mais importante componente do sistema para o acúmulo e sumidouro do C. Além disso, a incorporação desse componente poderá dar um no quadro quanto ao papel do Cerrado para os estoques e fluxo de CO₂ para atmosfera.

Essa matéria orgânica do solo também exerce grande influência sobre o fluxo de CO₂ em áreas de Cerrado. E associada à sazonalidade climática e a sazonalidade dos eventos vegetativos e reprodutivos da vegetação determina os ciclos sazonais dos fluxos de CO₂ nos ecossistemas terrestres (VARELA et al., 2004). Nesse contexto, determinações dos fluxos sazonais de CO₂ entre o ecossistema e a atmosfera em cerrado sentido restrito sob territórios do Distrito Federal, indicaram que a fitofisionomia atua como sumidouro de CO₂ durante todo o período chuvoso e como fonte durante um breve período no final da seca (MIRANDA et al., 1997).

Um balanço anual feito por Miranda et al. (1996) para o cerrado sentido restrito no Distrito Federal mostrou que houve um sumidouro anual de 2,5 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹. Já Rocha et al. (2002), estudando o cerrado sentido restrito também o apontaram como sumidouro de C, embora em menor quantidade (0,1 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹ a 0,3 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹). Diferenças como essas, chamam a atenção para o desenvolvimento de novas pesquisas de caráter mais amplo e que considerem a heterogeneidade da vegetação em diferentes fitofisionomias do Cerrado no intuito de se compreender o papel do bioma no acúmulo de C. Em relação a essa afirmação, uma única estimativa mais ampla foi realizada a nível mundial por Grace et al. (2006) para savanas tropicais, incluindo o Cerrado brasileiro. A estimativa indicou que essas áreas acumulam 0,14 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹, contribuindo para um sumidouro total de 0,39 Gt C.ano⁻¹, aproximadamente 15% de todo C fixado pela vegetação mundial.

Além das biomassas, outro importante componente do sistema sobre os fluxos de CO₂ no Cerrado é a respiração dos solos, fortemente influenciada pela temperatura e umidade dos mesmos (PINTO et al., 2002). Assim, estas duas variáveis ambientais foram utilizadas na determinação da sazonalidade do CO₂ do solo em área sob cerrado sentido restrito e cerradão por Pinto et al. (2002) que apresentaram aumento referente ao período chuvoso e redução no período de seca. Isso porque a respiração das raízes e a decomposição da serapilheira e das raízes pela biota do solo, são as principais fontes de CO₂ nessas áreas. Dessa forma, os fluxos anuais determinados em áreas nativas do Cerrado por Aduan (2003), em dois anos consecutivos ficaram entre 13, 18 e 13,47 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹ para o cerrado sentido restrito e entre 11,96 e 12,80 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹ para cerradão, destacando que ambas fitofisionomias atuam como reguladoras do fluxo de CO₂ atmosférico em ambiente terrestre.

O fluxo de CO₂ do solo incorpora tanto a respiração dos solos como a difusão passiva do gás, englobando processos biológicos e físico-químicos e que representa as trocas de C entre compartimentos de um sistema (DIAS, 2006). Essa respiração do solo é um processo biológico, sendo a somatória das liberações de CO₂ para a atmosfera resultante de vários processos que ocorrem na serapilheira superfície e nas camadas mais profunda dos solos. Isso inclui a respiração dos microrganismos e da macrofauna, os processos fermentativos que ocorrem em profundidade sob condições de anaerobiose e oxidação química (WANNER, 1979). Já a respiração pelas raízes contribui entre 30 a 80% da respiração total (KURASAR, 1989) e deve ser considerada separadamente. No entanto, a medição do fluxo de CO₂ da superfície do solo é um dos métodos mais usados para estimar a taxa de respiração do solo *in situ*. Porém respiração do solo e fluxo de CO₂ são processos diferentes, embora sejam apontados como um mesmo processo (DIAS, 2006).

A respiração do solo é a oxidação da matéria orgânica do solo, incluído a respiração das raízes e dos organismos do solo. Já o fluxo de CO₂ do solo é a liberação de CO₂ para a atmosfera e, portanto depende da produção deste no solo e do processo físico de fluxo de gás para fora do solo (DIAS, 2006). Segundo Davidson et al. (2002) os solos estocam duas ou três vezes mais C do que existe na atmosfera. Entretanto, sua liberação depende da velocidade de decomposição da MOS, e pelos gradientes e temperatura (MEIER et al., 1996).

Desta forma, a maioria do CO₂ produzido no solo é liberada para a atmosfera, assim, o fluxo do CO₂ medido no solo, relativamente sobre longos períodos, reflete a respiração do solo. Sendo a mesma um dos maiores e mais importantes processos de liberação do carbono em ecossistemas terrestres, podendo ser medida por vários métodos como o de covariância de vórtices turbulentos e uso de câmaras colocadas sobre o solo (DAVIDSON et al., 2002).

5.7. Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba e seu Estado de conservação

As unidades de conservação (UC) de forma geral foram criadas com o intuito de preservar as várias formas de vida presentes nos ecossistemas naturais e a sua manutenção, sendo elas regulamentadas em lei de acordo com cada país. Segundo Brasil (2000) as UC's correspondem a um espaço territorial e seus recursos ambientais, com características naturais relevantes, que devem ser conservadas conforme limites definidos, pautadas pela administração de órgão ambiental competente, a qual se aplicam garantias adequadas a sua proteção. Uma vez criadas através de decretos e leis, as UC's se dividem em duas categorias básicas que refletem os usos permitidos, sendo as UC de proteção integral na qual estão inseridos todos os Parques Nacionais e as UC's de uso sustentável, sendo estas subdivididas em outros grupos, conforme a Figura 19.

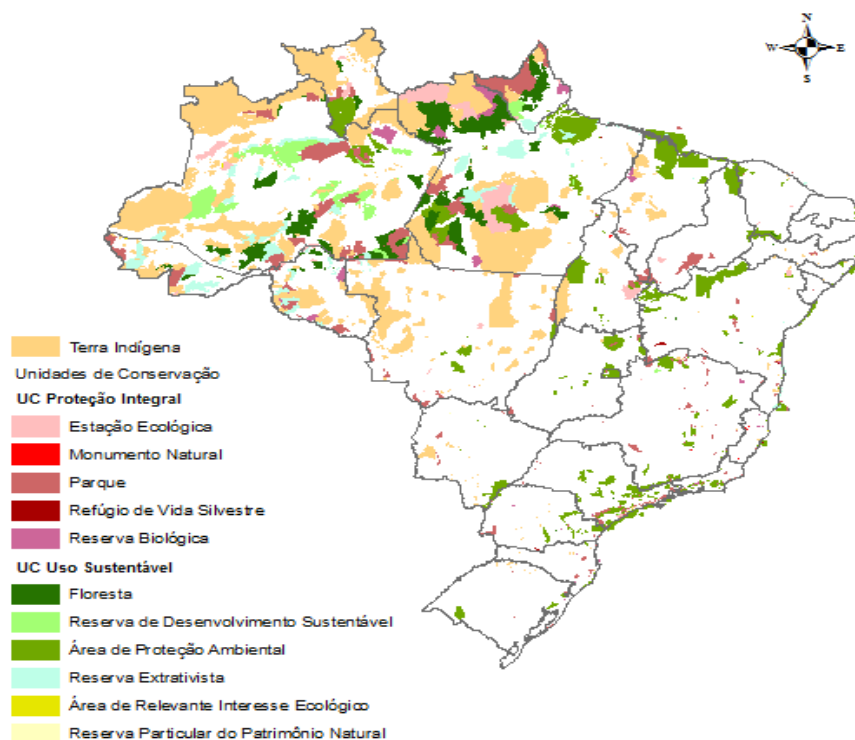


Figura 19. Categorias das UC e suas subdivisões no Brasil. Fonte: SFB, 2017.

No bioma Cerrado, uma das UC's que vem ganhando atenção especial é Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba – PNNRP considerada a maior unidade de conservação de proteção integral do bioma (AGUIAR; MACHADO; MARINHO-FILHO, 2004). O Parque Nacional (PARNA) foi criado por meio do Decreto Federal s/n em 2002, abrangendo uma área de 729.813 ha e parte do topo das Chapadas das Mangabeiras e suas encostas. Estando localizado no divisor das bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Tocantins e Parnaíba sob os domínios do bioma Cerrado entre a região Sul do Piauí e Maranhão, norte do Tocantins e noroeste da Bahia (LIMA, 2009) o Parque apresenta sua fauna bem diversificada com cerca de 60 espécies de mamíferos e 200 espécies de aves, algumas delas ameaçadas de extinção, como veado-campeiro, jaguatirica, onça-pintada, gavião-real, dentre outras (SEMAR, 2010).

O PARNA está inserido na região que apresenta a maior extensão de cobertura vegetal natural do bioma Cerrado (Figura 20), possuindo uma vegetação complexa e diversificada. Machado et al. (2004) afirma que o Parque apresenta tipos fisionômicos pertencentes ao bioma, nelas incluindo a fitofisionomia de campo-cerrado, cerrado típico ou “sensu stricto” e brejo ou veredas, sendo a primeira característica do platô das chapadas, além da fitofisionomia de campo limpo e cerradão (SANTOS, 2001).

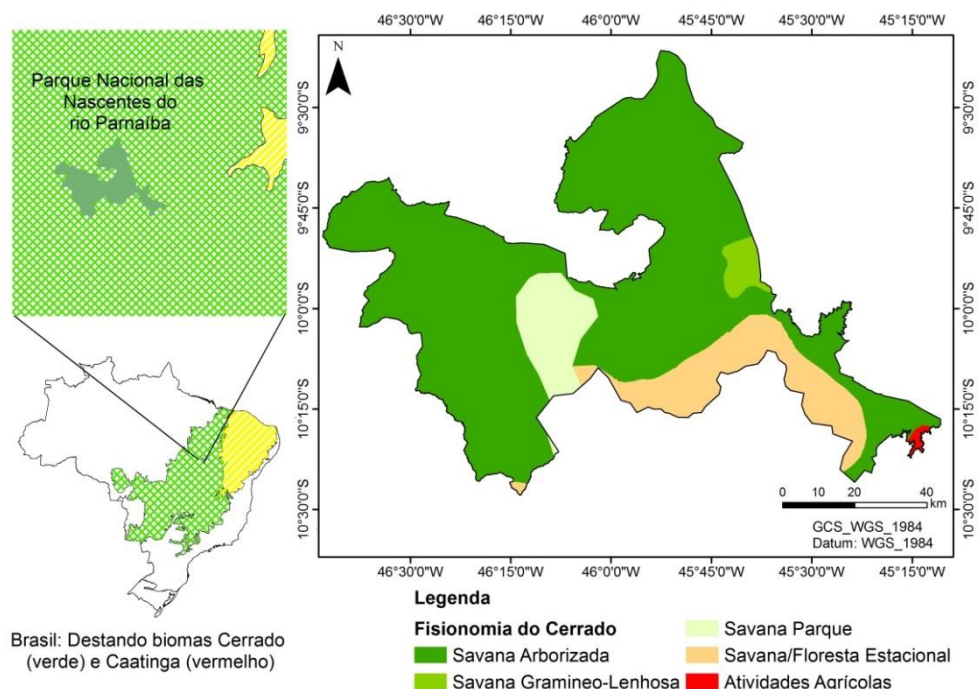


Figura 20. Fitofisionomias de Cerrado no PNNRP. Elaborado por: Cristian Epifânio Toledo, 2017.

Embora a unidade tenha sido criada com o objetivo de proteger as nascentes do Rio Parnaíba, considera a segunda maior bacia hidrográfica do nordeste (BRASIL, 2007) e suas áreas de Cerrado, que através de ocupações humanas e extração desordenada dos recursos naturais, vem sendo ameaçada e sofrendo algumas consequências ambientais. Isso reforça a ideia de que mesmo com o aumento de unidades de conservação, conservar as riquezas existentes e garantir equilíbrio entre os ecossistemas, ainda continua sendo um grande desafio, principalmente por existir inúmeros fatores de origem antrópica capazes de alterar a dinâmica de tais ecossistemas.

Neste contexto, a única dificuldade a se considerar na proteção da Unidade de Conservação, é a uma grande extensão territorial, o que torna difícil cobrir com fiscalização toda a sua área de abrangência. Toda essa questão, somada aos processos de práticas humanas que vem ocorrendo no PARNA (Figura 21), vem comprometendo o seu estado de conservação ao longo dos anos, indo em desacordo com o que está prescrito pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação quanto as práticas de manejo dos PARNAS.

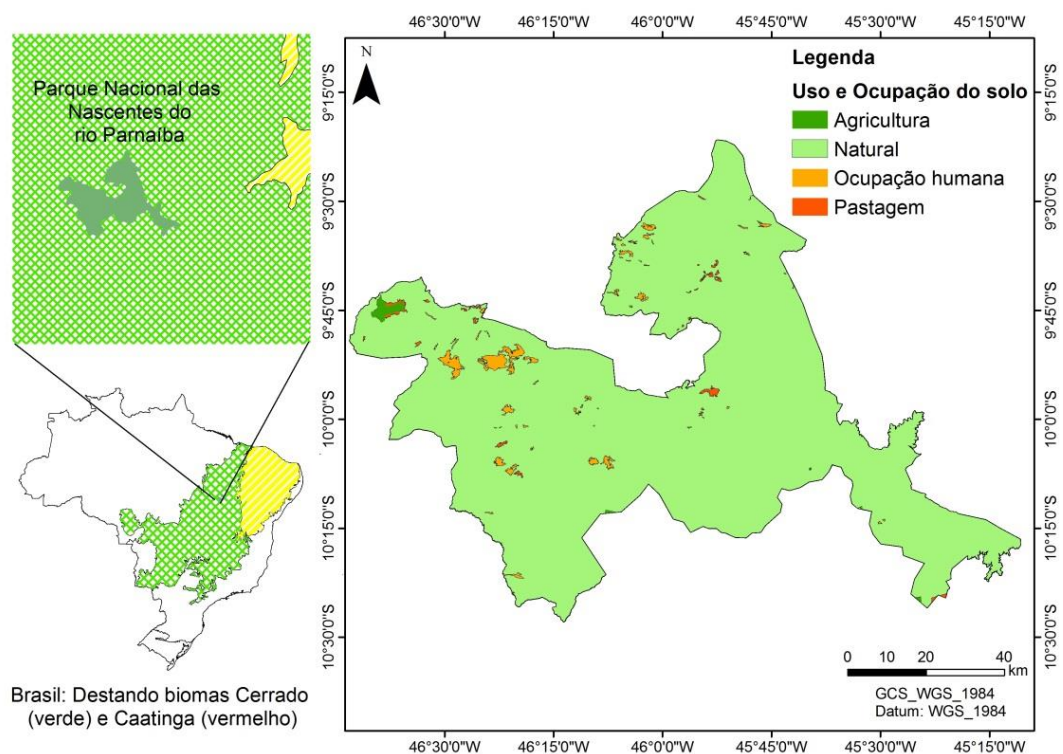


Figura 21. Usos do solo presente no PNNRP. Elaborado por: Cristian Epifânio Toledo, 2017.

Além dos problemas enfrentados no Parque quanto a criação de gado (Figura 22 - A), extração de madeira, capim dourado, folhagem das palmeiras buritiranas pelos moradores do entorno, caça e tráfico constante de animais silvestres, com destaque para as Araras Azuis, para a região as queimadas correspondem ao fator de maior relevância (Figura 22 - B) e que tem afetado a conservação da unidade, principalmente por manejo inadequado das áreas agrícolas (BRASIL, 2007)

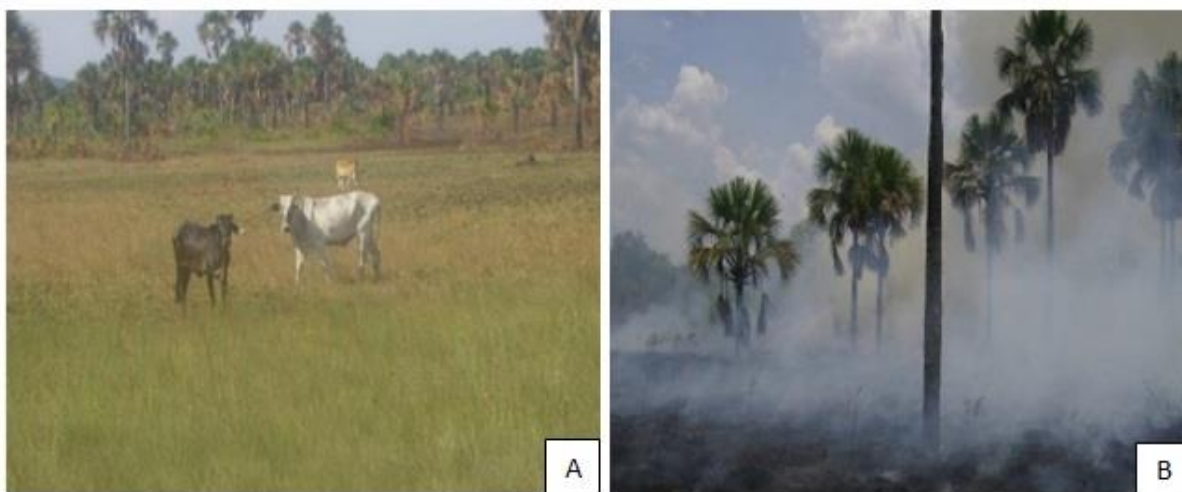


Figura 22. Uso da área do PNNRP para Pastagem extensiva (A) Incêndios no PARNA (B). Fonte: ICMBio, 2014.

Segundo Brasil (2007) de acordo com informações locais, a queima indiscriminada para manejo do pasto nativo em áreas de veredas no interior do Parque é prática anterior a sua criação, sendo esta a principal causa de ocorrência de incêndios florestais. Essa problemática é enfrentada, sobretudo pela ausência do Plano de Manejo para o PARNA e quanto ao processo de regularização fundiária enfrentada até o momento no PNNRP, e que vem comprometendo o seu estado de conservação. Por motivos como esses, constata-se a necessidade da incorporação do plano de manejo ao Parque visto que este desempenha um papel fundamental na qualidade ambiental da região, possuindo uma área extensa e de rica biodiversidade.

Neste contexto, apesar dos problemas apontados no PNNRP, o mesmo ainda encontra-se em boas condições de preservação, se considerarmos toda sua área territorial, necessitando apenas de medidas de monitoramento para evitar ainda mais a ocorrências de processos antrópicos que possam comprometer o seu estado de conservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, G. C. et al. Above and belowground organic matter and root: shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, v. 2, p. 11-23, 1998.

ADUAN, R. E. **Respiração de solos e ciclagem de carbono em cerrado nativo e pastagem no Brasil central**. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2003. Disponível em: <koha.inpa.gov.br/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=3544&shelfbrowse>. Acesso em: 18 de dez. de 2016.

AGUIAR, L. M. S.; MACHADO, R. B.; MARINHO-FILHO, J. A diversidade biológica do Cerrado. In: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A. Cerrado: ecologia e caracterização. Brasília: **Embrapa Cerrados**, 2004. 249 p.

ALBRECHT, A.; KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 99, n. 1, p. 15-27, Oct. 2003.

ALBRECHT, A.; KANDJI, S.T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 99, n. 1, p. 15-27, Oct. 2003.

ALCADE, L. F. E. **Mitigação das emissões de gases de efeito estufa por sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 2011. 105 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de usos da terra. 1. ed. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2002.

BAIRD, C. Química ambiental. Entendendo a mudança do clima: um guia para iniciantes da Convenção-Quadro das Nações Unidas e seu Protocolo de Quioto. 2ª ed. Porto Alegre: **Bookman**. Brasil, 2002.

BALL, B.C.; SMITH, K.A. **Gas movement**. In: SMITH, K.A. & MULLINS, C.E., eds. Soil analysis: Physical methods. New York, Marcel Dekker, 1991. p.511-549.

BARBOSA, R. R. N. et al. Produção e Sequestro de Carbono na Atmosfera. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.16, 2013.

BARRETO, L. V.; FREITAS, A. C. S.; PAIVA, L. C. **Sequestro de carbono**. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Brasil. 10p, 2009.

Batjes, N.; Management Options for Reducing CO²-Concentrations in the Atmosphere by Increasing Carbon Sequestration in the Soil, International Soil. **Reference and Information Centre**: Wageningen. 1999.

Bayer, C.; Bertol, I.; In: Revista. Brasileira de Ciência do Solo, 1999, 23, 687.

BOUWMAN, A. F. et al. Global analysis of the potencial for N₂O production in natural soils. **Global Biogeochemical Cycles**, v.7, n.3, p. 557-597, 1993.

BRASIL, MME – Ministério das Minas e Energia. **Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios de Centrais Hidrelétricas**, 1 ed, v.1, 416 p., 2014.

BRASIL. LEI Nº 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília - DF, 18 de julho de 2000.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios de Centrais Hidrelétricas**, 1 ed, v.1, 416 p., 2014. Disponível em: <<http://www.cepel.br/data/pages/balcar/LivroBalcar.pdf>>. Acesso em: 14 de nov. de 2016.

BRASIL. **Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas**. 2010. Disponível em: <www.casacivil.gov.br>. Acesso em: 15 de nov. 2016.

BURGESS, R. 2017. **Carbon Cycle curriculum**. Disponível em: <<http://www.fibershed.com/education/carbon-cycle-curriculum/>>. Acesso em: 02 de jan. 2017.

BUSTAMANTE, M. M. C.; OLIVEIRA, E. L. **Impactos das atividades agrícolas, florestais e pecuárias nos recursos naturais**. In: IX Simpósio Nacional do Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais. Brasília, 2008. **Anais...** Brasília: UnB, 2008, p. 647-669. Disponível em: <simposio.cpac.embrapa.br/palestras/painel5/palestrapainel5mercedes.pdf>. Acesso em: 14 de nov. de 2016.

BUSTAMANTE, M.M.C.et al . 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. Carbon sequestration in soils of Latin America. New York, **Haworth**, 2006. p.285-304.

C&T Brasil. (2006). **Entendendo a mudança do clima: um guia para iniciantes da Convenção-Quadro das Nações Unidas e seu Protocolo de Quioto**. Disponível em:<<http://www.mct.gov.br/clima>>. Acesso em 16 de nov. de 2015.

CARVALHO, J. L. N. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:277-289, 2010.

CASTRO, E. A. **Biomass, nutrient pool and response to fire in the Brazilian cerrado**. 1996. Dissertação (Mestrado) – Oregon State University, Oregon, 1996. Disponível em: <<https://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/handle/1957/35021>>. Acesso em: 18 de dez. de 2016

CEPAC - **Centro de Excelência e Pesquisa sobre Armazenamento de Carbono**. 2016. Disponível em: <www.pecrs.br/cepac/download/CEPAC_FOLHETO.pdf> Acesso em: 14 dez. 2016.

CERRI, C.C. et al. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2012.

CULTURA MIX. **Cerrado: segundo maior bioma brasileiro**. 2017. Disponível em: <<http://meioambiente.culturamix.com/recursos-naturais/cerrado-segundo-maior-bioma-brasileiro>>. Acesso em: 03 de jan. de 2017.

CUNHA, N.R.S. et al. A Intensidade da Exploração Agropecuária como Indicador da Degradação Ambiental na Região dos Cerrados, Brasil. **RER, Piracicaba, SP**, vol. 46, nº 02, p. 291-323, 2008.

DAVIDSON, E. A. et al. Belowground carbon allocation in forests estimated from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**, San Andreans, v. 113, n. 1/4, p. 39-51, 2002.

DIAS, J.D. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa a Amazônia**. 2006. 87f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-04102006-163445/pt-br.php>. Acesso em: 18 de dez. de 2016.

EFIGÊNIO, F. J. DO Ó. **Efeito de coberturas de solo em olival**. Universidade do Algarve, Instituto Politécnico de Beja. Beja. Portugal. 44p, 2007.

EMBRAPA. **Agência de Informação Embrapa: Bioma Cerrado**. 2017. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_52_911200585234.html>. Acesso em: 03 de jan. de 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Solos do cerrado**. CLÁUDIO SANZONOWICZ, 2007 Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_14_911200585231.html. Acesso em: 11 de jan. de 2017.

ESCOBAR, L. F. **Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em solo do Planalto Médio do Rio Grande do Sul**. 2008. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Disponível em: <<http://www.sulflux.ufsm.br/sulflux/images/publicacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Luisa%20Fernanda%20Escobar.pdf>>. Acesso em : 21 de Ago. 2016.

ESCOBAR, L. F. et al. Postharvest nitrous oxide emissions from a subtropical Oxisol as influenced by summer crop residues and their management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p. 507-516, 2010.

ESWARAN, H.; VAN DEN BERG, E. & REICH, P. Organic carbon in soils of the word. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 57:192-194, 1993.

FORSTER, P., V. et al. **Changes in atmospheric constituents and in radioactive forcing**. In: Climate Change 2007: The Physical Science Bases. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças Climáticas – Guia de Informação**. 1a edição. Brasília, 2002.

GRACE, J. et al. Productive and carbon fluxes of tropical savanas. **Journal of Biogeography**, v. 33, p. 387-400, 2006.

HALMANN, M. M.; STEINBERG, M. Greenhouse gas carbon dioxide mitigation. **Science & Technology**, Lewis: Boca Raton, FL, 1999.

HENRIQUES, R.P.B. 2005. **Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma Cerrado**. In: Scariot, A. et al. (Orgs). Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p. 73-92.

HOUGHTON, J. **Global Warming**. Cambridge University Press, 2a. Ed, 242 p., 1997.

HOUGHTON, J. Global Warming. Report on Progress in Physics. **Bristol**, v. 68, n. 6, p. 1343-1403, 2005.

HOUGHTON, R. A. (1994) As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões actuais. In: EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO² – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL.

ICF CONSULTING. Carbon credits. Disponível em: <http://search.icfi.com/search?q=carbon%20credits&site=ICFi&sort=date%3AD%3AL%3Ad1&output=xml_no_dtd&oe=UTF-8&ie=UTF-8&client=ICF&proxystylesheet=ICF>. Acesso em 28 de novembro de 2008.

ICMBio -INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Contexto atual do Parna Nascentes do Rio Parnaíba**. Brasília: ICMBio. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal>>. Acesso em: 09 de nov. de 2016.

INSTITUTO MADEIRA. 2017. Disponível em: <http://www.institutodamadeira.com.br/2011_04_01_archive.html>. Acesso em 16 de jan. de 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climatic Change 2007: Synthesis Report**. Cópia não editada, 2007. 23 p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Special report. emissions scenarios. **Summary for Policymakers**, Montreal: IPCC, 2005.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2001: Synthesis Report. Working Group I. **Technical summary**. Geneva, 2001.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007 - **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Working Group I. **Technical summary**. Cambridge University Press, Cambridge, 2013.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 2014.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 1995: the science of climate change. Contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 572 p. 1996.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p., 2013.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories** (2006). Disponível em <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl.2006>>Acesso em 18 de nov. de 2016.

Khalil, M.I., Inubushi, K. Possibilities to reduce rice straw-induced global warming potential of a sandy paddy soil by combining hydrological manipulations and urea-N fertilizations. **Soil Biology and Biochemistry**, 39, 2675-2681, 2007.

Krupa, S.V. Global Climate Change: processes and products – an overview. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 46, p. 73-88, 1997.

LAL, R. Carbon emission from farm operations. **Environment International**, Oxford, v. 30, n. 7, p. 981-990, 2004.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, v. 304, p. 1623-1627, 2004.

LAL, R. **Soil carbon sequestration in Latin America**. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J. & CERRI, C.E.P. Carbon sequestration in soils of Latin America. New York, Haworth Press, 2006. p.49-64.

LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B. A. World soils as a source or sink for radiatively-active gases. In: LAL, R. et al. (Eds.) Soil management and greenhouse effect: advances in soil science. **Boca Raton**: CRC Lewis Publishers, 1995. p. 1-7.

LIMA, E.S. et al. Mudanças pós-fogo na estrutura e composição da vegetação lenhosa, em um cerrado mesotrófico, no período de cinco anos (1997-2002) em Nova Xavantina, MT. **Cerne**, v.15, n.4, p.468-480, 2009.

LIMA, M. G. M. **Mamíferos de médio e grande porte do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, Brasil**. 2009. 143f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) – Museu Paraense Emílio Goeldi, Universidade Federal do Pará, Belém – PA. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp115678.pdf>. Acesso em: 5 de jan. de 2017.

LUYSSAERT, S. et al. Old-growth forests as global carbon sinks. **Nature**, v.455, p.213-215, 2008.

MACHADO, P. L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, Vol. 28, No. 2, 329-334, 2005.

MACHADO, R. B. et al. Estimativas de perda da área de Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. **Conservation International do Brasil**, Brasília, 2004.

MACHADO, R. B. et al. Estimativa de perdas da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. **Conservation International do Brasil**, Brasília, 2004.

MAESTRI, R. **Análise Econômica da Atividade Florestal visando sequestro de carbono: efeito do clima na produtividade e rentabilidade do empreendimento**. [2003]. [S.l.].

MARINHO, E. V. A. **Medidas de óxido nitroso em ecossistemas naturais do Brasil**. São Paulo 114p. Tese de Doutorado (Departamento de Geofísica) - Universidade de São Paulo, 1993. Disponível em: www.iag.usp.br/.../portugues/.../medidas-de-óxido-nitroso-em-ecossistemas-naturais-d.. Acesso em: 02 de jan. 2017.

MARTINS, C. R. et al. Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre: a importância na química na atmosfera. **Cadernos temáticos de química nova na escola**, n. 5, 2003.

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa**. Ed. 2. Brasília, 2014. Disponível em: <www.ghgprotocol.org/files/ghgp/event%20sheet.pdf>. Acesso em: 18 de dez. de 2016.

MEIER, P. et al. Soil respiration in Amazônia and in cerrado in central Brazil. In: GASH, J. C. H. et al. **Amazoniana deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996. p. 319-330.

MELILLO, J.M. et al. . Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system. **Science**, 298:2173-2176, 2002.

MELO, V. G. **Uso de espécies nativas do bioma cerrado na recuperação de área degradada de Cerrado Sentido Restrito, utilizando lodo de esgoto e adubação química**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006. Publicação EFLM 063. 7 p. Disponível em: <snida.agricultura.gov.br:81/binagri/bases/agb/Agb_Docs.../BR2011004175.pdf>. Acesso em: 18 de dez. de 2016.

MIRANDA, A. C. et al. Carbon dioxide fluxes over a cerrado sensu stricto in Cerrado Brazil. In: GASH, J. (Ed) **Amazonian deforestation and climate**. New York: **John Wiley & Sons**, 1996. p. 353-363.

MIRANDA, A. C. et al. Fluxes of carbono water and energy over Brazilian cerrado: na analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant Cell and Environment**, v. 20, p. 315-328, 1997.

MIRANDA, H. S.; NETO, W. N.; NEVES, B. M. Caracterização das queimadas de cerrado. In: MIRANDA, H. S. **Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de cerrado**: resultados do projeto fogo. Brasília: IBAMA, 2011. 144 p.

MITCHELE, I. F. B. The greenhouse effect and climate change. **Reviews of Geophysics**, v.27, n. 1, 1989. p. 115-139.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba**. Corrente, 2007. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos_operativos/37-parque_nacional_nascentes_rio_parnaiba-pi.pdf>. Acesso em: 14 de jan. de 2017.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: cerrado**. Brasília: MMA, 2011. 200 p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado - PPC Cerrado**. Brasília: MMA, 2009.

Disponível em: <www.mma.gov.br/.../controle...prevenção...desmatamento/plano-de-ação-para-cerrad...>. Acesso em: 14 de jan. de 2017.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 729p, 2006.

MOSS, A. R. Methane: global warming and production by animal. **Chalcombe Publications**. Kent, U. K. 105 pp. 1993.

MOSS, A. R; JOUANY, J. P; NEWBOLD, J. Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. **Ann Zootech.**, 49: 231-253. 2000.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NASCIMENTO, J. J. V. R. et al. Balanço de carbono, aquecimento global e recuperação áreas degradadas. **Revista Verde**, v.6, n.2, p. 14. Mossoró – RN, 2011.

NASSAR, A. M. et al. Relatório Final “Modelagem do Uso da Terra no Brasil”. Documento Preparado para o “Estudo de Baixo Carbono para o Brasil” coordenado pelo Banco Mundial. **ICONE**, 2010. 94p.

OHSE, S. et al. Revisão: Sequestro de carbono realizado por microalgas e florestas e a capacidade de produção de lipídios pelas microalgas. **INSULA Revista de Botânica**, Florianópolis, v. 36, p. 39, jan. 2007. ISSN 2178-4574. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/insula/article/view/15121/13773>>. Acesso em: 07 de jan. de 2017.

OLIVEIRA JÚNIOR, H. A. **O Sequestro de carbono para o combate ao efeito estufa**. 2003. 35f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) – FERLAGOS, Uberaba, 2003. Disponível em: <www.educadores.diaadia.pr.gov.br/modules/mydownloads_01/visit.php?cid=68...>. Acesso em: 14 de jan. de 2017.

OTTMAR, R. D. et al. **Stereo photo series for quantifying Cerrado fuels in Central Brazil**. Washington: USDA – USAID; Brasília, DF: UnB, 2001, v.1. il.

PINTO, A. S. et al. Soil emissions of N₂O, NO, and CO₂ in Brazilian savanas: effects of vegetation type, seasonality, and prescribe fires. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, p. 8089-8086, 2002.

POLWSON, D.S. Will soil amplify climate change? **Nature**, v.433, p.204-205, 2005. Quioto. 2ª ed. Porto Alegre: **Bookman**. Brasil, 2002.

REES, R.M. et al. The role of plants and land management in sequestering soil carbon in temperate arable and grassland ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, p. 130-154, 2005.

REZENDE, A. V. **Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado sensu stricto submetido a diferentes distúrbios por desmatamento**. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. Disponível em: <
faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/.../s3uYeFzbuQnRuAe_2013-4-29-14-23-37.pdf
>. Acesso em: 18 de dez. de 2016.

RIBEIRO, J. F.; DIAS, T. (Orgs.). Diversidade e conservação da vegetação e da flora. In: MMA. Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p.21-138, 2007.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. Cerrado: ambiente e flora. Planaltina-DF: **EMBRAPA-CPAC**, 2001. p. 89-116.

ROBERTSON, G. P., PAUL, E. A., HARWOOD, R. R. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. **Science**, Washington, v. 289, n. 5486, p. 1922-1925, 2000.

ROCHA, H. R. et al. Measurements of CO² exchange over a woodland savana (cerrado Sensu stricto) in southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 2, p. 1-11, 2002.

SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J.F. Cerrado: ecologia e flora. Brasília: **Embrapa Cerrados**, 117 p. 174 p. 394 p. 2008.

SANQUETA, C. R. **Métodos de determinação de biomassa florestal**. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). As florestas e o carbono. Curitiba: UFPR, Impr. Univ., 2002. p. 119-140.

SANTOS, F. C. **Trocas gasosas de CH₄ e N₂O entre solo e atmosfera em diferentes tipos de cobertura nos municípios de Belterra e Santarém, Pará**. 2012. 46f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2012. Disponível em: <
www.ufopa.edu.br/academico/pos-graduacao/banco-de-teses/ppg-rna/.../file>
Acesso em: 13 de dez. de 2016.

SANTOS, M. P. D. Composição de avifauna nas áreas de proteção ambiental Serra da Tabatinga e Chapada das Mangabeiras, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. 17 (1): 43-67, 2001.

SAWYER, D. Perfil do ecossistema *Hotspot* de biodiversidade do Cerrado. **Critical Ecosystem**, 2016. Disponível em: <
www.cepf.net/SiteCollectionDocuments/cerrado/CerradoEcosystemProfile-PR.pdf >. Acesso em: 14 de dez. de 2017.

SCHOLES, M. C.; POWLSON, D.; TIAN, G.; Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, n. 1/4, p. 25-47, 1997.

SCHOLES, M.C.; POWLSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, 79:25-47, 1997.

SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBREECOSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL: O AMBIENTE DA FLORESTA, 1., 1996, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1996. p. 65-77.

SEMAR - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. 2010. **Projeto Básico para Demarcação Topográfica, Levantamento Cadastral Físico, Agrícola e Jurídico, bem como Realização de Ações de Educação Ambiental e Comunicação Social na Região do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.** Teresina, PI: 2010. Disponível em : <srvapp.tce.pi.gov.br/licitacao/lcw_licitacaovisualizaman.do?evento=download>. Acesso em: 02 de jan. de 2017.

SERON, A. B. B. **Análise das emissões de gases do efeito estufa na produção do milho através da fertilização por resíduos de biocombustível.** Estudo de caso: Dedelow – Brandemburgo – Alemanha. 2013. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, SP. Disponível em:< repositorio.unesp.br/handle/11449/121132> Acesso em: 14 de nov. de 2016.

Serviço Florestal Brasileiro – SFB. Recursos Florestais: os biomas e suas florestas. 2016. Disponível em : <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/os-biomas-e-suas-florestas>>. Acesso em : 03 de jan. de 2017.

SHRESTHA, R. K.; LAL, R. Ecosystem carbon budgeting and soil carbon sequestration in reclaimed mine soil. **Environment International**, v.32, p.781-796, 2006.

SILVA, J. M. C; BATES, J.M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna Hotspot. **BioScience**, v. 52,n. 3, p. 225-233, 2002.

SMITH, K. A.; McTAGGART, I. P. & TSURUTA, H. Emissions of N₂O and NO associated with nitrogen fertilization in intensive agriculture, and the potential for mitigation. **Soil Use and Management**.13, supplement 4, 296-304. 2003.

SNYDER, C. S. et al. Review of greenhouse gas emission from crop production system and fertilizer management effects. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, Oxford, v. 133, n. 3-4, p. 247-266, 2009.

SOLOMONS, S. et al. **Climate Change 2007: The Physical Science Bases. Contributions of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

TANSEY, K. et al. A global inventory of burned áreas at 1 km resolution for the year 2000 derived from Spot Vegetation data. **Climatic Change**, v. 67, n. 2. 345 – 377, 2004.

Theng, B. K. G. Em Soil Structure and Aggregate Stability; Rengasamy, P., ed.; Seminar Proceedings. Institute of Irrigation and Salinity Research: **Tatura**, Australia, 1987.

TIAN, H. et al. Spatial and temporal patterns of CH₄ and N₂O fluxes in terrestrial ecosystems of North America during 1979-2008: application of a global biogeochemistry model. **Journal of Geophysical Research. Biogeosciences**, Hoboken, v. 7, n. 2, p. 2673-2694, 2010.

TIAN, H. et al. The sensitivity of terrestrial carbon storage to historical climate variability and atmospheric CO₂ in the United States. **Tellus**. n. 15B, p. 414-452, 1999.

UNEF – Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana. 2017. Disponível em: <http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/q_ciclocarbono.html>. Acesso em: 14 dez. 2017.

UNFCCC, 2006. Disponível em: <http://unfccc.int> acessado em 26 de maio de 2013
Universidade do Algarve, Instituto Politécnico de Beja. Beja. Portugal. 44p.

VAN de GEIJN, S.C.; VAN VEEN, J.A. Implications of increased carbon dioxide levels for carbon input and turnover in soils. **Vegetatio**, p. 104/105, 1993.

Varela, R. E. et al. Anxiety reporting and culturally associated interpretation biases and cognitive schemas: A comparison of Mexican, Mexican American, and European American families. **Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology**, 33, 237–247, 2004.

VIEIRA, E.M.; PALMA, A.R.T. 2005. Pequenos mamíferos de Cerrado: distribuição dos gêneros e estrutura das comunidades nos diferentes habitats. In Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação (A. Scariot, J.M. Felfili e J.C. Sousa-Silva, eds.). Brasília: MMA, p. 265-282, 2005.

VIEIRA, S. S., ZOTTI, C. A., PAULINO, V. T. Práticas de manejo para minimizar a emissão de gases de efeito estufa associadas ou não ao uso de fertilizantes. **Capril Virtual**, 2010. Disponível em: <<http://www.caprilvirtual.com.br/Artigos/PraticasMinimizarEfeitoEstufa.pdf>>. Acesso em : 16 de nov. de 2016.

VIEIRA, S. S., ZOTTI, C. A., PAULINO, V. T. Práticas de manejo para minimizar a emissão de gases de efeito estufa associadas ou não ao uso de fertilizantes. **Capril Virtual**, 2010. Disponível em: <<http://www.caprilvirtual.com.br/Artigos/PraticasMinimizarEfeitoEstufa.pdf>>. Acesso em : 16 de Ago. 2016.

VITOUSEK, P. M. et al. Human domination of Earth's Ecosystems. **Science**. n, 277, p. 494-499, 1997.

WALTER, B. M. T. 2006. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**: síntese terminológica e relações florísticas. Brasília: Insituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília. Tese de Doutorado em Ecologia. Disponível em: <www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co.>. Acesso em: 18 de dez. de 2016.

Wanner, H. Soil respiration, litter fall and productivity of tropical vegetation types. **Ecology**, Washington, v. 48, p. 652-653, Oct, 1979.

WATZLAWICK, L. F. et al. **Fixação de carbono em floresta ombrófila mista em diferentes estágios de regeneração**. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). As florestas e o carbono. Curitiba: UFPR, Impr. Univ., 2002. p. 153-173.

WUEBBLES, D. J.; HAYHOE, K. Atmospheric methane and global change. **Earth Science Reviews**, Boston, v. 57, n. 1, p. 177.

6. CAPITULO I

ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO SOLO SOB FITOFISIONOMIAS DE CERRADO SENSU STRICTO E CERRADÃO NO PARQUE NACIONAL DAS NASCENTES DO RIO PARNAÍBA – PNNRP

6.1 RESUMO

O Cerrado brasileiro é considerado a maior savana neotropical, abrangendo aproximadamente 2 milhões de área original. Além disso, o bioma aporta a maior diversidade biológica entre as savanas mundiais e representa uma parcela significativa dos ecossistemas tropicais do planeta. Embora, o bioma disponha de elevada importância biológica e ambiental no cenário mundial, no cerrado brasileiro observa-se nas últimas décadas, um intenso processo de destruição através do desmatamento de suas áreas, particularmente ligadas às atividades produtivas o que reduz o papel fundamental do bioma no ciclo global do carbono, em seu potencial assimilador e acumulador de C e demais gases de efeito estufa (GEE), tanto pelo solo quanto pelos vegetais. Logo, o processo de conversão de áreas naturais através do desmatamento em diferentes sistemas de uso do solo torna-se atuante em todo o Brasil, se caracterizando como uma das importantes fontes de emissão de GEE, podendo exercer grande influência sobre as mudanças climáticas, disponibilidade de nutrientes para o solo e manutenção de sua qualidade. Neste sentido, o trabalho objetivou avaliar a qualidade do solo medida por indicadores químicos e físicos no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba sob fitofisionomias de Cerrado Ssensu Stricto e Cerradão. Para esta avaliação foram delimitadas duas parcelas de 1 ha sob duas fitofisionomias do Cerrado (Ssensu Stricto e Cerradão) no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, as quais foram subdivididas em cinco sub-parcelas equivalente a 0,2 ha. Nas duas fitofisionomias foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0.00 – 0.05 m e 0.05 – 0.10 m, buscando avaliar quanto atributo químicos os teores, níveis e concentração de K, Ca, P ext, pH, Al, H+Al, NT, COT, Mg, Soma de bases, CTC T, CTC t, V% como também os percentuais de umidade do solo e seu estado de adensamento sob condições naturais. Para as determinações químicas, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm e analisadas conforme metodologia específica. As determinações físicas foram realizadas por meio de anel volumétrico para densidade e pesagem e secagem em estufa para umidade do solo. O estudo verificou enquanto atributos químicos os solos estudados encontram-se naturalmente ácidos, com baixa disponibilidade de bases trocáveis e reduzida fertilidade natural. Em geral, foram poucas variações significativas quanto características químicas do solo para as fitofisionomias analisadas. Quanto atributo físico verificou-se relevante variação para umidade e densidade do solo, sendo a fitofisionomia de Cerradão portadora de maior umidade e Ssensu Stricto maior nível de adensamento natural do solo. Deste modo, destaca-se um equilíbrio dinâmico entre as propriedades químicas e físicas dos solos das fitofisionomias de Cerrado do Parque, apresentando qualidade natural típicas das áreas desse bioma.

Palavras- chaves: Cerrado. Unidades de Conservação. Atributos físicos do solo.

CAPITULO I

SOIL QUALITY ATTRIBUTES UNDER CERTAIN SENSU STRICT AND CERRADIUM VEGETABLES IN PARNAÍBA RIO NASCENTES NATIONAL PARK - PNNRP

6.2 ABSTRACT

The Brazilian Cerrado is considered the largest neotropical savanna, covering approximately 2 million original area. In addition, the biome brings the greatest biological diversity among the world's savannas and represents a significant portion of the planet's tropical ecosystems. Although the biome has a high biological and environmental importance in the world scenario, in the Brazilian cerrado it is observed in the last decades an intense destruction process through the deforestation of its areas, particularly linked to the productive activities, which reduces the fundamental role of the biome. In the global carbon cycle, in its potential assimilator and accumulator of C and other greenhouse gases (GHG), both by soil and by plants. Therefore, the process of conversion of natural areas through deforestation in different land use systems becomes active throughout Brazil, being characterized as one of the important sources of GHG emissions, which can exert a great influence on climate change, availability of nutrients to the soil and maintenance of its quality. In this sense, the objective of this work was to evaluate soil quality as measured by chemical and physical indicators in the Nascentes do Rio Parnaíba National Park under Cerrado Ssensu Stricto and Cerradão phytophysognomies. For this evaluation, two 1 ha plots were delineated under two phytophysognomies of the Cerrado (Ssensu Stricto and Cerradão) in the Parnaíba River National Park, which were subdivided into five subplots equivalent to 0.2 ha. In the two phytophysognomies, soil samples were collected at depths of 0.0 – 0.05 m and 0.05 – 0.10 m, aiming to evaluate the chemical attributes of K, Ca, P ext, pH, Al, H + Al, NT, COT, Mg, Base Sum, CTC T, CTC t, V% as well as the percentages of soil moisture and their state of densification under natural conditions. For the chemical determinations, the samples were air dried, torn and sieved with 2 mm mesh and analyzed according to specific methodology. The physical determinations were performed by volumetric ring for density and weighing and oven drying for soil moisture. The study verified as chemical attributes the studied soils are naturally acidic, with low availability of exchangeable bases and reduced natural fertility. In general, there were few significant variations in soil chemical characteristics for the analyzed phytophysognomies. Regarding physical attributes, soil moisture and soil density variation were observed, being the Cerradão phytophysognomy with higher humidity and Ssensu Stricto higher level of natural soil densification. Thus, a dynamic balance between the physical and chemical properties of the soils of the Park's Cerrado phytophysognomies, presenting natural quality typical of the areas of this biome, stands out.

Key words: Cerrado. Conservation units. Physical attributes of soil.

6.3 INTRODUÇÃO

As crescentes mudanças no uso da terra estão entre as principais causas do aumento das emissões dos GEE para a atmosfera, especificamente CO₂, CH₄ e N₂O. Esse aumento nas concentrações atmosféricas trazem relevantes consequências ambientais para os ecossistemas naturais, entre elas o aumento da temperatura e alterações no regime pluviométrico, promovendo variações consideráveis, como eventos de precipitação mais intensos (WATSON, 2001).

O Cerrado brasileiro, considerado a maior savana neotropical (CASTRO, 1996), com aproximadamente 2 milhões de área original (RIBEIRO e WALTER, 1998) apresenta a maior diversidade biológica entre as savanas mundiais (MYERS et al., 2000) e representa uma parcela significativa dos ecossistemas tropicais do planeta. Com sua elevada importância biológica e ambiental no cenário mundial, no cerrado brasileiro observa-se que nas últimas décadas, há um intenso processo de destruição através da conversão da cobertura vegetal por atividades produtivas, particularmente ligadas à agropecuária (MACHADO, 2004) e isso reduz o papel fundamental do bioma no ciclo global do carbono, em seu potencial assimilador e acumulador de C e demais gases de efeito estufa, tanto pelo solo quanto pelos vegetais.

Nesse contexto, nota-se que o processo de conversão de áreas naturais através do desmatamento em diferentes sistemas de uso do solo (MONZONI, 2009) é atuante em todo o Brasil, se caracterizando como uma das importantes fontes de emissão de GEE, além de exercer grande influência sobre as mudanças climáticas (CARDOSO et al., 2009), disponibilidade de nutrientes para o solo e manutenção de sua qualidade natural. Assim, reduzir o desmatamento e recuperar áreas florestais são maneiras de mitigar as consequências dessas mudanças climáticas e também de garantir a manutenção de ecossistemas significativos a conservação da biodiversidade e qualidade dos solos (BRITZ et al. 2006).

Embora o Cerrado se apresente vulnerável a processos que reduzam grande parte de sua cobertura vegetal e contribua para perda de qualidade dos solos, a presença de áreas protegidas no bioma representa um elevado potencial no papel de mitigar as emissões de GEE para atmosfera e preservar os ecossistemas terrestres. Para Somogyi et al. (2006) ecossistemas terrestres (solo e vegetação) podem ser considerados como sumidouros de carbono, devido ao potencial das

florestas de sequestrar o CO₂ atmosférico durante seu desenvolvimento, reduzindo sua concentração na atmosfera e retendo o carbono na biomassa e nos solos, melhorando a sua qualidade (SMITH et al., 2008).

Esse importante papel das áreas protegidas na manutenção da qualidade dos ecossistemas brasileiros vem ganhando destaque principalmente em áreas cobertas pelo Cerrado, como é o caso do Sul do Estado do Piauí, que apresenta áreas de relevante interesse para a preservação dos recursos naturais existentes no bioma. Com isso, uma das grandes questões ligadas à conservação do Cerrado é a existência do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba - PNNRP, considerado a maior unidade de conservação do bioma no Brasil.

O PNNRP corresponde à unidade de conservação de proteção integral dos recursos naturais presentes na região e exerce grande influência sobre as alterações globais do clima e qualidade dos ecossistemas terrestres. No entanto, apesar de se tratar de unidade de conservação de proteção integral, a mesma enfrenta grandes problemas quanto a incêndios florestais, o que afeta a qualidade dos ecossistemas. Tansey et al. (2004) estimaram que 67% da área de queimada no Brasil em 2000 estava no Cerrado, e a destruição dos ecossistemas que constituem este bioma, continua de forma acelerada ao longo dos anos.

Toda essa problemática, além de alterar os estoques e fluxos de carbono nos solos, elevar a temperatura, diminuir o regime pluviométrico e contribuir para o aumento da duração da estação seca, podem deslocar as trocas líquidas do ecossistema de dreno para a fonte de C e intensificar outros processos degradativos, que sejam atuantes no bioma e ainda reduzir os estoques de nutrientes do solo, alterando drasticamente seus atributos (BUSTAMANTE, et al., 2012).

Nessa perspectiva, a preservação e manutenção das unidades de conservação, apesar dos processos de degradação a que estão sujeitas, contribui na redução de CO₂ para a atmosfera e garante significativa influência destas áreas na sobre os atributos do solo, tanto pela ciclagem de nutrientes quanto pela disponibilidade destes no solo (RENNER, 2008). Desta forma, o trabalho objetivou avaliar a qualidade do solo medida por indicadores químicos e físicos no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba sob fitofisionomias de Cerrado *Sensu Stricto* e Cerradão.

6.4 MATERIAL E MÉTODOS

6.4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba – PNNRP, Unidade de Conservação de Proteção Integral criada por Decreto Federal em 2002, abrangendo uma área de 729.813 ha e parte do topo das Chapadas das Mangabeiras e suas encostas. O PNNRP está localizado no divisor das bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Tocantins e Parnaíba e compreende os domínios do bioma Cerrado entre a região Sul do Piauí e Maranhão, norte do Tocantins e noroeste da Bahia (LIMA, 2009). Com sua expressiva extensão territorial, a maior parte de sua área está localizado no Estado do Piauí cobrindo os municípios de Gilbués, São Gonçalo do Gurguéia, Barreiras do Piauí e Corrente, além dos municípios de Formosa do Rio Preto na Bahia, Mateiro, São Félix e Lizarda no Tocantins e Alto do Parnaíba no Maranhão (Figura 23).

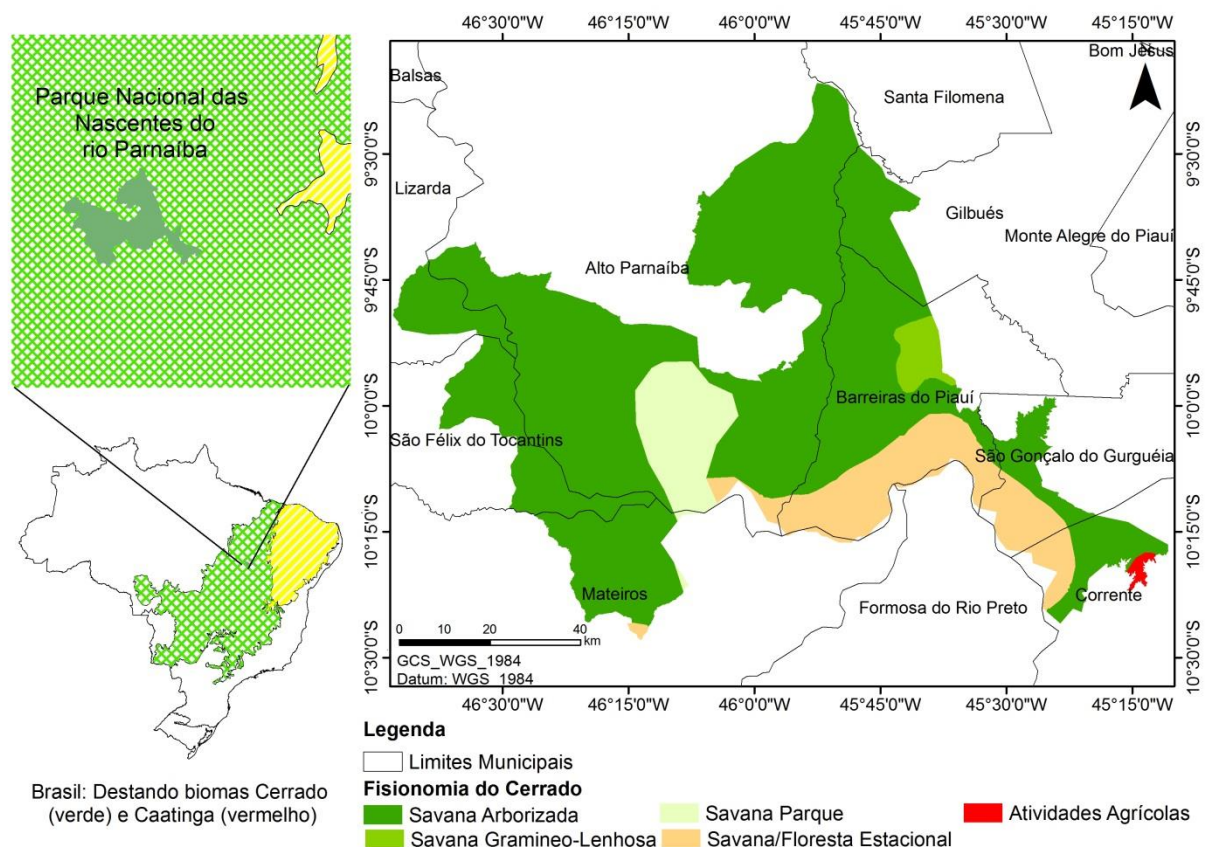


Figura 23. Localização geográfica do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Elaborado por Cristian Epifânio Toledo, 2017.

Dada sua localização na porção centro-ocidental do Nordeste brasileiro, o estudo foi realizado na porção piauiense do PNNRP, especificamente em área

correspondente ao município de Barreiras do Piauí. A caracterização física do Parque Nacional - PARNA está descrita a seguir:

- **Vegetação**

O PARNA está inserido na região que apresenta a maior extensão de cobertura vegetal natural do bioma Cerrado, possuindo uma vegetação complexa e diversificada. Machado et al. (2004) afirma que o Parque apresenta tipos fisionômicos pertencentes ao bioma, nelas incluindo a fitofisionomia de campo-cerrado, cerrado típico ou “sensu stricto” e brejo ou veredas, sendo a primeira característica do platô das chapadas. Além destas, Santos (2001) reconheceu mais duas fitofisionomias nas porções do Parque, sendo elas o cerrado campo limpo e cerradão.

- **Relevo**

Segundo MMA (2007) as partes terminais da Chapada apresentam perfis irregulares e sinuosos, formando escarpas bem definidas na parte superior, com paredões e perfis verticalizados e em sua maioria desprovidos de cobertura vegetal. A depressão subsequente desenvolve-se abaixo dos rebordos festonados, em nível médio aproximado de 400 m a 800 m. A área tem importância fundamental por tratar-se das nascentes obsequentes que tendem a promover, por erosão regressiva, o recuo da escarpa e dos rebordos da chapada. Possui veredas que são planícies fluviais de acumulação inundáveis, constituídas por sedimentos holocênicos de textura predominantemente arenosa, estabelecidas a uma altitude média aproximada de 20 a 30 metros de rebordo da chapada, assim originando numerosos córregos.

- **Solo**

Os solos nestas chapadas são profundos e de baixa fertilidade natural e nos declives das vertentes apresentam-se arenosos rasos e pobres, com a presença de afloramentos rochosos e com alta permeabilidade (FURPA, 2000). As principais associações ou classes de solos dominantes são: Latossolos vermelhos amarelos; solos litólicos + podzólicos vermelhoamarelos concrecionários + afloramentos rochosos; latossolos vermelhoamarelos + neossolos quartzarênicos + podzólicos acinzentados + neossolos quartzarênicos hidromórficos; neossolos quartzarênicos + neossolos aluviais (MMA, 2007).

- **Geologia**

A região do PNNRP do ponto de vista geológico estrutural integra a bacia sedimentar do Maranhão-Piauí e a Bacia Sanfranciscana. Na área das nascentes predomina a Formação Sambaíba ou Balsas de idade triássica e subjacente à Formação Urucuia. É constituída de arenitos, róseos, avermelhados, amarelados e brancos de granulometria fina a média. Sua maior extensão encontra-se no estado da Bahia. No Piauí, Maranhão e Tocantins, representa o topo da Chapada das Mangabeiras sendo denominada de Formação Urucuia (MMA, 2007).

- **Hidrologia**

As chuvas, como fonte de suprimento, tendem a modificar de modo temporário a água disponível em superfície, no solo e no subsolo. As condições geomorfológicas influenciam através das características dos compartimentos do relevo com repercussões nos perfis longitudinais dos rios e nos seus respectivos vales. Na Chapada das Mangabeiras recoberta por arenitos da Formação Urucuia a excessiva permeabilidade dos terrenos impede a concentração de água em superfície, toda a água precipitada tende a percolar até ressurgir na base do escarpamento como fontes perenes que formam as nascentes fluviais. Quanto às águas subterrâneas, as águas profundas, a exemplo do que se verifica na Chapada das Mangabeiras e na depressão subsequente, correspondem respectivamente aos aquíferos Urucuia e Sambaíba e as águas subterrâneas próximas à superfície do solo, deve-se considerar os aquíferos das veredas em sedimentos de neoformação (MMA, 2007).

- **Clima**

Quanto às chuvas, a região apresenta duas estações climáticas bem definidas, característica das regiões tropicais, correspondente a um período seco, que vai de maio a novembro e outro chuvoso, que vai de dezembro a abril, aproximadamente. Por outro lado estas chuvas apresentam uma alta variabilidade interanual típica das regiões semiáridas. O ciclo das chuvas é regulado pelas massas: Equatorial Atlântica (Ea), Equatorial Continental (Ec), Tropical Atlântica (Ta), e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Conforme classificação Koppen-Geiger o clima é caracterizado como quente e úmido do tipo Aw, temperatura média anual de 26°C e totais pluviométricos anuais em torno de 750 a 1400 mm (MMA,

2007). Na figura 24 está registrado o comportamento pluviométrico da região no período de realização do estudo.

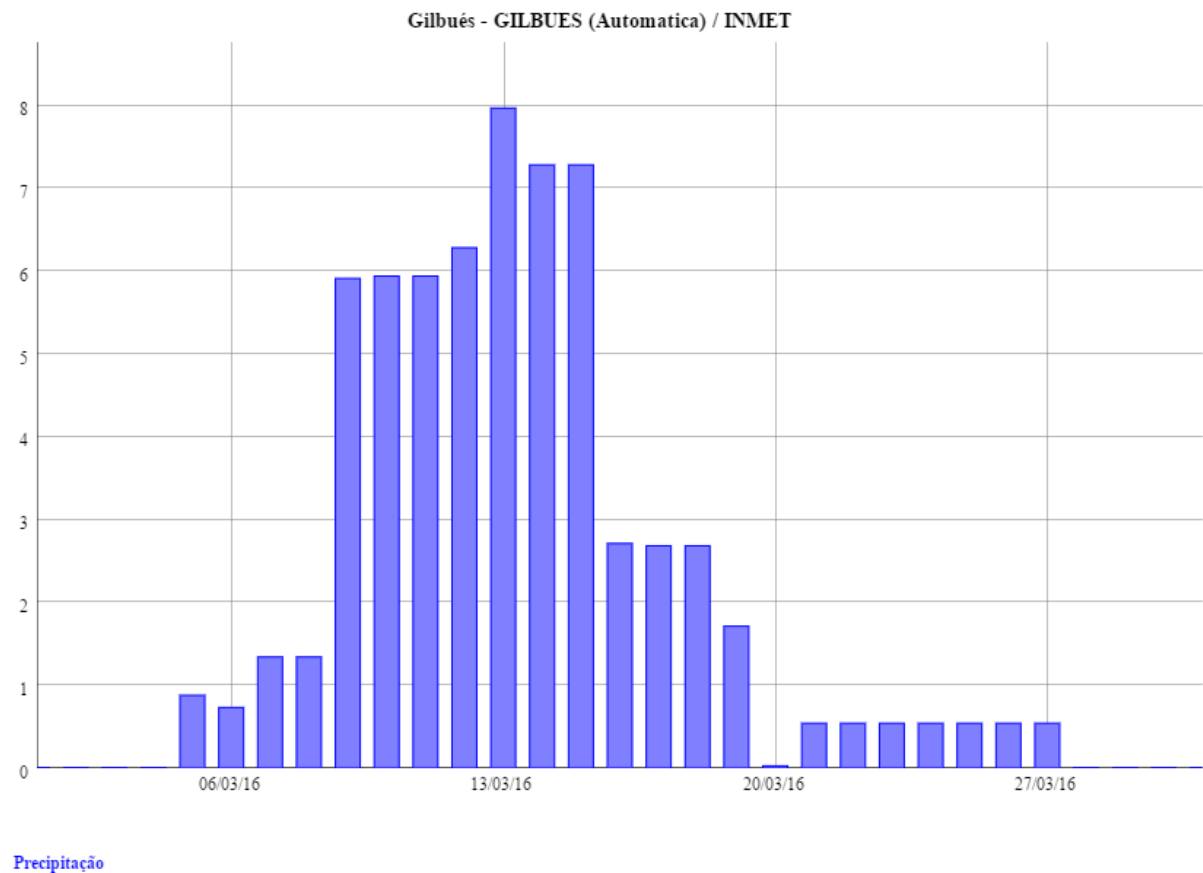


Figura 24. Precipitação mensal (mm) durante o período de estudo. Fonte: INMET, 2017.

6.4.2 Descrição das fitofisionomias amostradas

No estudo foram amostradas duas importantes fitofisionomias do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba e do referido bioma: a fitofisionomia de Cerrado Ssensu Stricto e de Cerradão. A caracterização das fitofisionomias amostradas está descrita abaixo, segundo dados de Oliveira (2004):

Cerrado Ssensu Stricto: para esse tipo fisionômico a vegetação é caracterizada pela presença de dois estratos, sendo um herbáceo-subarbustivo com predominância de gramíneas e outro arbustivo-arbóreo com cobertura arbórea de 10 a 60%. O estrato arbustivo-arbóreo caracteriza-se pela presença de plantas com aproximadamente 5 m apresentando tortuosidade dos ramos, ramificação irregular, ritidoma esfoliado corticoso rígido e casca suberosa macia (Figura 25).



Figura 25. Aspecto fisionômico de cerrado Sensus Stricto no PNNRP. Fonte: Autor, 2016.

Cerradão: Semelhante ao cerrado típico, sua fisionomia tem dois estratos, sendo o herbáceo-subarbustivo bastante escasso (Figura 26). Nessa fitofisionomia predominam árvores altas e retas com alturas de até 7m e troncos de casca fina, lisa ou às vezes rugosa, com presença de lenticelas, ou ainda esfoliastes.



Figura 26. Aspecto fisionômico de Cerradão no PNNRP. Fonte: Autor, 2016.

6.4.3 Delineamento amostral, tratamento e coleta de solo

A determinação dos atributos de qualidade do solo foi realizada em área composta por dois tratamentos referentes à fitogeografia do bioma Cerrado: fisionomia de Cerradão (CE) e fisionomia Senu Stricto (SS). O delineamento amostral corresponde a duas parcelas de 1 ha para cada um tratamento amostral (Figura 27). As parcelas de 1 ha foram subdivididas em 5 sub-parcelas correspondente a 0,2 ha.

Em cada sub-parcelas (0,2 ha) delimitada conforme fitogeografias do Cerrado foram realizadas coletas de solo referente ao período de Março de 2016. Nestas, foram selecionados de forma aleatória dez pontos amostrais a uma distância média de 10 m uns dos outros. Em cada ponto foram coletadas duas amostras de solo em

profundidades diferentes variando entre 0.0 – 0.05 m e 0.05 – 0.10 m e 0.00 – 0.10 m no solo.

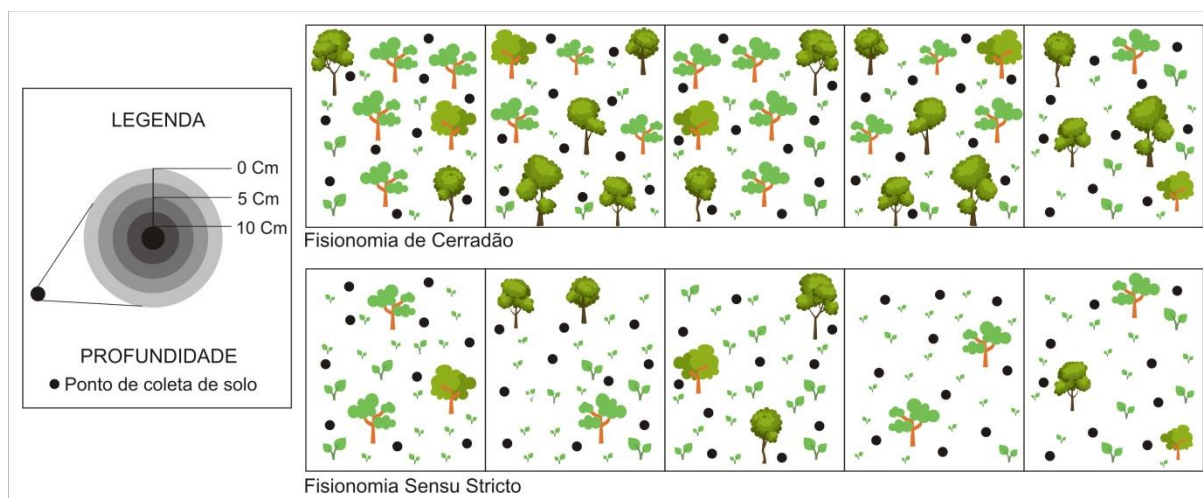


Figura 27. Representação esquemática do sistema de coleta adotado no estudo. Elaborado por: Laécio Miranda Cunha, 2017.

6.4.4 Determinação dos atributos químicos do solo

Para determinação dos atributos químicos do solo, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0.0 - 5 m e 0.05 – 0.10 m com estrutura deformada, com auxílio de uma cavadeira. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas para avaliação em laboratório. Na caracterização química dos solos estudados, foram determinados os teores de K, Ca, P ext, pH, Al, H+Al, NT, COT, Mg, Soma de bases, CTC T, CTC t, V%. Para as determinações químicas, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm. As amostras foram avaliadas efetuando-se os métodos descritos abaixo:

Determinaram-se o pH do solo em água (1:2,5) por potenciometria, a acidez trocável (Al^{+3}) extraída com KCl 1 mol L^{-1} e quantificada por titulometria com hidróxido de sódio 0,025 mol L^{-1} padronizado com biftalato de potássio (EMBRAPA, 1997). O fósforo e o potássio foram extraídos com Mehlich I e determinados por calorimetria e fotometria de chama, respectivamente. A determinação do cálcio e o magnésio foi por espectrofotometria de absorção atômica, extraídos com KCl mol L^{-1} . O Nitrogênio total (NT) do solo foi determinado por meio da digestão sulfúrica e dosado por destilação Kjeldhal (BREMNER et al., 1982). Para determinação dos teores de carbono orgânico total (COT), as amostras de solo foram trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha 0,2 mm, quantificadas por oxidação de

matéria orgânica via úmida, utilizando-se solução de dicromato de potássio em meio em meio ácido, com fonte externa de calor (YEOMANS; BREMNER, 1998).

6.4.5 Determinação dos atributos físicos do solo

Para determinação dos atributos físicos do solo, foram coletadas amostras de solo com estrutura indeformada para densidade volumétrica e deformada para umidade volumétrica, nas profundidades de 0.00 – 0.10 m e 0.0 - 5 m e 0.05 – 0.10 m respectivamente. A Densidade do solo (g.cm^{-3}) foi determinada pelo método do anel volumétrico (Uhlend), com 7 cm de altura por 5 cm de diâmetro e volume conhecido. Após a coleta, as amostras foram pesadas e levadas à estufa de secagem, regulada a temperatura de 105°C por um período de 24 horas. Em seguida realizou-se nova pesagem e com os valores obtidos foram determinada a densidade, conforme a EMBRAPA (1997) através da expressão:

$$Ds = \frac{Ms}{V}$$

Onde: **D** é a densidade aparente do solo (g/ cm^{-3}); **M** é a massa de solo seco (g); **V** é o volume do anel (cm^3).

Quanto à umidade do solo (%) a mesma foi determinada conforme a metodologia proposta pela Embrapa (1997), de acordo com a seguinte fórmula:

$$U = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

Onde: **Mu** = Massa de solo úmido; **Ms** = Massa de solo seco.

6.4.6 Determinação das amostras

As determinações foram realizadas no Laboratório de Água, Biologia e Solos (LABS) do Instituto Federal do Piauí – *Campus* Corrente e no laboratório de solos da Funceme / Fortaleza/CE.

6.4.7 Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à comparação das médias dos atributos de qualidade do solo, realizados por meio do teste de Tukey a 5 %, utilizando o pacote estatístico ASSISTAT 7.7.

6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.5.1 Atributos químicos de qualidade do solo

Em relação aos níveis de acidez do solo, o estudo verificou que os valores de pH juntamente com o alumínio trocável (Al) e acidez potencial (H^+Al) não diferiram estatisticamente, tanto em relação aos tratamentos estudados quanto em relação as profundidades. Na Tabela 4, é possível verificar que os solos das fitofisionomias estudadas, apresentaram-se naturalmente ácidos, resultados típicos de solos do Cerrado. Esse fato condiz com o que apontam Lopes e Cox (1977), pois os mesmos verificaram que os solos do Cerrado são de forma natural, ácidos, descrição que os adapta principalmente aos Latossolos, responsáveis por cobrir metade da área total do Cerrado.

Tabela 4. Nível de acidez do solo sob diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado no PNNRP.

Tratamento	pH	Al	H ⁺ Al
	cmol _c /kg		
	-----0.00 – 0.05 m-----		
CE	4,89 a*	0,20 a	0,84 a
SS	4,72 a	0,23 a	1,00 a
	-----0.05 – 0.10 m-----		
CE	4,70 a	0,19 a	0,89 a
SE	4,77 a	0,24 a	0,75 a

CE – Cerradão; SS – Sensu Stricto. pH – Potencial hidrogeniônico; Al – Alumínio trocável; H^+Al – Acidez potencial. * As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Conforme Tabela 4 o pH do solo apresentou valores correlatos aos valores de Al^{+3} e H^+Al em ambos os tratamentos. Isso ocorre pela relação que estes atributos possuem no solo exercendo influência uns sobre os outros, no qual a redução proporcional dos níveis de Al^{+3} e H^+Al tendem a contribuir com o aumento dos valores de pH nos solos.

Os valores semelhantes dos atributos de acidez do solo nas áreas estudadas podem estar relacionados com o comportamento similar do aporte cíclico da biomassa aérea e radicular nos solos destas áreas, podendo estar atuando igualmente na manutenção da acidez do solo. Logo aportando quantidades de

nutrientes que se equilibram com as perdas pelos processos de nutrição, assim como perdas por lixiviação, mesmo com diferentes estratos de vegetação. Segundo Teodoro (2014) o comportamento das raízes finas e grossas em áreas de vegetação natural contribuem para o maior aporte de biomassa radicular que fica estocada no solo do Cerrado, podendo contribuir para a ciclagem de nutrientes nesse compartimento.

As perdas de nutrientes pelo processo de lixiviação natural concorre significativamente com a manutenção dos teores de hidrogênio e alumínio, influenciando os processos de redução do pH e consequentemente aumentando os níveis de acidez natural dos solos. Kolm (2001) aponta que dentre as principais formas de saídas de nutrientes dos ecossistemas terrestres, pode-se citar o processo de lixiviação, o que contribui para a perda destes e por vezes a redução da fertilidade natural dos solos.

O resultado das bases trocáveis do solo, apresentados na Tabela 5, demonstram valores relativamente baixos de K, Ca, Mg, típicos de solos de cerrado, em que na maioria das vezes se apresentam como solos de baixa fertilidade natural, mesmo estando em áreas sob floresta nativa.

Tabela 5. Bases trocáveis do solo sob duas fitofisionomias do bioma Cerrado no PNNRP.

Tratamento	K	Ca	Mg
	cmol _c /kg		
	-----0.00 – 0.05 m-----		
CE	0,21 a*	3,41 a	1,18 a
SS	0,02 b	2,51 b	1,34 a
	-----0.05 – 0.10 m-----		
CE	0,15 a	2,97 a	1,19 b
SS	0,02 b	1,97 a	1,66 a

CE – Cerradão; SS – Sensu Stricto. K - Potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio. * As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em geral, os baixos valores de K, Ca, Mg podem estar relacionados com o potencial de equilíbrio da ciclagem de nutriente em ambas as áreas, apresentando-se como um sistema autossuficiente na ciclagem natural dos elementos presentes nos solos das fitofisionomias em questão. Embora muitas vezes esperem-se

elevados valores quanto às bases trocáveis em solos sob vegetação nativa, os mesmos podem se apresentar relativamente baixos, conforme os resultados obtidos no estudo, o que em muitos casos se configura como um processo de auto ciclagem de elementos naturais do solo em áreas nativas reduzindo a disponibilidade de K, Ca, Mg e por ventura a fertilidade do solo em contexto natural. Conforme Cardoso et al. (2009) solos sob áreas de formações florestais nativas apresentam baixa fertilidade natural e têm sua manutenção fortemente associada ao equilíbrio entre a cobertura vegetal e os processos biogeoquímicos realizados no solo.

Além disso, solos com maior nível de acidez tendem a reduzir a disponibilidade das bases trocáveis, principalmente para o bioma Cerrado. Neste contexto, Ramos et al. (2009) afirma que processo de acidificação influenciam caracteristicamente nas perdas de cálcio, magnésio e potássio.

Quanto à riqueza de nutriente, é possível verificar através da Tabela 6, que os solos das fitofisionomias estudadas apresentam-se relativamente com baixa disponibilidade de nutrientes, apresentando variações tanto por tratamento quanto por profundidade. No geral, essa baixa disponibilidade de nutriente é refletida pela reduzida existência dos atributos trocáveis no solo (K, Ca e Mg), que são responsáveis por refletir tais riquezas.

Tabela 6. Riqueza de nutrientes do solo sob duas fitofisionomias do bioma Cerrado no PNNRP.

Tratamento	SB*	CTC T	CTC t	V	m
	cmol _c /kg			%	
-----0.00 – 0.05 m-----					
CE	4,81 a*	5,66 a	5,01 a	85,11 a	4,02 a
SS	3,90 b	4,90 a	4,13 a	80,08 a	5,84 a
-----0.05 – 0.10 m-----					
CE	4,31 a	5,20 a	4,51 a	82,63 a	4,56 b
SS	3,65 b	4,40 a	3,89 a	83,40 a	6,28 a

CE – Cerradão; SS – Senu Stricto. SB – Soma de bases; CTC T – Capacidade de troca de cátions potencial; CTC t - Capacidade de troca de cátions efetiva; m – Saturação por alumínio. *As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Provavelmente, os resultados obtidos quanto à riqueza de nutrientes estão relacionados com as características típicas dos solos de Cerrado, que são normalmente velhos e bem intemperizados e conforme períodos de precipitação

concentrados da região são fortemente influenciados por ações do intemperismo químico e o relevo suavemente ondulado nestas áreas, sendo importantes contribuintes para a elevada taxa de lixiviação natural dos nutrientes do solo influenciando a sua qualidade química. Segundo Neto et al. (2007) os solos de Cerrado especificamente em áreas nativas, principalmente os Latossolos ou Argissolos, apresentam altas taxas de lixiviação de nutrientes, visto que são menos suscetíveis à erosão hídrica em função do relevo plano à suave ondulado.

Em se tratando das variações quanto tratamento e profundidade, observou-se que os valores de SB, CTC T e CTC t, foram relativamente superiores na área sob fitofisionomia de Cerradão quando comparado aos valores obtidos em áreas sob Cerrado Sensu Stricto. Isso pode ter relação direta com um maior aporte de matéria orgânica sob os solos de fitofisionomia de Cerradão, uma vez que os mesmos podem dispor de uma maior deposição de serapilheira sobre o solo, contribuindo para a elevação nos teores de matéria orgânica sobre este, e consequentemente regulando a disponibilidade natural de nutrientes.

Có Júnior (2011) afirma que a CTC é uma das variáveis que interferem na fertilidade do solo, decorrente em função da mineralogia dos solos e dos níveis de matéria orgânica disponíveis, tendo em vista que essas partículas apresentam cargas elétricas superficiais que variam em função do pH, e contribuem para a CTC do solo, especialmente de solos tropicais, tipicamente intemperizados. Além disso, o mesmo destaca que a CTC no solo apresenta maiores valores na camada superficial, sendo reduzida com o aumento da profundidade, como observado na Tabela 6.

Conforme observado no estudo à saturação por base (V%) apresentou valores significativamente alto para as duas fitofisionomias não sofrendo diferenciação estatística (Tabela 7). Kiehl (1979) relata que valores elevados de V% representam solo com alta concentração de nutrientes e reduzido nível de acidez atingindo valores próximos a neutralidade, fator contraditório aos resultados obtidos em solos de Cerrado. Assim, os resultados identificados podem se relacionar com o fato de ambas fitofisionomias apresentarem um forte aporte de material orgânico depositado sobre as camadas mais superficiais do solo, influenciando a elevação do V% nestas áreas, apesar destes solos serem relativamente pobres, e com valores relativamente estáveis para a saturação por alumínio como visto na Tabela 6.

Os atributos orgânicos do solo sob as fitofisionomias estudadas mostram-se relativamente altos, denotando um maior equilíbrio no aporte de material orgânico nestas áreas, influenciando a sua qualidade natural. Na tabela 7, pode-se verificar elevados teores de Carbono orgânico total (COT) do solo, não diferindo quanto às áreas estudadas em termos estatísticos.

Tabela 7. Material orgânico sob diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado no PNNRP.

Tratamento	COT	NT	P ext
	g/kg	g/kg	mg/kg
-----0.00 – 0.05 m-----			
CE	48,88 a*	321,60 a	8,26 a
SS	47,22 a	284,00 b	1,03 b
-----0.05 – 0.10 m-----			
CE	47,00 a	332,60 a	5,92 a
SS	47,78 a	243,60 b	1,05 b

CE – Cerradão; SS – Sensus Stricto. COT – Carbono Orgânico Total; NT – Nitrogênio; P ext – Fosforo total * As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores expressivos de COT devem estar relacionados com a deposição considerável de serapilheira sobre as áreas, em que os processos naturais de decomposição em áreas sob vegetação nativas, contribuem para um melhor aporte matéria orgânica sobre o solo, influenciando os teores de COT e que por vez também exerce influencia sobre diversas funções do solo, considerando a ciclagem de nutrientes e fertilidade deste. Para Lovato et al. (2004) o COT do é um dos atributos do solo que possivelmente apresenta melhor interação com propriedades que coordenam diferentes funções no solo, tais como a ciclagem de nutrientes e consequentemente a fertilidades do solo, entre outros. Quanto ao NT e o P ext pode-se verificar que os maiores teores acometeram áreas sob fitofisionomia de cerradão podendo ter relação com uma menor taxa de decomposição da matéria orgânica, relacionada possivelmente com a baixa ação da microbiota decompositora e temperaturas menos elevadas no solo. Segundo Aerts (1997) condições de baixas temperaturas e períodos de estiagem influenciam diretamente o metabolismo da

microbiota do solo, reduzindo as suas atividades e consequentemente diminuindo a intensidade dos processos de decomposição.

6.5.2 Atributos físicos de qualidade do solo

Os atributos físicos do solo, tais como densidade e umidade são importantes indicadores da qualidade do solo (CARVALHO et al., 2007) exercendo grande influencia sobre a sua produtividade biológica e a qualidade ambiental deste. Além de influenciar os processos químicos e biológicos do solo, sendo fundamental na manutenção da qualidade dos mesmos (STRECK, 2007).

Neste contexto, em relação aos atributos físicos do solo sobre os tratamentos estudados, verificou-se que a área sob fitofisionomia de cerrado apresentou os maiores percentuais de umidade do solo quando comparada ao cerrado sensu stricto, variando estatisticamente tanto em profundidade quanto fitofisionomia (Figura 28 a-b).

CRF

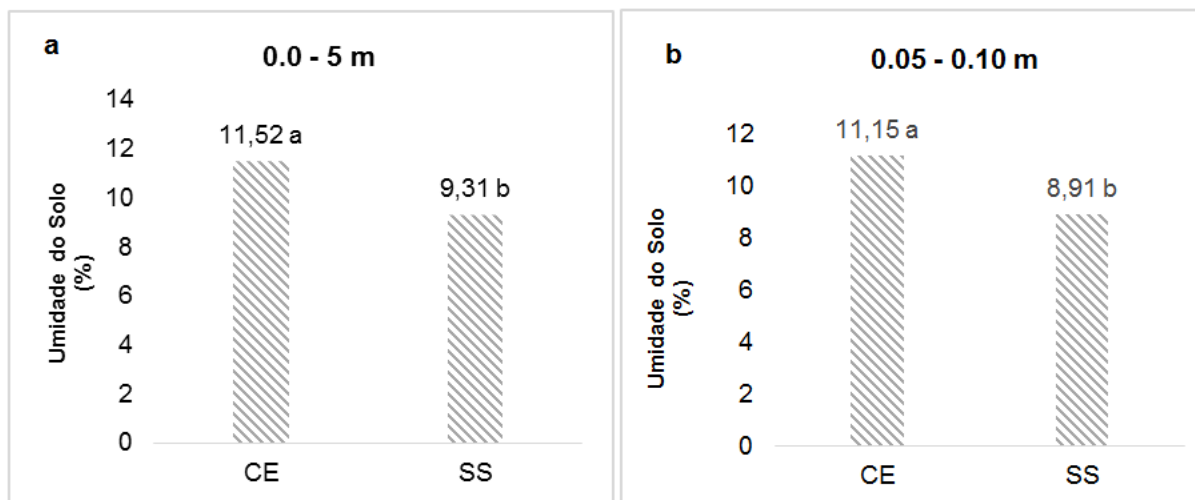


Figura 28 a-b. Percentual de umidade do solo sob diferentes fitofisionomia do Cerrado no PNNRP: a - umidade do solo em profundidade de 0.00 – 0.05 m e b – umidade do solo de 0.05 – 0.10 m de profundidade. CE – Cerrado; SS – Sensu Stricto.* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Conforme Figura 28, os maiores valores de umidade na fitofisionomia de cerrado podem está relacionados ao fato desta fitofisionomia apresentar maior deposição de serapilheira e consequentemente uma maior concentração dos níveis de matéria orgânica na superfície do solo, contribuindo para uma maior retenção de água ao longo do perfil do solo, além de equilibrar ainda mais a concentração de matéria orgânica em relação às perdas (*output*) nestas áreas. Assim, a matéria

orgânica aumenta a capacidade de infiltração de água no solo e a sua capacidade de armazenamento devido à melhoria das condições físicas dos horizontes superficiais, principalmente em relação a sua estrutura (TATE, 1992).

Quanto ao adensamento natural do solo o estudo verificou que na área sob fitofisionomia de sensu stricto ocorreu um maior valor de densidade, quando associado ao resultado encontrado em áreas sob fitofisionomias de cerradão (Figura 29), variando estatisticamente em termos de tratamento.

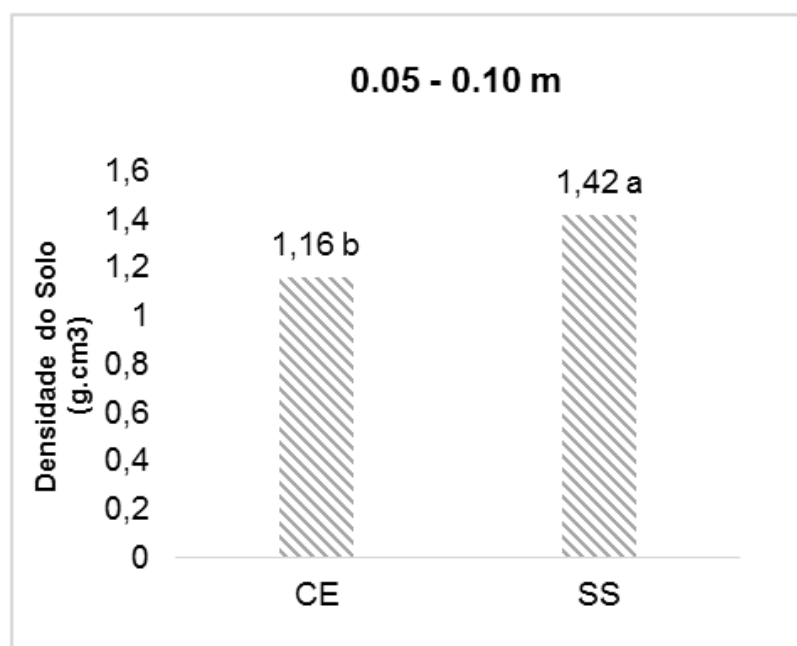


Figura 29. Densidade do solo sob diferentes fitofisionomia do Cerrado no PNNRP, em profundidade de 0.00 – 0.10. * CE – Cerradão; SS – Sensu Stricto.* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores encontrados podem estar associados a um aporte relativamente mais reduzido de matéria orgânica do solo sob a área de cerrado sensu stricto se comparado a fitofisionomia de Cerradão, o que pode ter influenciado a estruturação dos agregados deste solo (Figura 29). Além disso, a região apresenta variações quanto aos tipos de solo presente, podendo este apresentar uma maior concentração de areia em detrimento aos solos de cerradão o que pode ter contribuído para um maior adensamento. Braz (2013) aponta que quanto mais elevada for a quantidade de areia de um solo maior será a sua densidade, considerando o fato de que presença significativa de areia, quando associada a baixos níveis de matéria orgânica do solo, proporciona uma menor predisposição para a formação de agregados, reduzindo a porosidade total e promovendo uma maior densidade.

Destaca-se ainda que conforme os resultados verificados nas duas fitofisionomias quanto aos atributos físicos (umidade e densidade) é possível observa uma relação direta destes atributos, tendo em vista que quanto maior for a densidade do solo menor serão os espaços porosos deste e conseqüentemente a presença de água no solo será reduzida (Figura 4). Neste contexto, Vicente et al. (2012) afirma que com o aumento da densidade, a disponibilidade de água para o perfil do solo tende a diminuir mostrando uma provável compactação e provável redução dos espaços porosos.

6.6 CONCLUSÕES

Os solos das fitofisionomias de Cerrado Senu Stricto e Cerradão apresentam-se naturalmente ácidos e com baixo nível de fertilidade, decorrentes do elevado nível de pH e reduzida concentração das bases trocáveis em seus solos.

As riquezas de nutrientes nas fitofisionomias de Cerrado em estudo se mostraram reduzida proveniente da baixa disponibilidade de nutrientes, sendo a fitofisionomias de Cerradão portadora das maiores concentrações de SB, CTC T e CTC t, assim como significativa concentração de COT e NT, e reduzida concentração de P disponível.

A fitofisionomia de Cerradão apresentou uma maior capacidade na retenção de água no solo, com maiores percentuais de umidade do solo, enquanto a fitofisionomia de Cerrado Senu Stricto apresentou um maior nível de adensamento do solo.

As condições químicas e físicas do solo se mostram típicas de solos de Cerrado com seu nível de equilíbrio decorrente da dinâmica dos processos de elementos do solo atuante em áreas naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERTS, R. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. **Oikos**, 79: 439-449p, 1997.

BRAZ, R. dos S. **Qualidade do solo medida por indicadores físicos em área com aplicação de resíduo de caju**. 2013. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Ceará, 2013. Disponível em: http://www.ppgsolos.ufc.br/images/Dis_Reg_San_Braz.pdf. Acesso em: 2 de jan. de 2017.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. NITROGEN TOTAL. In: Page, A. L.; Miller, R. H.; Keeney, D. R. (Ed.). *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. 2nd ed. Madison: **American Society of Agronomy**, 1982. v.2, p.595-624. Agronomy monograph, 9.

BRITEZ, R. M. et al. Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do sul do Brasil. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2006.

BUSTAMANTE, M. M. C. et al. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. **Climatic Change**, v. 115 p. 559–577, 2012.

CARDOSO, E. L. et al. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 35, n. 2, Viçosa, 2009.

CARDOSO, E.L. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44:631-637, 2009.

CARVALHO, A.J.A. et al. Caracterização física dos solos dos quintais agroflorestais e cultivos monotípicos na região de Amargosa, Bahia. **Rev. Bras. de Agroecologia**. v.2, n.2. p. 941-944. 2007.

CASTO, E. A. **Biomass, nutrient pool and response to fire in the Brazilian Cerrado**. 1996. Dissertação (Mestrado) – Oregon State University.

CÓ JUNIOR, C. **Matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e acidez potencial no solo com dezoito cultivares de cana-de-açúcar**. 2011. 134f. Tese (Doutorado em Agronomia : Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista – Julio de Mesquita Filho, São Paulo, 2011. Disponível em: http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/105242/cojunior_c_dr_jabo.pdf?sequence=1. Acesso em: 2 de jan. de 2016.

CÔRREA NETO et al. Atributos edafambientais e parâmetros dendrométricos de plantios de eucalipto em uma topossequência no campus da UFRRJ, Seropédica (RJ). **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 43-51, 2007, ISSN 0103-9954.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 21p.

FURPA. **Zoneamento Ambiental das APA'S Serra da Tabatinga e Chapada das Mangabeiras nos Estados de Tocantins, Maranhão e Piauí**. Relatório técnico não publicado, Teresina. 1997, 111p.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**: Relação Solo-Planta. Editora Agronômica Ceres. São Paulo – SP. 1979.

KOLM, L. **Ciclagem de nutrientes e variações do microclima em plantações de Eucalyptus grandis Hill ex maiden manejadas através de debates progressivos**. 2001. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba – SP, 2001.

LIMA, M. G. M. **Mamíferos de médio e grande porte do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, Brasil**. 2009. 143f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) – Museu Paraense Emílio Goeldi, Universidade Federal do Pará, Belém – PA. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp115678.pdf>. Acesso em: 5 de jan. de 2017.

LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under “cerrado” vegetation in Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, **41**(4): 742-7, 1977.

LOVATO, T. et al. Carbono e nitrogênio adicionados e sua relação com o rendimento do milho e estoque destes elementos no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.175-187, 2004.

MACHADO, R. B. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Brasília, DF: Conservation International, 2004. Technical report.

MACHADO, R. B. et al. Estimativa de perdas da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. **Conservation International do Brasil**, Brasília, 2004.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba**. Corrente, 2007. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos_operativos/37-parque_nacional_nascentes_rio_parnaiba-pi.pdf. Acesso em: 14 de jan. de 2017.

MONZONI, M. (ed.) **Diretrizes para a formulação de políticas públicas em mudanças climáticas no Brasil**. São Paulo: Observatório do Clima e Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP - FGV, 2009.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

OLIVEIRA, M. E. A. **Mapeamento, florística e estrutura da transição campo-floresta na vegetação (Cerrado) do Parque Nacional e Sete Cidades, Nordeste**

do Brasil. 2004. 164p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – UNICAMP, São Paulo – SP. Disponível em: <bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP_5021790879761f8a1b03a18e29b9f9cb>. Acesso em: 2 de jan de 2017.

RAMOS, F de O. et al. **Avaliação da fertilidade dos solos em áreas preservadas e degradadas as margens do córrego machado no município de Palmas-To.** UBEC: Católica do Tocantins, 2017. Disponível em: <<http://www.catolica-to.edu.br/portal/tecnologia-em-gestao-ambiental-estagios>>. Acesso em: 4 de jan. de 2017.

RENNER, R.M. (2008). **Seqüestro de Carbono e viabilização denovos reflorestamentos no Brasil.** Disponível em:<[http://www.ufrgs.br/necon/2evavea\(3\).pdf](http://www.ufrgs.br/necon/2evavea(3).pdf)>. Acesso em 04 de jan. de 2017.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.) Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: **Embrapa**, 1998. p., 89-166.

SANTOS, M. P. D. Composição de avifauna nas áreas de proteção ambiental Serra da Tabatinga e Chapada das Mangabeiras, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. 17 (1): 43-67, 2001.

SMITH, P. et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society. **Biological Science**, London, v. 363, n. 1942, p. 789-813, 2008.

SOMOGYI, Z. et al. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research**, v. 126, n. 2, p. 197 - 207, 2006.

STRECK, C. A. **Índice S e fluxo de água e ar em solos do sul do Brasil.** 2007. 97 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Disponível em: <livros01.livrosgratis.com.br/cp044191.pdf>. Acesso em: 2 de jan. de 2017.

TANSEY, K. A global inventory of burned areas at 1 km resolution for the year 2000 derived from SPOT VEGETATION data. **Climatic Change**. 67 (2): 345-377, 2004.

TATE, R. L. Soil organic matter biological and ecological effects. Florida: **Krieger Publishing Company**, 1992. 291p.

TEODORO, D. A. A. **Biomassa, estoque de carbono e nutrientes no Cerrado.** 2014. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/18186>>. Acesso em: 4 de jan. de 2017.

VICENTE, T. F. da S. et al. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.16, n.11, p.1215–1222, 2012.

WATSON, R. T.; CORE WRITING TEAM. (Ed). **Climate change 2001**: synthesis report: an assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University, 2001. p, 184.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v.19, p.1467- 1476, 1988.

7. CAPITULO II

DINÂMICA DE CARBONO DO SOLO EM UNIDADE DE CONSERVAÇÃO DO CERRADO BRASILEIRO SOB DIFERENTES FITOFISIONOMIAS

7.1 RESUMO

O efeito estufa é um mecanismo natural de aquecimento da atmosfera responsável por manter a temperatura média do planeta em níveis adequados para a vida na terra. O fenômeno ocorre quando uma parte da radiação solar refletida sobre a terra é absorvida por determinados gases denominados “gases de efeito estufa”, presentes na atmosfera. Como consequência disso, a radiação infravermelha refletida pela terra fica retida na baixa atmosfera resultando no aquecimento do planeta. Este aquecimento do globo terrestre é proveniente do processo de intensificação do efeito estufa causado, sobretudo pelo aumento da emissão dos gases de efeito estufa, sendo o dióxido de carbono o gás que mais contribui para o fenômeno, principalmente devido o uso de carvão, petróleo e gás natural, além da perda de florestas e outros sumidouros naturais. O ciclo global do carbono está muito associado aos ecossistemas tropicais que tanto emitem quanto absorvem o CO₂ atmosférico e qualquer alteração nesses ecossistemas, decorrente de distúrbios naturais e antrópicos, acarretarão mudanças nos fluxos de carbono para a atmosfera, em níveis que irão variar com a intensidade do distúrbio. Desta maneira o presente trabalho teve por objetivo avaliar a dinâmica do carbono no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, sob diferentes fitofisionomias. Para esta avaliação foram delimitadas duas parcelas de 1 ha sob duas fitofisionomias do Cerrado (Sensu Stricto e Cerradão) no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, as quais foram subdivididas em cinco sub-parcelas equivalente a 0,2 ha. Nas duas fitofisionomias foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0.00 – 5 cm e 0.05 – 0.10 cm, buscando avaliar os teores de matéria orgânica do solo, carbono orgânico total, estoque de carbono no solo, além da taxa de sequestro de carbono e fluxo de CO₂. Em relação aos teores de matéria orgânica do solo e carbono orgânico total das fitofisionomias, o estudo verificou que independente da profundidade analisada e do tipo de fitofisionomia amostrada os valores de matéria orgânica e carbono orgânico total não apresentaram variação significativa, dispondo de um relevante aporte de material orgânico em seus solos o que contribuiu para os elevados valores. Quanto aos valores de Est C do solo o estudo observou variação significativa entre os resultados obtidos sob as fitofisionomias de referência, bem como a elevação dos valores de estocagem com o aumento da profundidade, sendo os maiores valores observados na fitofisionomia de Cerrado Sensu Stricto. A análise do sequestro de C no Parque demonstrou que as taxas de emissão variam significativamente em função dos diferentes comportamentos das fitofisionomias, na qual a fitofisionomia Cerrado Sensu Stricto tem maior capacidade de sequestro de C no solo em relação ao Cerradão. Desta forma, apesar dos solos do PNNRP atuarem também como fonte de emissão de C, os mesmos exercem papel principal na função de sumidouro de C.

Palavras-chave: Matéria orgânica do solo. Indicador de qualidade. Balanço de carbono.

CAPITULO II

SOIL CARBON DYNAMICS IN BRAZILIAN CLOSURE CONSERVATION UNIT UNDER DIFFERENT VEGETATION TYPES

7.2 ABSTRACT

The greenhouse effect is a natural mechanism of heating the atmosphere responsible for keeping the planet's average temperature at levels suitable for life on earth. The phenomenon occurs when a part of the reflected solar radiation on the earth is absorbed by certain gases called "greenhouse gases", present in the atmosphere. As a consequence, the infrared radiation reflected by the earth is retained in the low atmosphere resulting in global warming. This warming of the terrestrial globe comes from the process of intensification of the greenhouse effect, caused mainly by the increase of greenhouse gases, carbon dioxide being the gas that contributes most to the phenomenon, mainly due to the use of coal, oil and Natural gas, in addition to the loss of forests and other natural sinks. The global carbon cycle is closely associated with tropical ecosystems that both emit and absorb atmospheric CO₂ and any change in these ecosystems due to natural and man-made disturbances will lead to changes in carbon fluxes into the atmosphere at levels that will vary with intensity Of the disorder. In this way the present work had the objective of evaluating the dynamics of the carbon in the National Park of the Springs of the Parnaíba River, under different phytophysognomies. For this evaluation, two 1 ha plots were delineated under two phytophysognomies of the Cerrado (Sensu Stricto and Cerradão) in the Parnaíba Rio Nascentes National Park, which were subdivided into five subplots equivalent to 0.2 ha. In the two phytophysognomies, soil samples were collected at depths of 0.00 - 5 cm and 0.05 - 0.10 cm, aiming to evaluate soil organic matter, total organic carbon, soil carbon stock, and carbon sequestration rate Of CO₂. In relation to the organic matter content of the soil and total organic carbon of the phytophysognomies, the study verified that, independently of the analyzed depth and the type of phytophysognomy sampled, the values of organic matter and total organic carbon did not present significant variation, having a relevant contribution of Organic matter in their soils which contributed to the high values. Regarding the values of Est C of the soil, the study observed a significant variation between the results obtained under the reference phytophysognomies, as well as the elevation of the storage values with the increase of the depth, being the highest values observed in the Cerrado Sensu Stricto physiognomy. The analysis of the C sequestration in the Park showed that the emission rates vary significantly depending on the different behaviors of the phytophysognomies, in which the Cerrado Sensu Stricto phytophysognomy has a greater C sequestration capacity in the soil in relation to Cerradão. Thus, although PNNRP soils also act as a source of C emission, they play a major role in the sink function of C.

Key words: Soil organic matter. Quality indicator. Carbon balance.

7.3 INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um mecanismo natural de aquecimento da atmosfera responsável por manter a temperatura média do planeta em níveis adequados para a vida na terra. O fenômeno ocorre quando uma parte da radiação solar refletida sobre a terra é absorvida por determinados gases denominados “gases de efeito estufa”, presentes na atmosfera. Como consequência disso, a radiação infravermelha refletida pela terra fica retida na baixa atmosfera resultando no aquecimento do planeta (ESCOBAR, 2008).

Essa radiação incidente sobre a terra produz calor, além de serem absorvidos pelos produtores primários de energia. O calor gerado se deve principalmente ao efeito que os raios infravermelhos e efeito estufa, têm de reter esta radiação na Terra, mantendo a temperatura relativamente estável, principalmente pela presença dos GEE, como o dióxido de carbono, metano, óxidos de nitroso. Entretanto, com o aumento significativo destes gases na atmosfera, a radiação infravermelha também aumenta e fica retida na atmosfera, provocando assim, aquecimento do planeta (MILHOMEM, 2012). Este aquecimento do globo terrestre é proveniente do processo de intensificação do efeito estufa causado, sobretudo pelo aumento da emissão dos GEEs, sendo o dióxido de carbono o gás que mais contribui para o fenômeno, principalmente devido o uso de carvão, petróleo e gás natural, além da perda de florestas e outros sumidouros naturais (MILHOMEM, 2012).

Conforme Pacheco e Helene (1990), este carbono, importante contribuinte para o efeito estufa, pode ser encontrado na natureza, em diversos reservatórios, como é o caso da atmosfera, oceanos, plantas, animais, rochas e sedimentos, todos eles interconectados e com circulação de carbono. Dada toda essa variedade de reservatórios, o solo, além de ser um recurso fundamental para a vida no planeta, é também um componente importante do ciclo do carbono no que se refere ao potencial de armazenar C na forma de matéria orgânica. Nessa perspectiva, estimativas indicam que 3,3 vezes mais carbono é armazenado no solo em relação à atmosfera e 4,5 vezes mais, em comparação com a biosfera (LAL, 2006). Além disso, estudos revelam amplas evidências de que o armazenamento de carbono no solo costuma ser maior em sistemas naturais quando comparados a solos cultivados (LAL, 2009).

O ciclo global do carbono está muito associado aos ecossistemas tropicais que tanto emitem quanto absorvem o CO₂ atmosférico e qualquer alteração nesses ecossistemas, decorrente de distúrbios naturais e antrópicos, acarretarão mudanças nos fluxos de carbono para a atmosfera, em níveis que irão variar com a intensidade do distúrbio (PAIVA; REZENDE; PEREIRA, 2011). No entanto, principalmente em ecossistemas tropicais o balanço de C no solo é dependente da relação entre as adições de C fotossintetizado pelas plantas (parte aérea e raízes) e as perdas de C para a atmosfera, resultantes da oxidação microbiana do C orgânico a CO₂ (COSTA et al., 2008).

Considerando que o solo pode atuar como fonte ou dreno de C, sendo um importante reservatório deste elemento, a dinâmica do C no solo é influenciada pelo tipo de preparo, sistema de manejo e condições ambientais favoráveis, estas, principalmente relacionadas com a temperatura, disponibilidade de água e do uso da terra (BRÖRING, 2013) e seu fluxo para atmosfera depende, sobretudo da razão entre produção e consumo e a difusão do gás no solo.

A produção e emissão do CO₂ em solos de áreas nativas é resultado da atividade microbiológica de decomposição e mineralização da MOS, além dos fatores ambientais (FERNANDES, 2008). Portanto, o processo de decomposição da MOS influencia diretamente os ciclos do carbono e nitrogênio podendo alterar a dinâmica destes elementos no solo e promover sua perda para atmosfera. Desta maneira o presente trabalho teve por objetivo avaliar a dinâmica do carbono no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, sob diferentes fitofisionomias.

7.4 MATERIAL E MÉTODOS

7.4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba – PNNRP, Unidade de Conservação de Proteção Integral criada por Decreto Federal em 2002, abrangendo uma área de 729.813 ha e parte do topo das Chapadas das Mangabeiras e suas encostas. O PNNRP está localizado no divisor das bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Tocantins e Parnaíba e compreende os domínios do bioma Cerrado entre a região Sul do Piauí e Maranhão, norte do Tocantins e noroeste da Bahia (LIMA, 2009). Com sua expressiva extensão territorial, a maior parte de sua área está localizado no Estado do Piauí cobrindo os municípios de Gilbués, São Gonçalo do Gurguéia, Barreiras do Piauí e Corrente, além dos municípios de Formosa do Rio Preto na Bahia, Mateiro, São Félix e Lizarda no Tocantins e Alto do Parnaíba no Maranhão (Figura 30).

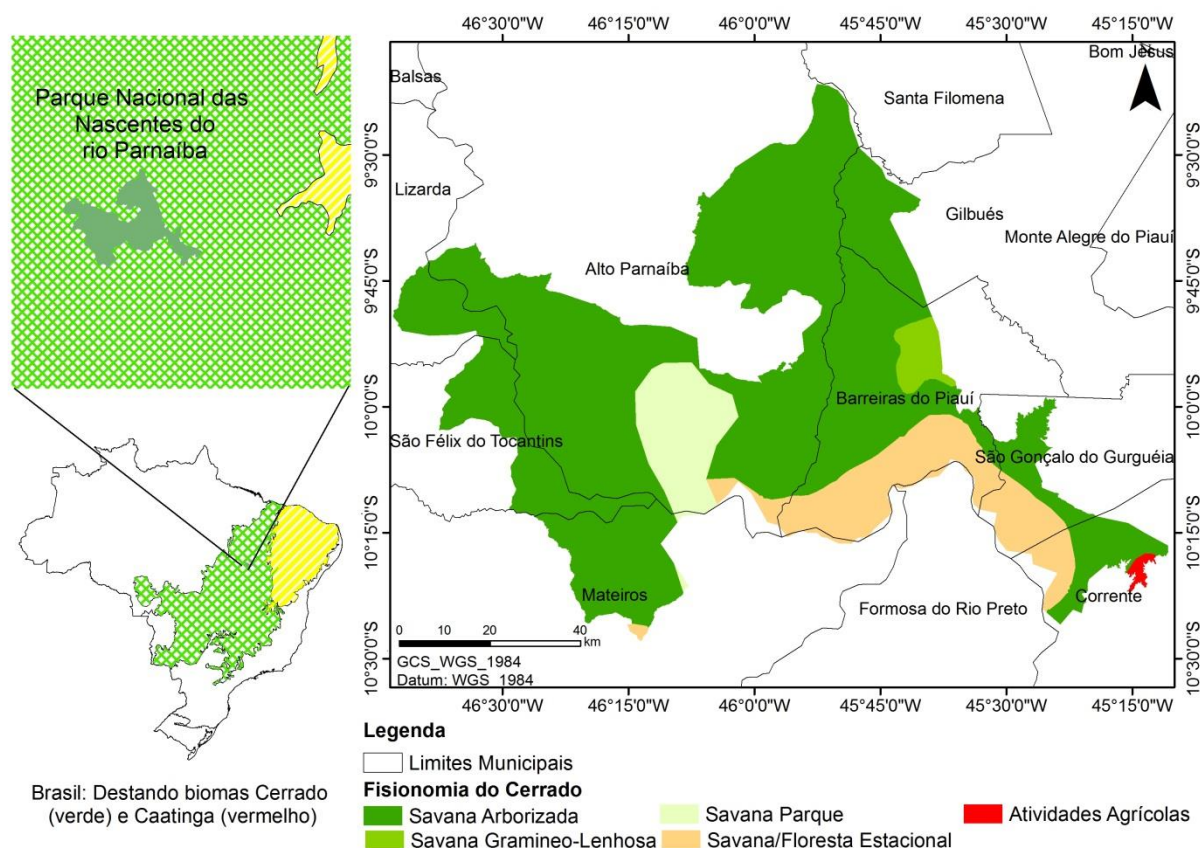


Figura 30. Localização geográfica do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Elaborado por Cristian Epifânio Toledo, 2017.

Dada sua localização na porção centro-ocidental do Nordeste brasileiro, o estudo foi realizado na porção piauiense do PNNRP, especificamente em área correspondente ao município de Barreiras do Piauí. A caracterização física do Parque Nacional - PARNA está descrita a seguir:

- **Vegetação**

O PARNA está inserido na região que apresenta a maior extensão de cobertura vegetal natural do bioma Cerrado, possuindo uma vegetação complexa e diversificada. Machado et al. (2004) afirma que o Parque apresenta tipos fisionômicos pertencentes ao bioma, nelas incluindo a fitofisionomia de campo-cerrado, cerrado típico ou “sensu stricto” e brejo ou veredas, sendo a primeira característica do platô das chapadas. Além destas, Santos (2001) reconheceu mais duas fitofisionomias nas porções do Parque, sendo elas o cerrado campo limpo e cerradão.

- **Relevo**

Segundo MMA (2007) as partes terminais da Chapada apresentam perfis irregulares e sinuosos, formando escarpas bem definidas na parte superior, com paredões e perfis verticalizados e em sua maioria desprovidos de cobertura vegetal. A depressão subsequente desenvolve-se abaixo dos rebordos festonados, em nível médio aproximado de 400 m a 800 m. A área tem importância fundamental por tratar-se das nascentes obsequentes que tendem a promover, por erosão regressiva, o recuo da escarpa e dos rebordos da chapada. Possui veredas que são planícies fluviais de acumulação inundáveis, constituídas por sedimentos holocênicos de textura predominantemente arenosa, estabelecidas a uma altitude média aproximada de 20 a 30 metros de rebordo da chapada, assim originando numerosos córregos.

- **Solo**

Os solos nestas chapadas são profundos e de baixa fertilidade natural e nos declives das vertentes apresentam-se arenosos rasos e pobres, com a presença de afloramentos rochosos e com alta permeabilidade (FURPA, 2000). As principais associações ou classes de solos dominantes são: Latossolos vermelhos amarelos; solos litólicos + pdzólicos vermelhoamarelos concrecionários + afloramentos rochosos; latossolos vermelhoamarelos + neossolos quartzarênicos +

podzólicos acinzentados + neossolos quartzarênicos hidromórficos; neossolos quartzarênicos + neossolos aluviais (MMA, 2007).

- **Geologia**

A região do PNNRP do ponto de vista geológico estrutural integra a bacia sedimentar do Maranhão-Piauí e a Bacia Sanfranciscana. Na área das nascentes predomina a Formação Sambaíba ou Balsas de idade triássica e subjacente à Formação Urucuia. É constituída de arenitos, róseos, avermelhados, amarelados e brancos de granulometria fina a média. Sua maior extensão encontra-se no estado da Bahia. No Piauí, Maranhão e Tocantins, representa o topo da Chapada das Mangabeiras sendo denominada de Formação Urucuia (MMA, 2007).

- **Hidrologia**

As chuvas, como fonte de suprimento, tendem a modificar de modo temporário a água disponível em superfície, no solo e no subsolo. As condições geomorfológicas influenciam através das características dos compartimentos do relevo com repercussões nos perfis longitudinais dos rios e nos seus respectivos vales. Na Chapada das Mangabeiras recoberta por arenitos da Formação Urucuia a excessiva permeabilidade dos terrenos impede a concentração de água em superfície, toda a água precipitada tende a percolar até ressurgir na base do escarpamento como fontes perenes que formam as nascentes fluviais. Quanto às águas subterrâneas, as águas profundas, a exemplo do que se verifica na Chapada das Mangabeiras e na depressão subsequente, correspondem respectivamente aos aquíferos Urucuia e Sambaíba e as águas subterrâneas próximas à superfície do solo, deve-se considerar os aquíferos das veredas em sedimentos de neoformação (MMA, 2007).

- **Clima**

Quanto às chuvas, a região apresenta duas estações climáticas bem definidas, característica das regiões tropicais, correspondente a um período seco, que vai de maio a novembro e outro chuvoso, que vai de dezembro a abril, aproximadamente. Por outro lado estas chuvas apresentam uma alta variabilidade interanual típica das regiões semiáridas. O ciclo das chuvas é regulado pelas massas: Equatorial Atlântica (Ea), Equatorial Continental (Ec), Tropical Atlântica (Ta), e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Conforme classificação Koppen-Geiger o clima é caracterizado como quente e úmido do tipo Aw, temperatura média

anual de 26°C e totais pluviométricos anuais em torno de 750 a 1400 mm (MMA, 2007). Na figura 31 está registrado o comportamento pluviométrico da região no período de realização do estudo.

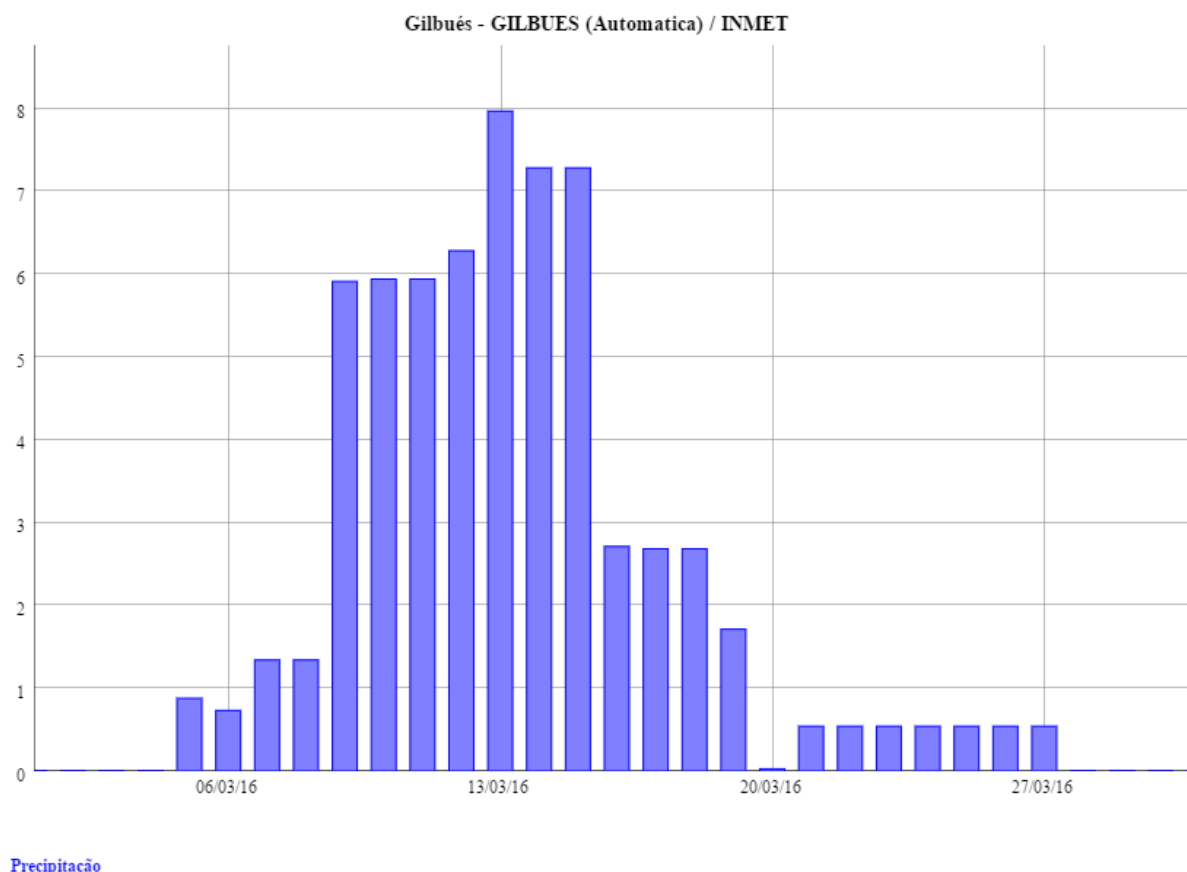


Figura 31. Precipitação mensal (mm) durante o período de estudo. Fonte: INMET, 2017.

7.4.2 Descrição das fitofisionomias amostradas

No estudo foram amostradas duas importantes fitofisionomias do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba e do referido bioma: a fitofisionomia de Cerrado *Sensu Stricto* e de Cerradão. A caracterização das fitofisionomias amostradas está descrita abaixo, segundo dados de Oliveira (2004):

Cerrado *Sensu Stricto*: para esse tipo fisionômico a vegetação é caracterizada pela presença de dois estratos, sendo um herbáceo-subarbustivo com predominância de gramíneas e outro arbustivo-arbóreo com cobertura arbórea de 10 a 60%. O estrato arbustivo-arbóreo caracteriza-se pela presença de plantas com aproximadamente 5 m apresentando tortuosidade dos ramos, ramificação irregular, ritidoma esfoliado corticoso rígido e casca suberosa macia (Figura 32).



Figura 32. Aspecto fisionômico de cerrado Sensu Stricto no PNNRP. Fonte: Autor, 2016.

Cerradão: Semelhante ao cerrado típico, sua fisionomia tem dois estratos, sendo o herbáceo-subarbustivo bastante escasso (Figura 33). Nessa fitofisionomia predominam árvores altas e retas com alturas de até 7m e troncos de casca fina, lisa ou às vezes rugosa, com presença de lenticelas, ou ainda esfoliastes.



Figura 33. Aspecto fisionômico de Cerradão no PNNRP. Fonte: Autor, 2016.

7.4.3 Delineamento amostral, tratamento e coleta de solo

A determinação dos atributos de qualidade do solo foi realizada em área composta por dois tratamentos referentes à fitogeografia do bioma Cerrado: fisionomia de Cerradão (CE) e fisionomia Senu Stricto (SS). O delineamento amostral corresponde a duas parcelas de 1 ha para cada um tratamento amostral (Figura 34). As parcelas de 1 ha foram subdivididas em 5 sub-parcelas correspondente a 0,2 ha.

Em cada sub-parcelas (0,2 ha) delimitada conforme fitogeografias do Cerrado foram realizadas coletas de solo referente ao período de Março de 2016. Nestas, foram selecionados de forma aleatória dez pontos amostrais a uma distância média de 10 m uns dos outros. Em cada ponto foram coletadas duas amostras de solo em

profundidades diferentes variando entre 0.0 - 5 m e 0.05 – 0.10 m e 0.00 – 0.10 m no solo.

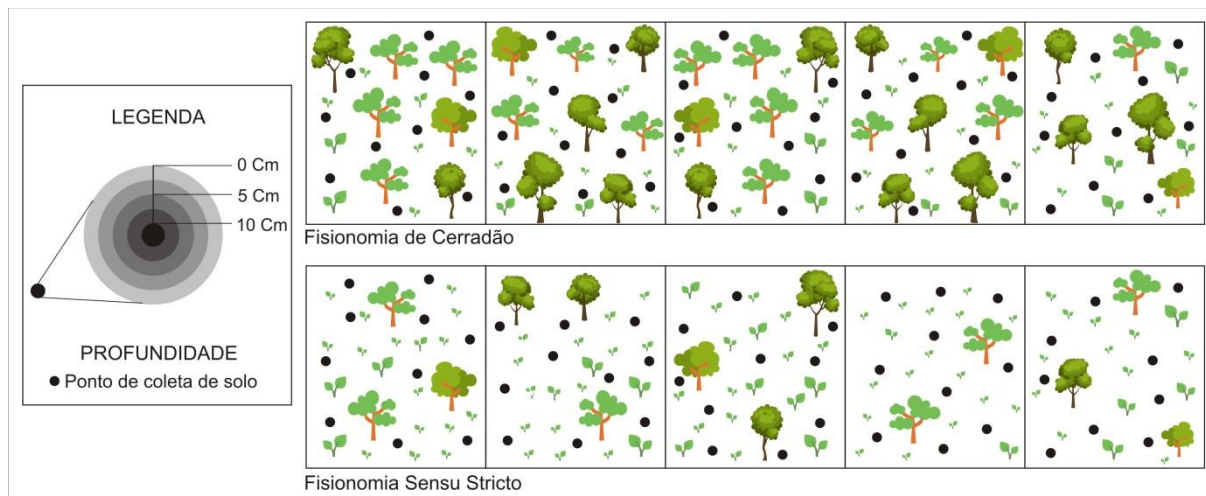


Figura 34. Representação esquemática do sistema de coleta adotado no estudo. Elaborado por: Laécio Miranda Cunha, 2017.

7.1.1 Determinação do Carbono Orgânico Total (COT)

O COT foi determinado conforme o método de oxidação via úmida da matéria orgânica, empregando uma solução com fonte externa de calor. (YEOMANS; BREMNER, 1988).

7.1.2 Determinação do Teor de Matéria Orgânica do Solo (MOS)

O teor de matéria orgânica do solo foi calculado empregando o fator de correção de 1,724 a partir da determinação dos valores de carbono total do solo, de acordo com a seguinte formula:

$$M.O. = 1,724 \times COT$$

Em que:

M.O.= Matéria Orgânica (g.kg⁻¹);

COT = Carbono Orgânico Total (g.kg⁻¹).

7.1.3 Determinação do Estoque de Carbono do Solo (EstC)

Os estoques de C de cada uma das camadas da área de estudo, foram calculados pela seguinte expressão (Veldkamp, 1994):

$$\text{EstC} = (\text{COT} \times \text{Ds} \times e) / 10$$

Onde: Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (t.ha^{-1}); COT = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg^{-1}); Ds = densidade do solo da profundidade (g.cm^{-3}); e = espessura da camada considerada (cm).

7.1.4 Determinação do Sequestro de Carbono do Solo

Foram utilizados os valores de estoques do COT na área de estudo para calcular a emissão ou sequestro de C-CO₂ (Est de COT nas fitofisionomias Cerradão e Cerrado *Sensu Stricto*). Para converter o estoque de C em CO₂ será utilizado o fator de conversão 3,67 (massa molar do CO₂/massa molar do C) conforme reportado por (Leite et al, 2003).

7.1.5 Determinação do Fluxo de Carbono do Solo

O estudo também esquematizou o fluxo da dinâmica do carbono do solo, considerando os níveis de estoque das duas fitofisionomias estudadas. Para tal construiu-se um esquema da capacidade de estoque de C no solo em cada fisionomia do Cerrado, e com os dados de capacidade de sequestro estimou e demonstrou-se o fluxo percorrido desse carbono sob cada ambiente.

7.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.5.1 Teor de Matéria Orgânica do Solo (MOS)

Com relação aos teores de MOS das áreas estudadas, verificou-se que, independente da profundidade analisada e do tipo de fitofisionomia amostrada os valores de MOS não apresentaram variação significativa, dispondo de um relevante aporte de matéria orgânica em seus solos, nos quais a fitofisionomias de cerrado aportou 84,33 g.kg⁻¹ e 81,02 g.kg⁻¹ de MOS para as profundidades de 0.00 – 0.05 m e 0.05 – 0.10 m, e a fitofisionomia de Cerrado Sensu Stricto 81,04 g.kg⁻¹ e 80,76 g.kg⁻¹, respectivamente (Figura 35). Tais resultados ressaltam a capacidade de equilíbrio das áreas de Cerrado nativo quanto ao aporte de matéria orgânica em seus solos, contribuindo para a manutenção natural da qualidade do mesmo. Fraga e Salcedo (2004) reforçam essa ideia, ao apontarem a MOS como um excelente indicador de qualidade do solo, visto que esta mantém uma íntima relação com a maioria das propriedades do solo, sendo bastante sensível a quaisquer mudanças no uso da terra.

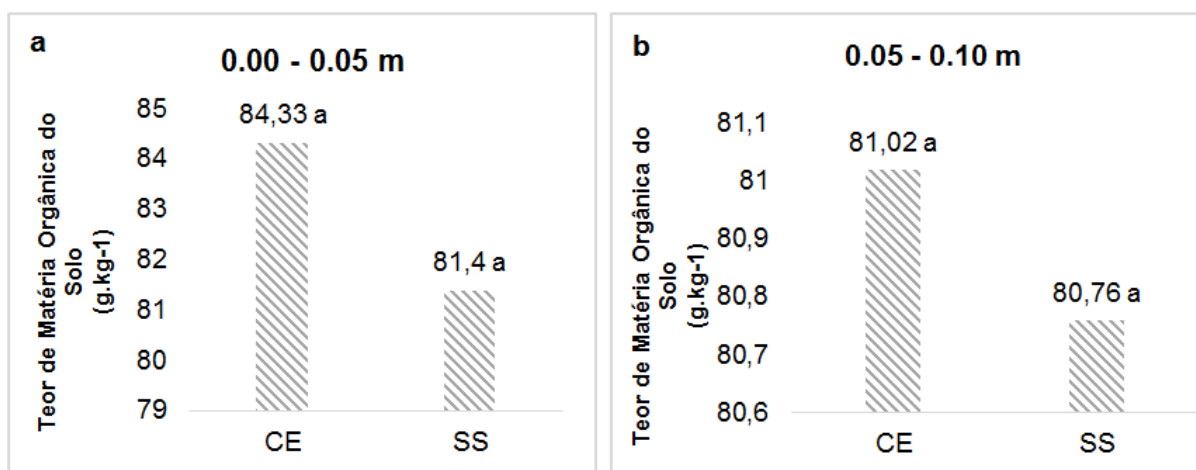


Figura 35 a-b. Matéria orgânica do solo sob diferentes fitofisionomias do Cerrado no PNNRP, em profundidade de 0.00 – 0.05 m e 0.05 – 0.10 m. * CE – Cerradão; SS – Sensu Stricto. * As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os elevados teores de MOS verificados nas fitofisionomias estudadas podem decorrer de uma equilibrada produção de biomassa nesses ecossistemas, configurando-se como autossuficientes no processo deposição vegetal de material orgânico, decomposição e incorporação nestas áreas. Além disso, possivelmente o processo de deterioração da MOS podem estar ocorrendo lentamente, com uma

reduzida taxa de decomposição desse material, o que contribui na redução de perdas e manutenção da matéria orgânica em áreas nativas conservadas. Quanto a isso, Araújo et al. (2008) destaca que a elevação da taxa de decomposição da MOS é um dos principais fatores contribuintes para a sua redução nos solos.

7.5.2 Teor de Carbono Orgânico Total (COT)

O estudo verificou que as áreas de Cerrado sob as duas fitofisionomias apresentaram um aporte de carbono do solo similar, não diferindo estaticamente entre tratamentos (fitofisionomias) e profundidades (Figura 36). Possivelmente esta similaridade deve-se a disponibilidade de material vegetal depositada sobre o solo dessas áreas, que através de processos equilibrados de decomposição microbológica, contribuem no incremento natural de carbono. Isso se reflete no que afirma Machado et al (2012), ao relatar que em áreas nativas existem uma estreita e harmoniosa integração do material vegetal com os processos físicos, químicos e biológicos do solo, através do quais atuam na decomposição desse material orgânico, tornando facilitada ciclagem de nutriente, o que por ventura influenciam a incorporação de elementos no solo, tal como o carbono.

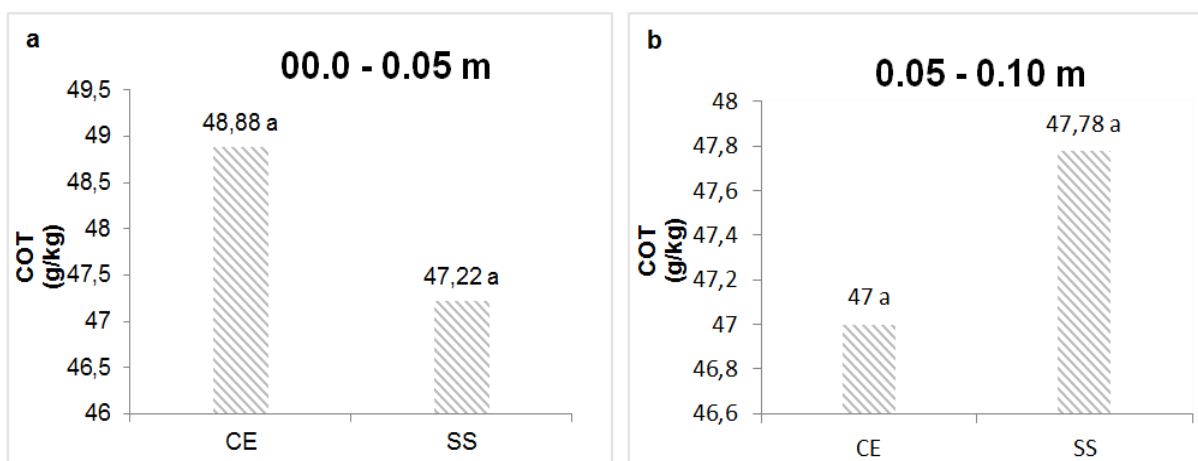


Figura 36 a-b. Carbono orgânico total do solo sob diferentes fitofisionomia do Cerrado no PNNRP, em profundidade de 0.00 – 0.05 m e 0.00 - 0.10m. * CE – Cerradão; SS – Sensu Stricto. * As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Apesar dos resultados não apresentarem variação significativa, verificou-se uma mínima redução do teor de COT na fitofisionomia de Cerradão com o aumento da profundidade, podendo estar relacionado com o processo de deslocamento natural desse carbono para camadas mais profundas, possivelmente

influenciado por processos de decomposição e que consequentemente pode ter resultado em perda deste C no solo. Tais resultados se mostraram inversos para área de cerrado sensu stricto. No entanto fica evidente que o COT de um solo sob vegetação nativa é representado pelo balanço dinâmico entre a adição de material vegetal não vivo e a sua perda por processo de decomposição ou mesmo mineralização (SCHOLLES; POWLSON; TIAN, 1997).

Dentro desse contexto, resultados como este foi observado em pesquisa realizada por Costa Júnior et al (2011) ao estudarem os teores de COT em áreas de Cerradão no Goiás. No estudo, foi verificado que os maiores valores de COT correspondem às camadas superficiais (0.00 – 0.05 m) e decresceram com a profundidade (0.05 – 0.10 m), resultado da deposição de resíduos vegetais em superfície com posterior decomposição e deslocamento do C para as camadas mais profundas. O que se assemelha ao comportamento do COT verificado nesse estudo, especificamente em áreas de Cerrado Piauiense.

7.5.3 Estoque de Carbono do Solo (EstC)

Em relação aos valores de Est C do solo o estudo observou variação significativa entre os resultados obtidos sob as fitofisionomias de referência, bem como a elevação dos valores de estocagem com o aumento da profundidade (Figura 37). Os maiores valores do Est C do solo refere-se à fitofisionomias de Cerrado Sensu Stricto apresentado 33, 52 g.kg⁻¹ e 67,82 g.kg⁻¹ de C estocado no solo para as profundidades de 0.00 – 0.05 m e 0.05 – 0.10 m respectivamente. Esses valores foram significativamente superiores aos encontrados na área sob Cerradão, apontando um estoque de 28,37 g.kg⁻¹ a 0.05 m de profundidade e 54,71 g.kg⁻¹ de 0.05 a 0.10 m.

Este resultado pode ter sido influenciado pela caracterização do estrato vegetal presente na fitofisionomia de Cerrado Sensu Stricto, no qual apresenta uma maior presença de vegetação herbáceo-arbustiva e presença de gramíneas, assimilando menores quantidades do carbono estocado no solo. Somando-se a este fato, tem-se uma maior predominância destas nas camadas mais superficiais do solo apontando raízes mais fasciculadas que podem diminuir a mobilidade desse carbono do solo preservando a sua estocagem. Além disso, camadas superficiais recebem de forma direta uma maior deposição de material vegetal o que também favorece uma maior entrada de carbono e por características dos vegetais passam a estoca-

lo em maiores quantidades. As raízes dos vegetais, especificamente as gramíneas constituem grandes estoques de carbono, devido ao acúmulo de C orgânico proveniente dessas raízes, atuando como uma das grandes formas de adicionar C em camadas mais superficiais do solo (TORMENA et al., 2004).

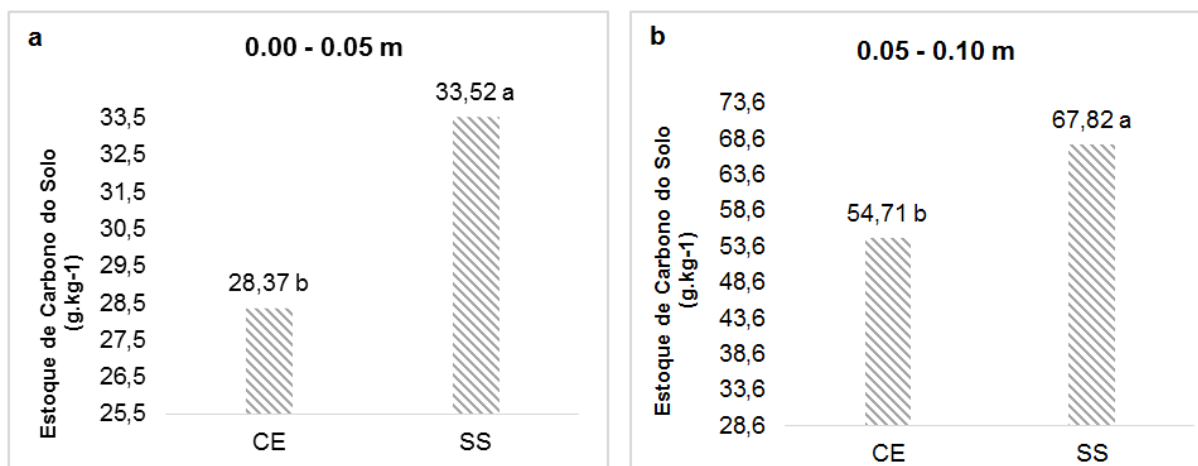


Figura 37 a-b. Estoque de carbono do solo sob diferentes fitofisionomia do Cerrado no PNNRP, em profundidade de 0.00 – 0.05 m e 0.00 - 0.10m. * CE – Cerradão; SS – Sensu Stricto. * As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Considerando tais resultados Lal (2008) relata que a distribuição de carbono no solo e a sua maior concentração nas camadas mais superficiais podem ser influenciadas pela quantidade de serapilheira depositada sobre tal. Além disso, a maior disponibilidade de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo e sua pouca mobilidade e solubilidade de carbono podem variar conforme cada tipo de fitofisionomia, uma vez que as mesmas apresentam diferença quanto à distribuição de seus sistemas radiculares e capacidade de exsudação de compostos orgânicos ao longo do perfil do solo.

7.5.4 Taxa de Sequestro de Carbono e Fluxo de CO₂

No estudo das taxas de sequestro de C de cada fitofisionomia observou-se diferenças importantes na capacidade de atuação como sumidouro nas duas áreas estudadas do PNNRP (Figura 38). Independente da profundidade analisada a fitofisionomia de Cerrado Sensu Stricto apresentou uma maior taxa de sequestro de C, em relação ao Cerradão. Este resultado apresenta uma correlação direta entre a taxa de sequestro de C do Cerrado Sensu Stricto e os valores de estoque de carbono no solo. Tais resultados podem estar relacionados a um maior equilíbrio

entre a mineralização dos resíduos orgânicos do solo, através da microbiota, pela qual por meio dos processos de decomposição incrementam carbono ao solo facilitado a sua estocagem, além de condições estruturais dos extratos vegetais presentes no Cerrado Sensu Stricto.

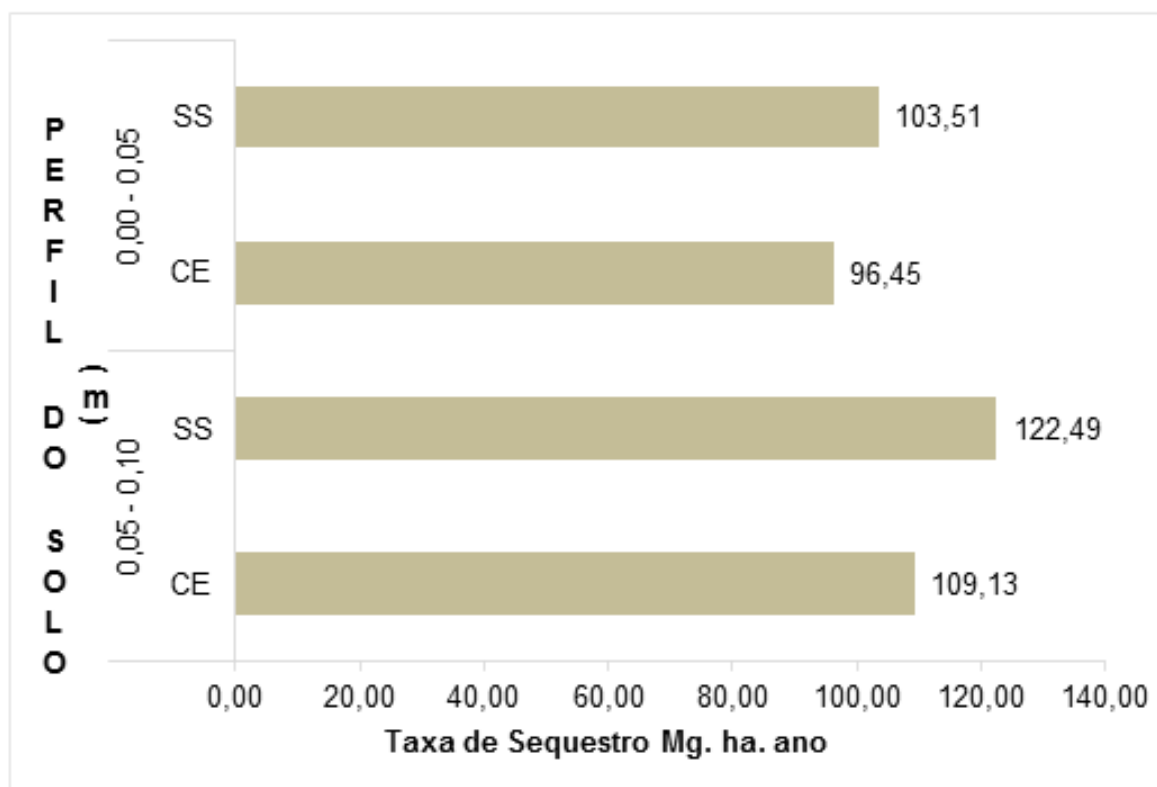


Figura 38. Taxa de sequestro de Carbono pelo solo no PNNRP, sob diferentes fitofisionomias

Os processos de perda e/ou sequestro de C decorrem principalmente das diferentes estruturas existentes no ambiente, tais como sistemas radiculares, densidade de indivíduos, diferenças de estratos lenhosos, níveis de umidade do solo, temperatura do solo, assim como a biodiversidade dos componentes desde a microbiota à macroflora. Quanto a isso, a vegetação sob fitofisionomia de Cerrado Sensu Stricto tende a apresentar raízes fasciculadas e de menos densidade o que contribuem na ciclagem de nutriente, atuando no incremento de carbono no solo e em sua regulação, evitando possíveis perdas de carbono. Segundo Freitas, Barroso e Carneiro (2008) as raízes finas por disporem de alta taxa de ciclagem de nutrientes, são grandes fornecedoras de carbono do solo, pois se decompõem em grandes quantidades principalmente no período de seca, contribuindo no processo de sequestro de carbono.

As diferentes taxas de sequestro de CO₂ do solo e de estoque de C constroem o fluxo deste na interface solo-atmosfera (Figura 39), conforme

identificado nas duas áreas estudadas, com importantes taxas de *in put* de carbono no solo. O fluxo de C é um dos importantes indicadores da capacidade ou potencial de sumidouro ou fonte de emissão de CO₂.

Six et al. (2006) afirma que estudos referentes a fluxo e sequestro de CO₂ estão sendo direcionados em dois vieses básicos: um relacionado à compreensão dos processos de emissão e absorção por diferentes ecossistemas naturais e outra no desenvolvimento de alternativas de uso da terra que promovam o sequestro de CO₂ por esses sistemas (LA SCALA et al., 2001; LAL, 2011; PANOSSO et al., 2009). Estudos nesse sentido ressaltam a grande importância em compreender os mecanismos envolvidos no processo de produção e emissão de CO₂ do solo, bem como os fatores que influenciam tais processos, para futuras ações mitigadoras.

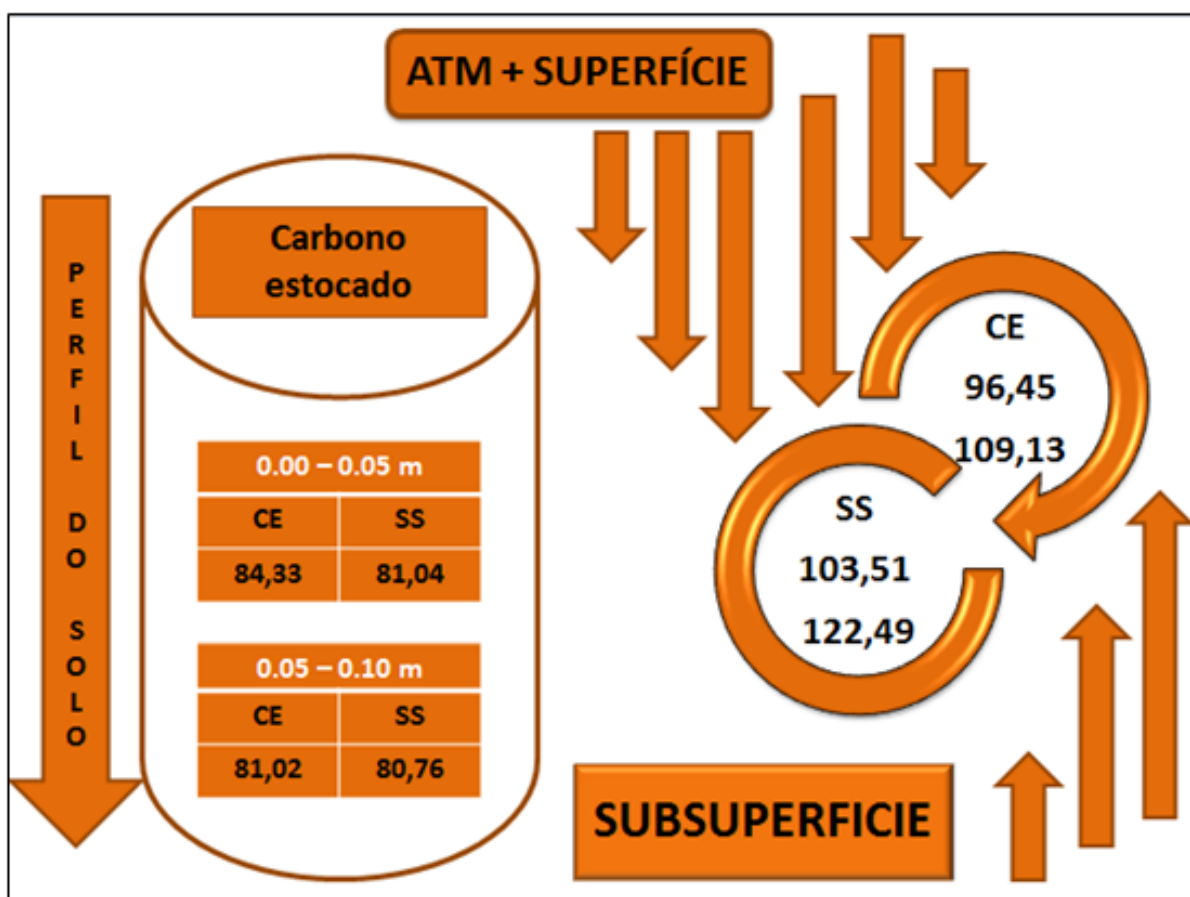


Figura 39. Fluxo de C do solo sob duas fitofisionomias do Cerrado no PNNRP.

Verificando a análise de comportamento do C nas duas fitofisionomias estudadas observou-se que ocorreram importantes contribuições nas duas áreas no papel de sumidouros de C. A relação das taxas de C estocadas e os níveis de conteúdos sequestrados possibilitaram resgates desse nas duas fitofisionomias. A fitofisionomia mais atuante no sequestro de C foi a de Cerrado Senu Stricto

assimilando cerca de 27,71 e 51,65% de C nas camadas de 0.05 m e 0.10 m respectivamente.

Já para o Cerradão verificou-se o sequestro de C a cerca de 14,37% para profundidade de 0.05m e 34,6 % de 0.05 a 0.10 m, ambas apresentando maior capacidade de sequestro de C nas camadas mais profundas do solo. Os níveis de resgate de C foram maiores principalmente na profundidade de 0.05 – 0.10 m nos quais podem relação direta com uma maior predisposição de raízes em camadas mais profundas do solo que acabam por influenciar a armazenagem do C no solo. Mendez-Millan et al (2011) apontam que a quantidade de C armazenada é influenciada por diversos fatores, como por exemplo a ciclagem de raízes nas profundidades do solo e sua relação com a biomassa microbiana.

Desse modo, áreas com capacidade de sequestrar esse carbono disponível na atmosfera devem ser destacadas como ambientes importantes para minimização dos impactos ambientais decorrentes do desbalanço de CO₂ na atmosfera, considerando assim o papel do solo nessa amortização de impactos pela concentração desses gases na atmosfera. Ressalta-se que o solo possui o maior reservatório de carbono, variando entre 1200 a 1600 Pg (BRUCE et al.,1999), sendo esse balanço controlado pelo fluxo entre a entrada, pelos processos fotossintéticos e sua saída via mineralização da MO.

7.6 CONCLUSÕES

Os teores de MOS e COT não apresentaram variação significativa nas fitofisionomias estudadas, condizente com um relevante aporte matéria orgânica sob estas áreas, o que para área sob Cerrado Sensus Stricto proporcionando maior estocagem de carbono.

As taxas de sequestro de C dos solos variam significativamente em função dos diferentes comportamentos das fitofisionomias.

A fitofisionomia Cerrado Sensus Stricto tem maior capacidade de sequestro de C no solo em relação ao Cerradão.

Apesar dos solos do PNNRP atuarem também como fonte de emissão de C, exercem papel principal na função de sumidouro de C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, A. S. F. de. **Matéria orgânica e organismos do solo**. Teresina: EDUFPI, 2008. 220 p.
- BRÖRING, J. M. **Dinâmica do carbono em sistemas de uso do solo no oeste e planalto de Santa Catarina**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages (SC). Disponível em: .<
www.cav.udesc.br/.../id.../janaina_mattge_broring_dissertacao_de_mestrado_2013.p
d.>. Acesso em: 02 de jan. de 2017.
- BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation*. Ankeny, v. 5, p. 382-389, 1999.
- COSTA JÚNIOR, C. et al. Carbono total e $\delta^{13}\text{C}$ em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1241-1252, 2011.
- COSTA, F. S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, n. 32, p. 323-332, out. 2008.
- ESCOBAR, L. F. **Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em solo do Planalto Médio do Rio Grande do Sul**. 2008. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Disponível em: <http://
http://www.sulflux.ufsm.br/sulflux/images/publicacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o%
20Luisa%20Fernanda%20Escobar.pdf>. Acesso em : 21 de Ago. 2016.
- FERNANDES, E. B. **Emissões de CO₂, NO_x e N₂O em solos sob diferentes cultivos na região do Cerrado**. 2008. 138 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília – DF. Disponível em: <repositorio.unb.br/bitstream/10482/1147/1/TESE_2008_ErikaBFernandes.pdf>. Acesso em: 03 de jan. de 2017.
- FRAGA, V. S.; SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p.215-224, 2004.
- FREITAS, T. A. S, de.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. de A. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, 18: 133-142, 2008.
- FURPA. **Zoneamento Ambiental das APA'S Serra da Tabatinga e Chapada das Mangabeiras nos Estados de Tocantins, Maranhão e Piauí**. Relatório técnico não publicado, Teresina. 1997, 111p.
- LA SCALA, N.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; CORÁ, J. E. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂ emissions from a Brazilian bare soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 10, p. 1459-1462, 2000.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transaction of the Royal Society B**. London, v. 363, p.815 – 830, 2008.

LAL, R. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. **Land Degradation and Development**, v.17, p. 197– 209, 2006.

LAL, R. Sequestering atmospheric carbon dioxide. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 28 p. 90-96, 2009.

LAL, R.; DELGADO, J.A.; GROFFMAN, P. M.; MILLAR, N.; DELL, C. & ROTZ, A. Management to mitigate and adapt to climate change. **J. Soil Water Conserv.**, 66:276-285, 2011.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.773-959, 2003.

LIMA, M. G. M. **Mamíferos de médio e grande porte do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, Brasil**. 2009. 143f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) – Museu Paraense Emílio Goeldi, Universidade Federal do Pará, Belém – PA. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp115678.pdf>. Acesso em: 5 de jan. de 2017.

MACHADO, D. M. et al. Atividades microbianas e as transformações no ciclo dos elementos no solo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 180, 2012.

MACHADO, R. B. et al. Estimativa de perdas da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. **Conservation International do Brasil**, Brasília, 2004.

MENDEZ-MILLAN, M., Dignac, M-F., Rumpel, C., Rasse, D.P., Bardouxa, G., Derennec, S. (2011) Contribution of maize root derived C to soil organic carbon throughout an agricultural soil profile assessed by compound specific ¹³C analysis. **Organic Geochemistry**, 42:1502-1511.

MILHOMEM, M. M. **Emissões de dióxido de carbono e compensação ambiental com plantio de espécies arbóreas nativas do Cerrado: Um estudo de caso**. 2012. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Gestão Ambiental) – Faculdade de Planaltina, Universidade de Brasília, Brasília – DF. Disponível em: <bdm.unb.br/bitstream/10483/4107/1/2012_MarcelaMoreiraMilhomem.pdf>. Acesso em: 02 de jan. 2017.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba**. Corrente, 2007. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos_operativos/37-parque_nacional_nascentes_rio_parnaiba-pi.pdf>. Acesso em: 14 de jan. de 2017.

OLIVEIRA, M. E. A. **Mapeamento, florística e estrutura da transição campo-floresta na vegetação (Cerrado) do Parque Nacional e Sete Cidades, Nordeste do Brasil**. 2004. 164p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – UNICAMP, São

Paulo – SP. Disponível em: < cutter.unicamp.br/document/?view=vtls000317718 >. Acesso em: 02 de jan. de 2017.

PACHECO, M. R. P. S.; HELENE, M. E. M. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. **Estud. av.** v.4 n.9, São Paulo: 1990.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em Cerrado Sensu Stricto do Distrito Federal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.3, p.527-538, 2011. Disponível em: < https://www.researchgate.net/.../265583503_Estoque_de_carbono_do_solo_sob_cerrado >. Acesso em: 06 de jan. de 2017.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 275- 282, 2009.

SANTOS, M. P. D. Composição de avifauna nas áreas de proteção ambiental Serra da Tabatinga e Chapada das Mangabeiras, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. 17 (1): 43-67, 2001.

SCHOLES, M.C.; POWLSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, 79:25-47, 1997.

SCHOLES, M.C.; POWLSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, 79:25-47, 1997.

SIX, J.; FREY, S.D.; THIES, R.K. & BATTEN, K.M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 70:555-569, 2006.

TORMENA, C.A. et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1023-1031, 2004.

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

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v.19, p.1467- 1476, 1988.

8. CAPITULO III

GASES DE EFEITO ESTUFA SOB FITOFISIONOMIAS DO CERRADO NO PARQUE NACIONAL DAS NASCENTES DO RIO PARNAÍBA – PNNRP

8.1 RESUMO

As alterações climáticas tem colocado em evidência o papel dos ecossistemas terrestres em relação à mitigação das emissões e aumento dos níveis dos gases de efeito estufa lançados na atmosfera. Estima-se que a absorção líquida desses gases pelos ecossistemas terrestres atinja o ápice antes de meados deste século, e então diminua ou até mesmo reverta o potencial de emissão para atmosfera, alterando o atual quadro das variações climáticas. O aumento das emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) ao longo dos anos, tem sido considerado a principal causa de tais variações climáticas, relacionada, sobretudo com as conversões dos ecossistemas naturais em agroecossistemas. Deste modo, o presente estudo teve por objetivo quantificar a taxa de emissão de CO_2 , CH_4 e N_2O do solo em diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado presentes no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba – PNNRP. Para esta avaliação foram delimitadas duas parcelas de 1 ha sob duas fitofisionomias do Cerrado (Sensu Stricto e Cerradão), as quais foram subdivididas em cinco sub-parcela equivalente a 0,2 ha. Em cada sub-parcela foram selecionados de forma aleatória dez pontos amostrais a uma distância média de 10 m uma das outras para posterior medição dos gases referente à camada superficial solo. As medições foram realizadas por meio do Monitor Multigases – MX6 iBridTM e seus dados trabalhadas por espacialização do comportamento dos gases para cada fitofisionomia. O estudo também realizou a determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) sob as fitofisionomias, de modo a verificar a existência de correlação entre a disposição natural dos componentes florestais e o comportamento/taxa de emissão dos gases estudados. Pode-se verificar quanto à distribuição dos gases emitidos no Parque, que os mesmos apresentaram correlação direta com a disposição dos estratos vegetais das parcelas estudadas. Em relação à taxa de emissão dos gases de efeito estufa, verificou-se uma maior emissão de N_2O do solo para atmosfera, seguida por emissões de CO_2 e CH_4 respectivamente. Tanto a emissão de CO_2 quanto N_2O se mostraram significativas em termos de fitofisionomias, sendo a fitofisionomia de predominante emissão destes gases o Cerrado Sensu Stricto. Enquanto as emissões de metano foram superiores na área sob estrato de Cerradão. Neste contexto, o PNNRP apresentou emissões significativas quanto aos gases de efeito estufa, embora seja decorrente de relações naturais existentes entre o sistema solo-planta-atmosfera em suas fitofisionomias.

Palavras-chave: Efeito estufa. Dióxido de carbono. Estratos vegetais.

CAPÍTULO III

GREENHOUSE EFFECT GASES UNDER CLOSURE VEGETATION IN THE PARNAÍBA RIVER NATIONAL PARK – PNNRP

8.2 ABSTRACT

Climate change has highlighted the role of terrestrial ecosystems in mitigating emissions and increasing levels of greenhouse gases released into the atmosphere. The net absorption of these gases by terrestrial ecosystems is estimated to reach its apex by the middle of this century, and then to reduce or even reverse the emission potential into the atmosphere by changing the current picture of climatic variations. Increasing emissions of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) over the years have been considered the main cause of such climatic variations, mainly related to the conversion of natural ecosystems into agroecosystems. Thus, the present study had the objective of quantifying the CO₂, CH₄ and N₂O emission rate of the soil in different phytophysognomies of the Cerrado biome present in the Parnaíba Rio Nascente National Park - PNNRP. For this evaluation, two 1 ha plots under two Cerrado phytophysognomies (Sensu Stricto and Cerradão) were delimited, which were subdivided into five subplots equivalent to 0.2 ha. In each subplot were randomly selected ten sample points at a mean distance of 10 m from each other for subsequent measurement of the gases relative to the surface layer alone. The measurements were performed through the Multigas Monitor - MX6 iBrid TM and its data worked by spatialisation of the gas behavior for each phytophysognomy. The study also performed the determination of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) under the phytophysognomies, in order to verify the existence of a correlation between the natural arrangement of the forest components and the emission behavior / rate of the studied gases. It can be verified as to the distribution of the gases emitted in the Park, that they presented a direct correlation with the arrangement of the vegetal strata of the studied plots. In relation to the emission rate of greenhouse gases, there was a higher emission of N₂O from the soil to the atmosphere, followed by emissions of CO₂ and CH₄ respectively. Both the emission of CO₂ and N₂O were significant in terms of phytophysognomies, being the phytophysognomy of predominant emission of these gases Cerrado Sensu Stricto. While methane emissions were higher in the area under Cerradão stratum. In this context, PNNRP presented significant emissions in terms of greenhouse gases, although it is due to natural relationships between the soil-plant-atmosphere system in its phytophysognomies.

Key words: Greenhouse effect. Carbon dioxide. Vegetable strata.

8.3 INTRODUÇÃO

A problemática das mudanças do clima tem colocado em evidência o papel dos ecossistemas terrestres principalmente com relação às emissões e aumento dos níveis de GEE lançados na atmosfera. Estima-se que a absorção líquida dos GEE pelos ecossistemas terrestres atinja o ápice antes de meados deste século, e então diminua ou até mesmo reverta o potencial de emissão para atmosfera, alterando o atual quadro das variações climáticas (IPCC, 2007). Entretanto, nos últimos anos, diversas atividades desenvolvidas pelo homem têm provocado severas alterações nestes ecossistemas terrestre e, conseqüentemente, no equilíbrio atmosférico.

O aumento das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O ao longo dos anos, é a principal causa das mudanças climáticas, e está relacionada, sobretudo com as conversões dos ecossistemas nativos em agroecossistemas, o que apresenta uma contribuição acentuada de aproximadamente 24% das emissões mundiais de CO₂, 55% das emissões de CH₄ e 85% das emissões totais de N₂O para atmosfera (IPCC, 2007). Cerri e Cerri (2007) relatam que no Brasil as emissões totais destes GEE oriundas da mudança de uso da terra e conversão de ecossistemas naturais são significativas em termos percentuais, representando aproximadamente 75% do total de emissões dos GEE.

Dados publicados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) revelam que o total de emissões antrópicas mundiais de GEE tem aumentado continuamente ao longo de 1990-2010, sendo os maiores valores absolutos registrados entre os anos de 2000 e 2012, apesar do crescente número de políticas de mitigação (IPCC, 2014). Além disso, as emissões antrópicas mundiais em 2010 atingiram o valor de 49±4,5 Gt de CO₂ eq/ano, sendo 65% deste devido às emissões de CO₂ pelos combustíveis fósseis e processos industriais, 11% devido às emissões de CO₂ pela mudança do uso da terra e florestas, que está associado principalmente ao desmatamento, e o restante está distribuído entre as emissões de CH₄ (16%), N₂O (6,2%) e gases fluorados (2%) (IPCC, 2014). Assim, com a existência de toda essa variedade de fontes emissoras do CO₂, a sua concentração na atmosfera é significativamente superior às concentrações dos demais GEE, o que lhe confere tamanha atenção nos estudos sobre as mudanças climáticas.

Embora o CH_4 e o N_2O se apresentem em baixas concentrações na atmosfera, esses gases tem um Potencial de Aquecimento Global (PAG) significativamente alto quando comparado ao CO_2 . O PAG de um gás é definido pelo potencial específico de contribuir com o aquecimento global, provocado pela habilidade individual de absorver radiação e produzir calor em relação à vida útil da molécula de gás. Desta maneira, o PAG do dióxido de carbono corresponde a 1, o do metano 21, e o do óxido nitroso 310, o que significa dizer que o metano (CH_4) absorve cerca de 21 vezes mais radiação infravermelha do que o CO_2 , e o óxido nitroso absorve cerca de 310 vezes, respectivamente, considerando o horizonte de tempo de 100 anos (CETESB, 2012).

Em ecossistema terrestre as dinâmicas destes gases ocorrem e são influenciadas por diversos fatores, sendo o CO_2 atuante em vários processos naturais o que determina a sua taxa de absorção ou emissão nesses ecossistemas. Além disso, o CO_2 exerce um grande e importante papel na dinâmica energética do sistema solo-atmosfera, no qual contribui na absorção de energia solar e terrestre de determinados comprimentos de onda, (VAREJÃO, 2006). Nesse sentido, destaca-se que os processos envolvidos na dinâmica do C e demais GEE nos ecossistemas terrestres, variam de bioma para bioma. No entanto, os maiores fluxos de CO_2 poderão ser encontrados tanto nas florestas tropicais que estão entre os mais importantes e menos monitorados ecossistemas do planeta quanto em formações florestais em regiões subsumidas, ainda pouco estudadas (MALHI et al., 1998).

Neste contexto, destaca-se a importância da dinâmica do C em ecossistemas terrestres, principalmente quanto aos processos envolvidos no sistema de interação solo-atmosfera, sob áreas nativas cobertas por diferentes formações vegetais. Deste modo, o presente estudo teve por objetivo quantificar a taxa de emissão de CO_2 , CH_4 e N_2O nas diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado presentes no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba – PNNRP.

8.4 MATERIAL E MÉTODOS

8.4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba – PNNRP, Unidade de Conservação de Proteção Integral criada por Decreto Federal em 2002, abrangendo uma área de 729.813 ha e parte do topo das Chapadas das Mangabeiras e suas encostas. O PNNRP está localizado no divisor das bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Tocantins e Parnaíba e compreende os domínios do bioma Cerrado entre a região Sul do Piauí e Maranhão, norte do Tocantins e noroeste da Bahia (LIMA, 2009). Com sua expressiva extensão territorial, a maior parte de sua área está localizado no Estado do Piauí cobrindo os municípios de Gilbués, São Gonçalo do Gurguéia, Barreiras do Piauí e Corrente, além dos municípios de Formosa do Rio Preto na Bahia, Mateiro, São Félix e Lizarda no Tocantins e Alto do Parnaíba no Maranhão (Figura 40).

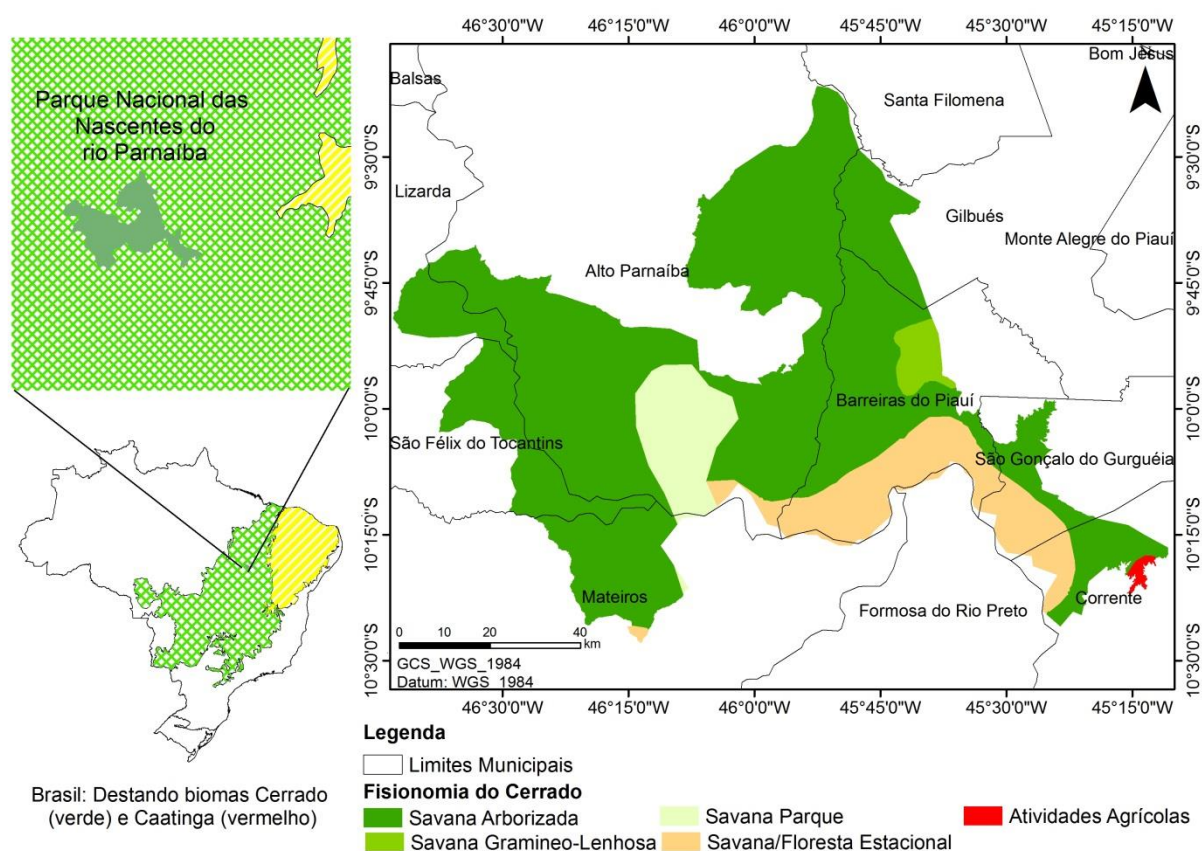


Figura 40. Localização geográfica do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Elaborado por Cristian Epifânio Toledo, 2017.

Dada sua localização na porção centro-ocidental do Nordeste brasileiro, o estudo foi realizado na porção piauiense do PNNRP, especificamente em área correspondente ao município de Barreiras do Piauí. A caracterização física do Parque Nacional - PARNA está descrita a seguir:

- **Vegetação**

O PARNA está inserido na região que apresenta a maior extensão de cobertura vegetal natural do bioma Cerrado, possuindo uma vegetação complexa e diversificada. Machado et al. (2004) afirma que o Parque apresenta tipos fisionômicos pertencentes ao bioma, nelas incluindo a fitofisionomia de campo-cerrado, cerrado típico ou “sensu stricto” e brejo ou veredas, sendo a primeira característica do platô das chapadas. Além destas, Santos (2001) reconheceu mais duas fitofisionomias nas porções do Parque, sendo elas o cerrado campo limpo e cerradão.

- **Relevo**

Segundo MMA (2007) as partes terminais da Chapada apresentam perfis irregulares e sinuosos, formando escarpas bem definidas na parte superior, com paredões e perfis verticalizados e em sua maioria desprovidos de cobertura vegetal. A depressão subsequente desenvolve-se abaixo dos rebordos festonados, em nível médio aproximado de 400 m a 800 m. A área tem importância fundamental por tratar-se das nascentes obsequentes que tendem a promover, por erosão regressiva, o recuo da escarpa e dos rebordos da chapada. Possui veredas que são planícies fluviais de acumulação inundáveis, constituídas por sedimentos holocênicos de textura predominantemente arenosa, estabelecidas a uma altitude média aproximada de 20 a 30 metros de rebordo da chapada, assim originando numerosos córregos.

- **Solo**

Os solos nestas chapadas são profundos e de baixa fertilidade natural e nos declives das vertentes apresentam-se arenosos rasos e pobres, com a presença de afloramentos rochosos e com alta permeabilidade (FURPA, 2000). As principais associações ou classes de solos dominantes são: Latossolos vermelhos amarelos; solos litólicos + pdzólicos vermelhoamarelos concrecionários + afloramentos rochosos; latossolos vermelhoamarelos + neossolos quartzarênicos +

podzólicos acinzentados + neossolos quartzarênicos hidromórficos; neossolos quartzarênicos + neossolos aluviais (MMA, 2007).

- **Geologia**

A região do PNNRP do ponto de vista geológico estrutural integra a bacia sedimentar do Maranhão-Piauí e a Bacia Sanfranciscana. Na área das nascentes predomina a Formação Sambaíba ou Balsas de idade triássica e subjacente à Formação Urucuia. É constituída de arenitos, róseos, avermelhados, amarelados e brancos de granulometria fina a média. Sua maior extensão encontra-se no estado da Bahia. No Piauí, Maranhão e Tocantins, representa o topo da Chapada das Mangabeiras sendo denominada de Formação Urucuia (MMA, 2007).

- **Hidrologia**

As chuvas, como fonte de suprimento, tendem a modificar de modo temporário a água disponível em superfície, no solo e no subsolo. As condições geomorfológicas influenciam através das características dos compartimentos do relevo com repercussões nos perfis longitudinais dos rios e nos seus respectivos vales. Na Chapada das Mangabeiras recoberta por arenitos da Formação Urucuia a excessiva permeabilidade dos terrenos impede a concentração de água em superfície, toda a água precipitada tende a percolar até ressurgir na base do escarpamento como fontes perenes que formam as nascentes fluviais. Quanto às águas subterrâneas, as águas profundas, a exemplo do que se verifica na Chapada das Mangabeiras e na depressão subsequente, correspondem respectivamente aos aquíferos Urucuia e Sambaíba e as águas subterrâneas próximas à superfície do solo, deve-se considerar os aquíferos das veredas em sedimentos de neoformação (MMA, 2007).

- **Clima**

Quanto às chuvas, a região apresenta duas estações climáticas bem definidas, característica das regiões tropicais, correspondente a um período seco, que vai de maio a novembro e outro chuvoso, que vai de dezembro a abril, aproximadamente. Por outro lado estas chuvas apresentam uma alta variabilidade interanual típica das regiões semiáridas. O ciclo das chuvas é regulado pelas massas: Equatorial Atlântica (Ea), Equatorial Continental (Ec), Tropical Atlântica (Ta), e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Conforme classificação Koppen-Geiger o clima é caracterizado como quente e úmido do tipo Aw, temperatura média

anual de 26°C e totais pluviométricos anuais em torno de 750 a 1400 mm (MMA, 2007). Na figura 41 está registrado o comportamento pluviométrico da região no período de realização do estudo.

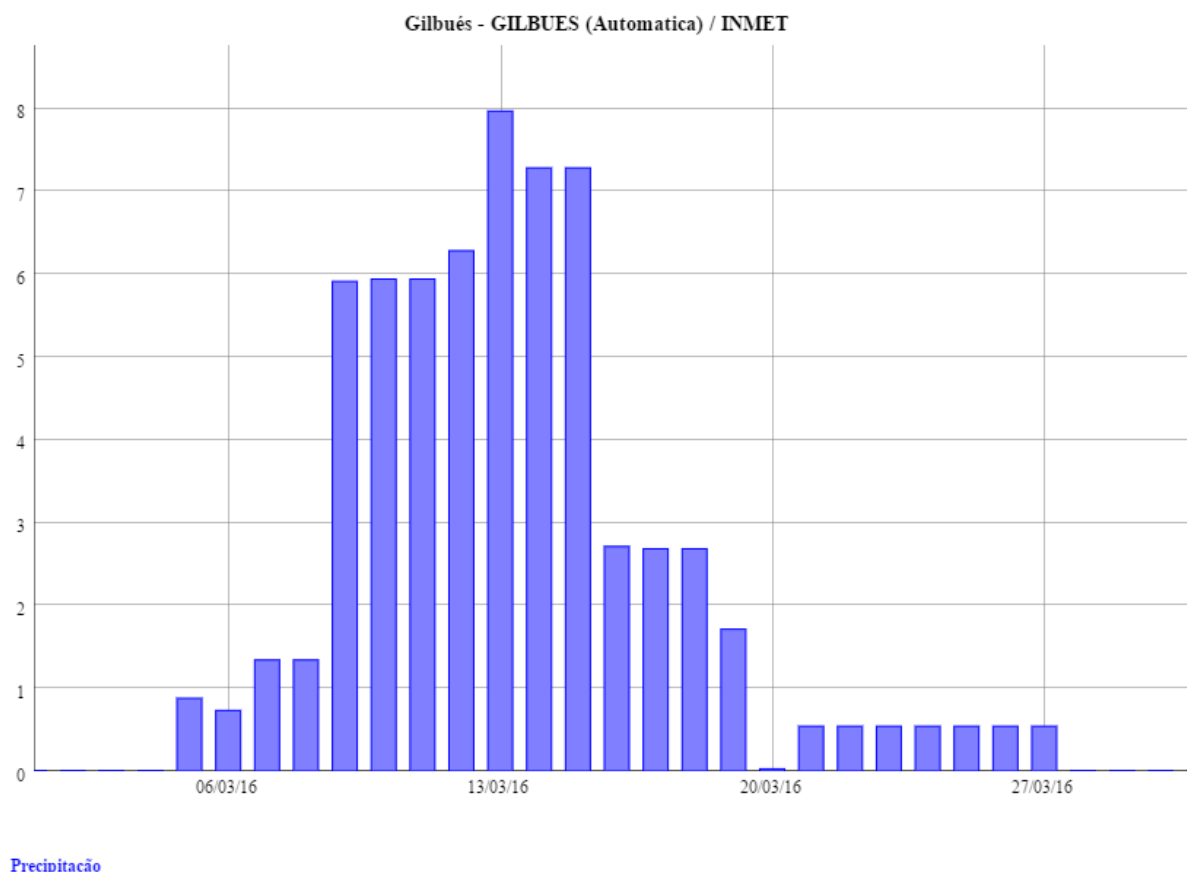


Figura 41. Precipitação mensal (mm) durante o período de estudo. Fonte: INMET, 2017.

8.4.2 Descrição das fitofisionomias amostradas

No estudo foram amostradas duas importantes fitofisionomias do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba e do referido bioma: a fitofisionomia de Cerrado Senu Stricto e de Cerradão. A caracterização das fitofisionomias amostradas está descrita abaixo, segundo dados de Oliveira (2004):

Cerrado Senu Stricto: para esse tipo fisionômico a vegetação é caracterizada pela presença de dois estratos, sendo um herbáceo-subarbustivo com predominância de gramíneas e outro arbustivo-arbóreo com cobertura arbórea de 10 a 60%. O estrato arbustivo-arbóreo caracteriza-se pela presença de plantas com aproximadamente 5 m apresentando tortuosidade dos ramos, ramificação irregular, ritidoma esfoliado corticoso rígido e casca suberosa macia (Figura 42).



Figura 42. Aspecto fisionômico de cerrado Sensu Stricto no PNNRP. Fonte: Autor, 2016.

Cerradão: Semelhante ao cerrado típico, sua fisionomia tem dois estratos, sendo o herbáceo-subarbustivo bastante escasso (Figura 43). Nessa fitofisionomia predominam árvores altas e retas com alturas de até 7m e troncos de casca fina, lisa ou às vezes rugosa, com presença de lenticelas, ou ainda esfoliastes.



Figura 43. Aspecto fisionômico de Cerradão no PNNRP. Fonte: Autor, 2016.

8.4.3 Delienamento amostral e tratamento

A determinação dos Gases de Efeito Estufa - GEE foi realizada em área composta por dois tratamentos referentes à fitogeografia do bioma Cerrado: fisionomia de Cerradão (CE) e fisionomia Sensu Stricto (SS). O delineamento amostral corresponde a duas parcelas de 1 ha para cada um tratamento amostral. As parcelas de equivalentes a 1 ha foram subdivididas em 5 sub-parcelas em unidades de 0,2 ha, onde foram realizadas as medições dos GEE (Figura 45).

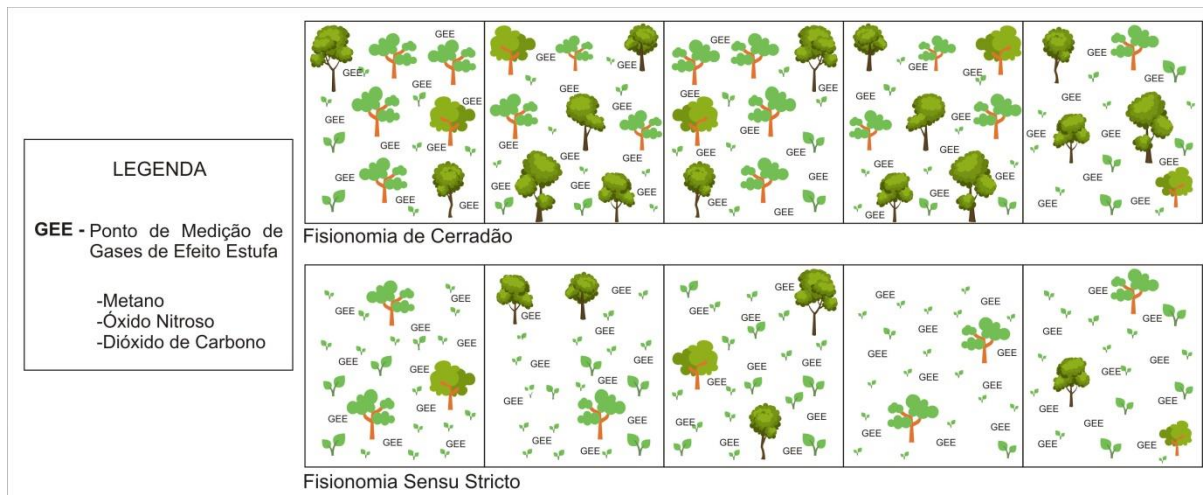


Figura 44. Representação esquemática do sistema de gases na área de estudo. Elaborado por: Laécio Miranda Cunha, 2017.

8.4.4 Medição das Emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE)

Em cada sub-parcelas (0,2 ha) delimitada conforme fitogeografias do Cerrado foram realizadas medições dos gases CO_2 , CH_4 e N_2O , referente ao período de Janeiro de 2017. Em cada uma delas foram selecionados de forma aleatória dez pontos amostrais a uma distância média de 10 m uma das outras. A amostragem dos gases foi realizada, na camada superficial do solo de cada ponto selecionado. As medições foram realizadas por meio do Monitor Multigases – MX6 iBrid TM.

8.4.5 Espacialização do comportamento dos gases em cada fitofisionomia

Após coleta de dados, as médias de emissão dos gases estudados foram trabalhadas por meio de análise multivariada, krigagem, a fim de verificação desses sob as duas fitofisionomias do bioma Cerrado no PNNRP. Por meio do programa ArcGis os dados de emissão de cada gás foram condicionados a sua localização geográfica dentro das duas parcelas estudadas (1,0ha/fitofisionomia), observando o comportamento desses em relação as estratigrafias dos componentes florestais naturais de cada fisionomia, assim como a verificação das diferenças estruturais de cada fisionomia em relação a área.

8.4.6 Determinação do Índice Vegetal por Diferença Normalizada (NDVI)

O estudo também realizou a determinação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) sob as duas fitofisionomias do PNNRP, de modo a verificar a existência de correlação entre a disposição natural dos componentes florestais e o comportamento/taxa de emissão dos gases estudados.

8.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo verificou quanto ao comportamento da distribuição dos GEE emitidos no PNNRP que os mesmos apresentaram correlação direta com a disposição dos estratos vegetativos florestais nas duas parcelas estudadas (Figura 45). Os processos diferenciados de formação e transformação dos materiais biológicos das florestas corroboram com as diferentes rotas e níveis de emissões de gases, variando de fitofisionomia para fitofisionomia (MCIT, 2010).

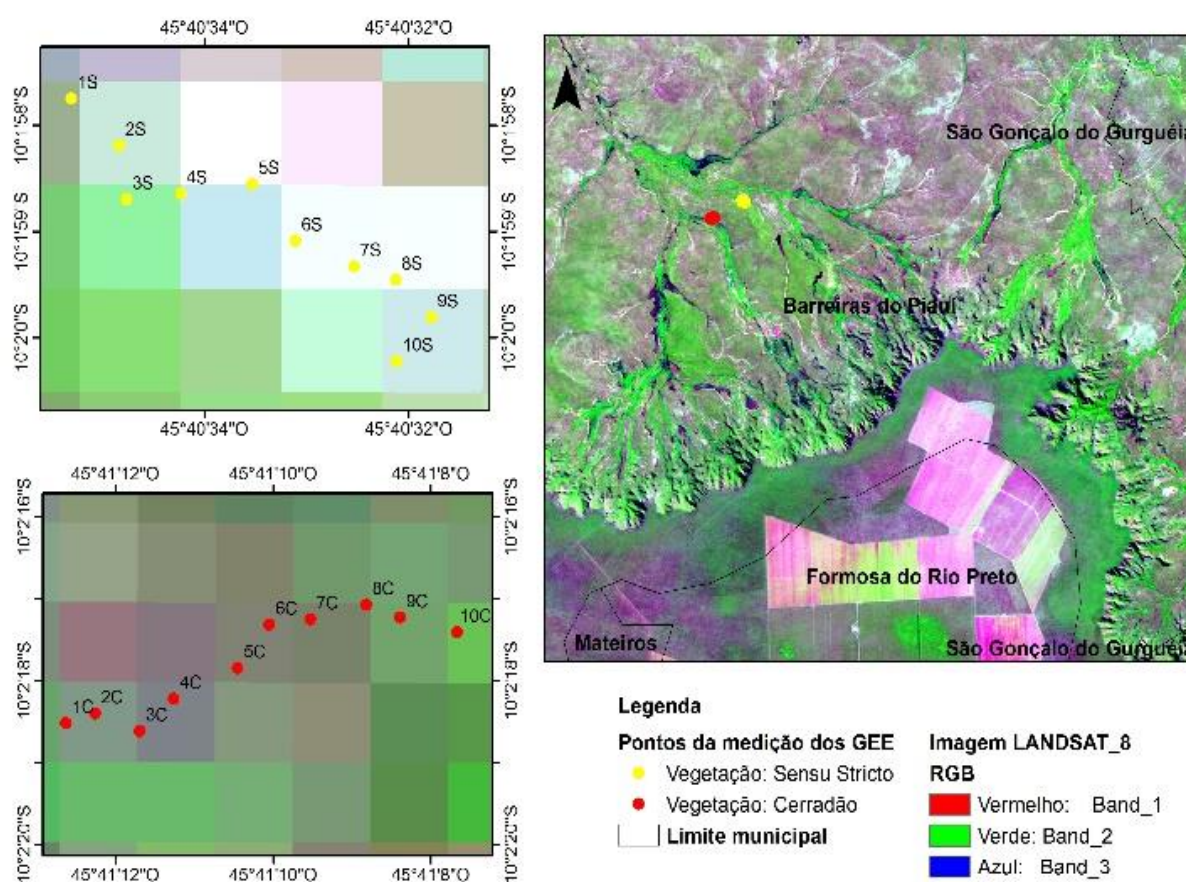


Figura 45. Espacialização dos pontos de coleta de emissão dos gases de efeito estufa no PNNRP.

No que diz respeito às emissões do gás carbônico (CO_2) observou-se que as concentrações do gás diferiram significativamente nas duas fitofisionomias, sendo que na fitofisionomia do Cerrado Sensus Stricto ocorreram valores praticamente duplicados em determinados pontos de mensuração em comparação às áreas de Cerradão (Figura 46). Assim, verifica-se que as diferentes estratificações da vegetação do Cerrado podem influenciar sobremaneira nos processos de deposição de materiais e de decomposição deste. Neste sentido, a ciclagem dos conteúdos orgânicos nesses ambientes, apesar de semelhantes, tornam-se singulares para cada comportamento fitofisionômico.

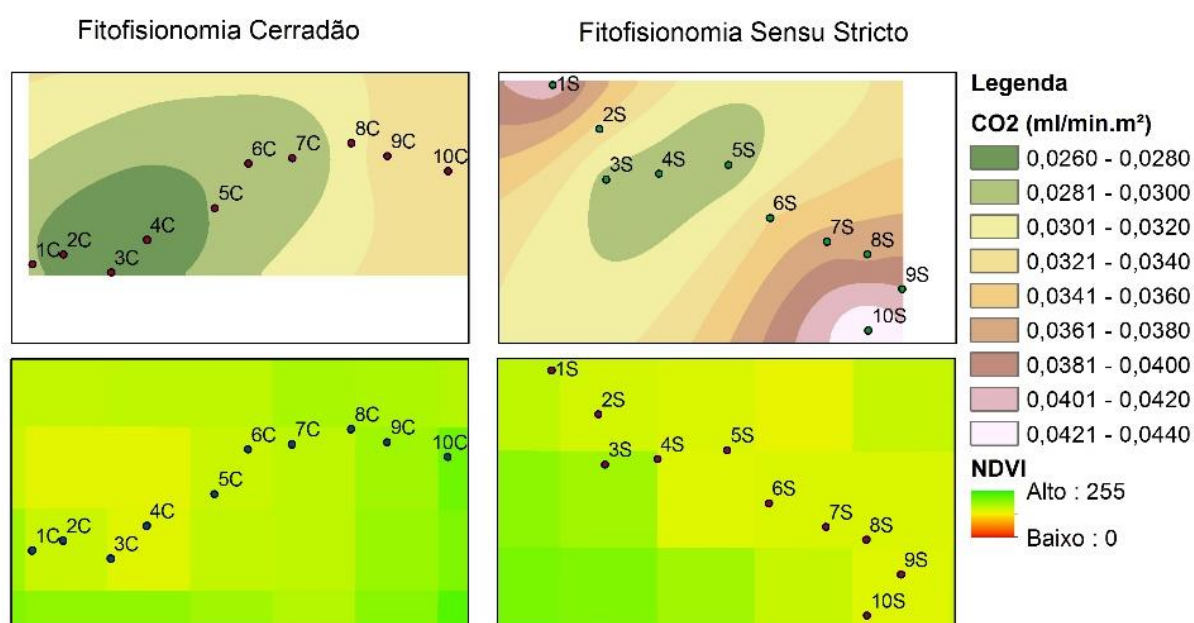


Figura 46. Espacialização da emissão de CO_2 no PNNRP sob fitofisionomias de Cerradão e Cerrado Sensus Stricto. Elaborado por: Cristian Epifânio Toledo, 2017.

Estes resultados demonstram que estas fitofisionomias tendem a apresentar variações quanto quantidades de deposição de material orgânico sobre os solos decorrentes de seu tipo de vegetação e fatores ambientais atuantes em suas áreas, o que garantem um comportamentento diferenciado quanto a capacidade de decomposição de seus resíduos vegetais, incorporação de carbono nos solo, processo fotossintetico e utilização do carbono disponível no solo com posterior transformação e consequente emissão em forma de CO_2 para atmosfera. Conforme Silva et al. (2012) o tipo de vegetação e as condições ambientais são fatores determinantes da quantidade e qualidade do material que cai no solo, determinando

a heterogeneidade e a taxa de decomposição desse material depositado na superfície do solo.

Os consideráveis valores de emissão de CO_2 na fitofisionomias de Cerrado Ssensu Stricto devem estar relacionados com, além da quantidade e qualidade do material orgânico depositado sobre suas áreas, uma maior exposição a agentes e processos edafoclimáticos, visto que espacialmente a sua composição vegetal é menos adensada e com reduzido agrupamento de espécie. Tais características somadas as condições climáticas atuantes na região podem favorecer ainda mais o processo de produção de material orgânico como a serrapilheira e sua decomposição. Sofrendo influência tanto das elevadas temperaturas quanto de sua maior exposição a radiação solar em períodos de estiagem. Calvi et. al. (2009) afirma que elevadas temperaturas e maior quantidade de insolação constituem os fatores climáticos mais relevantes para a produção da serrapilheira em ambiente natural. O que pode influenciar as emissões de CO_2 para atmosfera, controlados por processo de deterioração da serrapilheira.

Destaca-se ainda que a emissão de CO_2 na fitofisionomia além de comandada pelo processos de decomposição, respiração e fotossíntese controlam a dinâmica do C no solo nos diferentes ecossistemas. Para Machado et al. (2012) os microrganismos são responsáveis pela decomposição dos materiais orgânicos, imobilização, mineralização e transformação de compostos, promovendo a liberação de CO_2 para a atmosfera. Logo, os processos que controlam a liberação desse CO_2 do solo para atmosfera são fundamentais na dinâmica desse gás no ambiente. Além disso, as diferenças entre frações lábeis e estáveis da matéria orgânica no solo afetam diretamente a emissão do CO_2 para a atmosfera, visto que controlam a liberação ou aprisionamento desse C no solo.

As fitofisionomias amostradas também apresentaram valores diferenciados para os níveis de emissão de metano (CH_4) sob as duas fitofisionomias (Figura 47). Neste contexto, observou-se pela espacilização dos dados de emissão que ocorreram taxas mais homogêneas nas duas áreas estudadas, principalmente ao que se refere ao Cerrado Ssensu Stricto, com níveis variando apenas entre 0,073 a 0,076 ml/min/m². Ressalta-se ainda que ocorreram diferenças significativas entre as duas fitofisionomias quanto as emissões de CH_4 , com níveis mais elevados para área de Cerradão em relação ao Cerrado Ssensu Stricto.

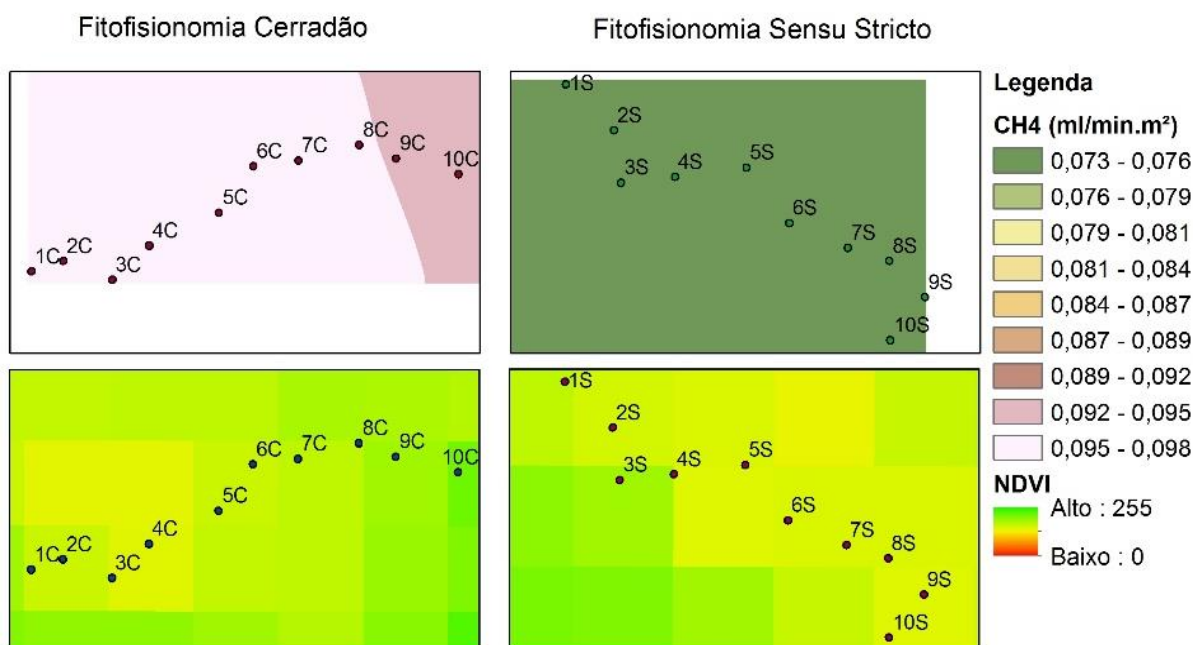


Figura 47. Espacialização da emissão de CH₄ no PNNRP sob fitofisionomias de Cerradão e Cerrado Ssensu Stricto. Elaborado por: Cristian Epifânio Toledo, 2017.

As emissões de CH₄ na área de Cerradão pode ser decorrente de uma maior ocorrência de processos microbianos anaeróbicos atuantes na decomposição de material orgânico, uma vez que nesta fitofisionomia pode haver uma maior retenção de água no solo o que juntamente com esse material cria condições favoráveis a realização de atividades de decomposição anaeróbica, tornando possível a emissão de CH₄ nesta área. Além disso, áreas com maior formação florestal tendem a apresentar condições ambientes para atuação de microrganismos anaeróbico.

Marik et al. (2002) relatam que em áreas alagadas ou relativamente úmidas os microrganismos anaeróbicos convertem parcialmente a matéria orgânicas em CH₄. Nesse processo a matéria orgânica é degradada por um conjunto de bactérias anaeróbicas que consomem enzimaticamente a celulose e outros compostos orgânicos mais complexos. Os compostos resultantes, como ácidos graxos, são por sua vez degradados por outras bactérias em acetato ou compostos contendo um átomo de carbono, por exemplo, CO₂ ou metanol (CH₃OH). Ao final desse processo, esse conjunto de bactérias reduz estes compostos a metano e aumentam a sua emissão para atmosfera sob condições naturais principalmente durante períodos de precipitação.

Todavia, que os solos sob formações florestais são ou podem torna-se fontes de emissão de CH₄ especificamente durante e estação chuvosa, quando os níveis

de umidade do solo atingem patamares que favoreçam o desenvolvimento de bactérias anaeróbicas produzindo CH_4 como subproduto da respiração (MOURA, 2010).

Em relação a liberação de óxido nitroso (N_2O) nas fitofisionomias estudadas para atmosfera, o estudo verificou uma diferença significativa das taxas de emissão no que se refere as emissões de CO_2 e CH_4 nestas áreas. Assim, torna-se evidente que as fitofisionomias estão emitindo maiores concentrações de N_2O para atmosfera do que CO_2 e CH_4 . Os valores de emissão registrados nas fitofisionomias são expressivamente superiores aos demais gases, apresentando variação de 13,75 a 15,02 ml/min/m^2 para a área sob Cerradão e 15,97 a 16,28 ml/min/m^2 para fitofisionomia de Cerrado Sensus Stricto. Tais resultados ressaltam uma diferença significativa quanto a emissão de N_2O por fitofisionomia, sendo o Cerrado Sensus Stricto o maior emissor desse gás para atmosfera nestas áreas (Figura 48).

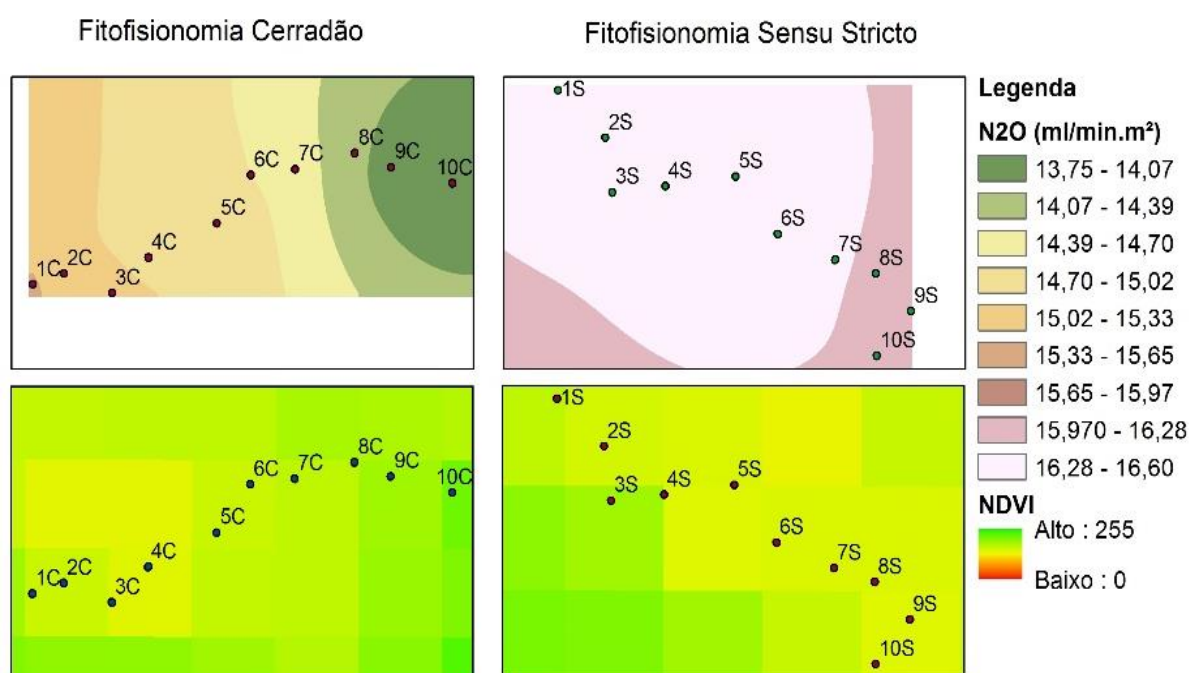


Figura 48. Espacialização da emissão de N_2O no PNNRP sob fitofisionomias de Cerradão e Cerrado Sensus Stricto. Elaborado por: Cristian Epifânio Toledo, 2017.

Conforme espacialização da emissão do N_2O nas referidas fitofisionomias, pode-se perceber uma maior homogeneidade para a área de Cerrado Sensus Stricto, assumindo um comportamento de emissão de 16,28 em quase sua totalidade. As elevadas emissões desse gás no solo estudado pode estar relacionado com um maior processo de desnitrificação de nitrogênio (N) do solo promovendo perdas para

atmosfera, visto que além das condições ambientais favoráveis a tais processos a fitofisionomia de Cerrado *Sensu Stricto* apresenta em sua área maior ocorrência de gramíneas juntamente com sua vegetação arbórea-arbustiva, o que pode estar facilitando a conversão do N total do solo em N_2O ou mesmo NO. As gramíneas apresentam direta relação com a associação simbiótica de microrganismos nos solos, uma vez que estes fixam-se às suas raízes e passam a realizar o processo de mineralização da matéria orgânica transformando o N orgânico em proções minerais, dos quais simultaneamente pode ocorrer a desnitrificação do nitrato ou nitrito para N_2O e a partir daí ocorrer perdas desse gás para a atmosfera (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Bouwman (1998) relata que a desnitrificação corresponde ao processo de redução de nitrato ou nitrito por ação da microbiota do solo, em N_2O , ocorrendo conjuntamente ao processo de mineralização do N-orgânico no solo, sendo uma das principais vias de perda de N do solo. O que para a área de Cerrado *Sensu Stricto* pode ter relação com a deposição de material orgânico sobre o solo e sua intensa utilização pela microbiota. A permanência de materiais orgânicos proveniente dos vegetais em superfície, e baixa movimentação deste no solo favorecem a proteção física da matéria orgânica do solo (MOS) com a formação de agregados que ocasionam o aumento dos estoques de C e N no solo (SÁ et al., 2001) e a produção N_2O no solo relacionado com a sua disponibilidade de N (WEITZ et al., 2001).

Neste contexto a emissão pode parecer baixa para esse ecossistema, contudo para o ambiente essa quantidade pode ser elevada se considerar que o potencial de aquecimento global do N_2O é de aproximadamente 300 vezes maior que o CO_2 (IPCC, 2001).

Ao que se refere às relações do comportamento dos gases estudados e a densidade de indivíduos florestais nas duas fitofisionomias do parque observou-se uma correlação positiva (Figuras 46, 47 e 48). A cobertura vegetal exerce influências sobre as diferentes taxas de emissão dos gases a partir das atividades microbiológicas que ocorrem pelos processos de decomposição e mineralização, e fotossíntese. Logo, a utilização da ferramenta do NDVI pode ser bastante eficiente para detectar variações temporais sazonais e interanuais na fenologia de culturas, diferentes períodos de crescimento, pico de cobertura verde, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência (PONZONI, 2007).

Rodrigues et al (2013) estudando fluxos de gases do efeito estufa em agroecossistemas obteve importantes resultados em se tratando dessa metodologia, visto que o comportamento dos diferentes estágios fenológicos das espécies foram correlacionados com os níveis de emissão desses gases. Contrariamente, Coltri et al (2009) estudando a emissão de gases correlata a biomassa vegetal identificou necessidades de calibração no método, com baixo índice de correlação direta dos dados.

8.6 CONCLUSÃO

O comportamento espacial dos gases CO₂, CH₄ e N₂O emitidos no PNNRP apresentaram relação direta com a disposição dos estratos vegetais das fitofisionomias assumindo comportamento diferenciado.

As taxas de emissões de CO₂ e N₂O foram relativamente maiores na área sob fitofisionomia de Cerrado Senu Stricto se comparada a fitofisionomia de Cerradão, decorrente principalmente de um maior equilíbrio na ciclagem e deposição de material orgânico.

As maiores emissões de CH₄ referem-se à área sob fitofisionomia de Cerradão, possivelmente com maiores condições ambientais que favorecem o desenvolvimento da microbiota anaeróbica nessa área.

O PNNRP apresentou emissões significativas quanto os gases de efeito estufa, embora seja decorrente de relações naturais existentes entre o sistema solo-planta-atmosfera em suas fitofisionomias.

8.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos do PNNRP sob as fitofisionomias do Cerrado apresentaram qualidade química e física típicas dos solos encontrados no referido bioma, sob condições naturais. Os solos acabaram por se mostrar naturalmente ácido e com baixa disponibilidade nutrientes o que por sua vez, baixa fertilidade natural. No entanto, mesmo sob estas condições os solos juntamente com ação da biota consegue se autosustentar devido a existencia de processos naturais de ciclagem de nutriente nesse ecossistema, os quais promovem melhorias sobre a sua qualidade. Estes solos também se mostram como um importante reservatório de C, apresentando elevados teores de matéria orgânica e carbono orgânico do solo não existindo variação significativa enquanto diferentes fitofisionomias. Porém a fitofisionomia de Cerrado Sensus Stricto apresentou-se com uma maior capacidade de estocar o carbono em seu solo, e ainda sequestrar carbono de forma significativa quando comparado a capacidade verificada em áreas de Cerradão. O PNNRP apresentou emissões significativas quanto os gases de efeito estufa, embora seja decorrente de relações naturais existentes entre o sistema solo-planta-atmosfera em suas fitofisionomias. As emissões nessas áreas se mostram significativas, sendo as maiores emissões registradas na fitofisionomia de Cerrado Sensus Stricto. Os comportamentos espaciais dos gases apresentaram relação direta com a disposição dos estratos vegetais das fitofisionomias assumindo comportamento diferenciado, com distribuição homogênea nessas áreas. Desta maneira, verifica-se que o PNNRP atua de forma significativa tanto como fonte emissora de GEE quanto dreno de carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOUWMANN, A. F. Nitrogen oxide and tropical agriculture. **Nature**, London, 392, p. 866-867, 1998.

BRASIL. **Emissões de CO₂ pelo uso da terra, mudança do uso da terra e floresta**. Relatório de Referência: Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta. Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília: MCTI, 2010.

CALVI, G. P.; PEREIRA, M. G.; JÚNIOR, A. E. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes em áreas de floresta atlântica em Santa Maria de Jetibá, ES. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 131-138, 2009.

CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Agricultura e aquecimento global. B. Inf. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**, 23:40–44, 2007.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Gases do Efeito Estufa**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/proclima/Efeito%20Estufa/9-Gases%20do%20Efeito%20Estufa>> (Acesso em novembro, 2016).

FURPA - Fundação Rio Parnaíba. **Zoneamento Ambiental das APA'S Serra da Tabatinga e Chapada das Mangabeiras nos Estados de Tocantins, Maranhão e Piauí**. Relatório técnico não publicado, Teresina. 1997, 111p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2014: Synthesis report**. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth assessment report of the IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, 151 p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climatic Change 2007: Synthesis Report**. Cópia não editada, 2007, 23 p.

IPCC (2001) **Technical summary**: Climate change 2001. The Scientific Basis. Contributions of Working Group I. of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: J.T. HOUGHTON; Y. DING; J.D. GRIGGS; M. NOUGER; P.J. VAN DER LINDEN; X. DAI; K. MASKELL; C.A. JOHNSON. (Ed.). Cambridge-UK: Cambridge University Press, 2001. 398p.

LIMA, M. G. M. **Mamíferos de médio e grande porte do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, Brasil**. 2009. 143f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) – Museu Paraense Emílio Goeldi, Universidade Federal do Pará, Belém – PA. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp115678.pdf>. Acesso em: 5 de jan. de 2017.

MACHADO, D. M. et al. Atividades microbianas e as transformações no ciclo dos elementos no solo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 180, 2012.

MACHADO, R. B. et al. Estimativa de perdas da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. **Conservation International do Brasil**, Brasília, 2004.

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G. P.;m CULF, A.; SCOTT, S. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research** . v. 103, p. 31.593-31.612, 1998.

MARIK, T.; FISCHER, H.; CONEN, F.; SMITH,K. Seasonal variations in stable carbon and hydrogen isotope ratios in methane from rice fields. **Global Biogeochemical Cycles, Washington**. v. 16, n.4, p.41-52, Oct., 2002.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba**. Corrente, 2007. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos_operativos/37-parque_nacional_nascentes_rio_parnaiba-pi.pdf>. Acesso em: 14 de jan. de 2017.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e biotecnologia do solo**. 2. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 729 p.

MOURA, J.M. S. **Fontes de metano em florestas tropicais da Amazônia: Análise da composição isotópica e uso de técnicas indiretas para determinação de balanços gasosos nesses ecossistemas**. 2010. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

OLIVEIRA, M. E. A. **Mapeamento, florística e estrutura da transição campo-floresta na vegetação (Cerrado) do Parque Nacional e Sete Cidades, Nordeste do Brasil**. 2004. 164p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – UNICAMP, São Paulo – SP. Disponível em: <bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP_5021790879761f8a1b03a18e29b9f9cb>. Acesso em: 2 de jan de 2017.

PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP, Editora Parentese, 2007. 126p.

RODRIGUES, C. P. et al. NDVI e fluxo de co2 em lavoura de soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.1, 95 - 104, 2013.

SÁ, J.C.M. et al. Organic mater dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of American Journal**, v.65, p.1486-1499, 2001.

SANTOS, M. P. D. Composição de avifauna nas áreas de proteção ambiental Serra da Tabatinga e Chapada das Mangabeiras, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. 17 (1): 43-67, 2001.

SILVA, A. D. DA. et al. Influência da precipitação e temperatura do ar na produção de liteira na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra – PA. In: XII Salão de Pesquisa e Iniciação Científica do CEULS/ULBRA e Conexão de saberes pela pesquisa, 2007, Santarém. **Anais ...** Santarém: Centro Universitário Luterano de Santarém, CEULS/ULBRA. 2012. p. 52.

VAREJÃO, M. A., **Meteorologia e Climatologia** Recife, Versão Digital 2, 2006.

WEITZ, A.M. et al. N₂O emissions from humid tropical agricultural soils: effects of soil moisture, texture and nitrogen availability. **Soil Biology & Biochemistry**, v.33, p.1077-1093, 2001.