

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* OURO PRETO
LICENCIATURA EM GEOGRAFIA

Guilherme Marcos Aarão

**CARACTERIZAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO E MATÉRIA ORGÂNICA EM
LAGOAS MARGINAIS DO ALTO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO – MG**

Ouro Preto

2023

GUILHERME MARCOS AARÃO

**CARACTERIZAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO E MATÉRIA ORGÂNICA EM
LAGOAS MARGINAIS DO ALTO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO – MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Licenciatura em Geografia do
Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus*
Ouro Preto para obtenção do grau de
Licenciado em Geografia.
Orientador: Prof. Dr. Diego Alves de Oliveira

Ouro Preto

2023

A113c

Aarão, Guilherme Marcos.

Caracterização do carbono orgânico e matéria orgânica em lagoas marginais do alto curso do Rio São Francisco - MG [manuscrito] / Guilherme Marcos Aarão. – 2023.

86 f. : il.

Orientador: Diego Alves de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (licenciatura) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Preto, 2023.

1. Áreas úmidas. 2. Recursos hídricos. 3. Solos. I. Oliveira, Diego Alves de. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Preto. III. Título.

CDU: 556



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Ouro Preto
Diretoria de Ensino
Docência de Área de Geografia
Rua Pandiá Calogeras, 898 - Bairro Bauxita - CEP 35400-000 - Ouro Preto - MG
- www.ifmg.edu.br

FOLHA DE APROVAÇÃO
GUILHERME MARCOS AARÃO

CARACTERIZAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO E MATÉRIA ORGÂNICA EM LAGOAS MARGINAIS DO ALTO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO - MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal Minas Gerais – *Campus* Ouro Preto, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Geografia.

Aprovado em: 12 de setembro de 2023, pela banca examinadora:

Professor Doutor Diego Alves de Oliveira - Coordenadoria de Geografia - IFMG *Campus* Ouro Preto - Orientador

Professora Doutora Elizêne Veloso Ribeiro - Coordenadoria de Geografia - IFMG *Campus* Ouro Preto

Professor Doutor Alex de Carvalho - Coordenadoria de Geografia - IFMG *Campus* Ouro Preto

Ouro Preto, 23 de dezembro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Diego Alves de Oliveira, Professor**, em 23/12/2024, às 18:33, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Alex de Carvalho, Professor**, em 14/01/2025, às 16:32, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Elizene Veloso Ribeiro, Professora**, em 14/01/2025, às 17:34, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2150376** e o código CRC **AE204CAA**.

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha amada mãe, Maria da Consolação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente a Deus, a inteligência suprema do universo e ao seu filho o Mestre Jesus, por me dar força, fé e perseverança.

A toda minha família, em especial à minha querida mãe Maria da Consolação por todo amor, apoio e incentivo.

Agradecimentos especiais devem ser feitos ao orientador Professor Dr. Diego Alves de Oliveira. Agradeço pela oportunidade de ter sido seu orientando e bolsista. Muito obrigado pelos ensinamentos como professor e ser humano. Além disso, agradeço pela paciência e por ter me confiado o tema do presente estudo, o qual não é voltado apenas para produção acadêmica, mas sim para a preservação do meio ambiente e o bem estar da sociedade.

À Professora Dra. Elizêne Veloso Ribeiro e à Geógrafa Rúbia Riane de Sousa Araújo por todo apoio na realização dos trabalhos de campo.

Aos Professores do IFMG e em especial aos da CODAGEO, por todo conhecimento compartilhado ao longo destes quatro anos.

Aos Professores Dr. Alex de Carvalho e Dra. Elizêne Veloso Ribeiro por terem aceitado o convite em compor a banca examinadora do presente trabalho, além das valiosas contribuições sugeridas na correção do mesmo.

À bolsista e estudante de Geografia Bruna Santos Ribeiro, pela enorme contribuição na preparação e análise de carbono orgânico e matéria orgânica.

Aos amigos e colegas de trabalho da empresa Mineral Geologia, em especial a todos os Chinen Machado, obrigado por toda parceria durante esses anos.

À minha esposa Juliana, obrigado por todo companheirismo, apoio e compreensão, principalmente nesses últimos meses.

Aos meus 11 filhos de 4 patas que resgatei do abandono das ruas e adotei: Shakira, Pretinha, Mimoso, Seiya “Meliante”, Pingo, Francesco e Bispo, Caramelo, Mel, Negão e Zeca, obrigado pelo carinho, amor puro e incondicional que vocês me dão. Espero em breve ter mais tempo para passear com vocês.

E por último, agradeço a mim mesmo, por ter tido a coragem de após 14 anos iniciar uma nova carreira, fazer uma transição profissional, visando realizar esse sonho antigo de ser Professor de Geografia.

Infelizmente nem sempre tudo ocorre como queremos. Trabalhar, ser “administrar sozinho um lar, morar em Ouro Branco e pegar a estrada todos os dias para estudar em Ouro Preto, atuar em ONG de proteção animal / ambiental e conciliar tudo isso com os estudos não foi fácil. Sei que estou longe de ser o Geógrafo que pretendo ser, mas sei o caminho para chegar lá.

O mundo passou por uma pandemia durante dois anos, tivemos um cenário tenso, ocorrendo perda de pessoas queridas e sem saber se iríamos sobreviver. Ao longo desse período o contato com o ensino de geografia passou a ser de forma remota. Diante de todo esse contexto, ocorreram algumas consequências na minha atuação como discente.

Ter sobrevivido ao Covid-19 e ainda ter me curado de uma depressão foram duas grandes vitórias. Esta citada por último causada principalmente pela sensação de revolta e impotência diante dos desgastes atrelados às causas que luto, as quais a partir da educação mediante o papel do professor podem surtir efeito em longo prazo, alcançando assim uma sociedade mais consciente, menos injusta e mais igualitária.

Infelizmente não vou presenciar durante esta vida o mundo que sempre sonhei, mas pelo menos vou fazer minha parte contribuindo para que um dia ele possa existir. Portanto, foi preciso aprender a conviver com as coisas que sozinho não consigo mudar e compreender que estou fazendo minha parte. “O que eu faço é uma gota no oceano. Mas sem ela, ele será menor” (Madre Teresa de Calcutá).

Não é fácil encarar a negligência do poder público e a falta de consciência social e ambiental de parte da sociedade, onde tantas vezes a perversidade, a neutralidade, a indiferença e toda podridão ficam escancaradas aos nossos olhos ao abrir o portão de casa e pisar na rua. E dentro desse contexto entra a educação e a missão de um professor, onde as sementes serão plantadas e algumas serão germinadas. “Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo” (Paulo Freire).

Portanto, o fim deste ciclo não é só apenas o encerramento de um curso e o início de uma nova profissão, mas sim o começo de um novo projeto de vida, onde através da docência e da geografia estarei mais conectado com os meus ideais, os quais sempre foram interligados as causas ambientais e sociais. “Seja a mudança que você quer ver no mundo” (Mahatma Gandhi).

“A educação é a arma mais poderosa para mudar o mundo” (Nelson Mandela), e poder utilizar dessa “arma” para formar consciência é uma dádiva, embora ela seja tão desvalorizada em nosso país, sendo repleta de desafios, os quais terei pela frente e que com certeza vão me frustrar muitas vezes.

Por fim, agradeço a educação e a ciência por ajudar na formação não só de futuros profissionais, mas principalmente de cidadãos mais conscientes.

*“O que me preocupa não é o grito
dos maus. É o silêncio dos bons”*

Martin Luther King

RESUMO

Áreas úmidas (AUs) podem apresentar diferentes configurações hidrogeomorfológicas, resultando na interface de ambientes terrestres e aquáticos, tendo como alguns dos principais exemplos o Pantanal Mato-Grossense, as veredas, nascentes, brejos, manguezais e as lagoas marginais, as quais são foco de estudo no presente trabalho. As lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco são provenientes de pulsos de inundação que contribuem para o transbordo do rio, promovendo assim o afloramento ou aumento das áreas úmidas. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar o estoque de matéria orgânica e carbono orgânico armazenados até um metro de profundidade em lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco. A quantificação da matéria orgânica foi realizada por via seca em mufla por incineração, obtendo assim a sua determinação total. O carbono orgânico foi determinado por via úmida a partir da oxidação da matéria orgânica com o dicromato de potássio em meio sulfúrico. A partir dos dados obtidos, foram constatados teores de carbono e matéria orgânica menos e mais elevados, alguns extremamente altos, chegando à 134,63 (g kg⁻¹) de carbono orgânico e até 507,80 (g kg⁻¹) de matéria orgânica armazenados em geocoberturas das lagoas marginais. Através das médias dos resultados de cada lagoa, foi possível produzir um mapa temático com o teor médio de matéria orgânica e carbono orgânico estocados até 1 metro de profundidade nas geocoberturas das lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco. Além disso, a partir das observações em campo documentadas por registro fotográfico, foi constatado que as áreas úmidas da região abordada no presente estudo estão sendo degradadas por várias atividades antrópicas, principalmente pela ação da agropecuária, alterando assim cada vez mais a quantidade e qualidade da água, além de realizar a remoção do solo e conseqüentemente promover a liberação de carbono que estava estocado. Portanto, este trabalho se justifica inicialmente pela ausência de estudos sobre as lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco, além disso, por ser pioneiro em relação à estimativa de estoque de carbono e matéria orgânica dessas lagoas, pois com a possível remoção de suas geocoberturas devido às ações antrópicas pode ocorrer a liberação do CO₂, sendo um dos principais fatores de contribuição para o aquecimento global e alteração no efeito estufa natural, ressaltando assim a importância da preservação dessas áreas úmidas para mitigação nas mudanças climáticas.

Palavras Chave: áreas úmidas; recursos hídricos; solos; geomorfologia.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Comparação do total de focos ativos no Brasil detectado pelo satélite de referência em cada mês, no período de janeiro de 2012 até agosto de 2023.....	20
Figura 2 - Processos básicos envolvidos no ciclo global do carbono.....	24
Figura 3 - Lagoa marginal temporária visualizada na área de estudo proveniente de pulso de inundação.....	27
Figura 4 - Área úmida impactada por extração de argila, causando impacto visual pela remoção do solo e conseqüentemente liberação de carbono para a atmosfera.....	30
Figura 5 - Mapa de localização da área de estudo.....	32
Figura 6 - Mapa de litologia da área de estudo.	33
Figura 7 - Mapa com os principais afluentes e amplitude topográfica da área de estudo.	34
Figura 8 - Mosaico Alos Palsar da área de estudo com as lagoas marginais mapeadas.....	35
Figura 9 - Coleta das amostras feitas com o auxílio de trado tipo sonda.	37
Figura 10 - Coleta das amostras feitas com o auxílio de trado tipo sonda.	37
Figura 11 - Amostragem de geocoberturas das lagoas marginais feita com trado tipo sonda com alcance até um metro de profundidade.	38
Figura 12 - Identificação e armazenamento das amostras de geocoberturas coletadas.....	38
Figura 13 - Mapa de localização da área de estudo com as lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco que foram amostradas.....	40
Figura 14 - Amostragem feita em lagoa marginal com grande extensão e volume de água. ...	41
Figura 15 - Processo de amostragem sendo realizado pelos integrantes do grupo em lagoa marginal com menor volume de água.	41
Figura 16 - Amostras identificadas e encaminhadas ao laboratório de Geografia física do IFMG Campus Ouro Preto.	42
Figura 17 - Amostras com excesso de umidade sendo secadas em estufa à 40° C.	43
Figura 18 - Amostras secadas, peneiradas, preparadas e identificadas para análises químicas.	43
Figura 19 - Pesagem da amostra para determinação do teor de CO por via úmida.....	45
Figura 20 - Solução de dicromato de potássio utilizada para oxidar a matéria orgânica das amostras.....	46
Figura 21 - Amostras com solução de dicromato sendo aquecidas na chapa.....	46
Figura 22 - Observação se a cor das amostras voltava escurecer após resfriamento.	47
Figura 23 - Adição de ácido ortofosfórico e indicador difenilamina na solução com amostra.	

.....	47
Figura 24 - Titulação das amostras com a solução de sulfato ferroso amoniacal.	48
Figura 25 - Solução com coloração verde após completa titulação com sulfato ferroso amoniacal.....	48
Figura 26 - Equação para determinação do teor de carbono orgânico no solo.....	49
Figura 27 - Equação para determinação da concentração de matéria orgânica do solo.	50
Figura 28 - Relação do percentual do número total de amostras com os teores de carbono orgânico mensurado.....	51
Figura 29 - Mínima, média, desvio padrão e máxima dos teores de CO nas geocoberturas amostradas.	52
Figura 30 - Representação gráfica dos valores de carbono orgânico das 126 amostras analisadas.....	53
Figura 31 - Histograma da distribuição de frequência com intervalo de classes do teor de CO das 126 amostras analisadas.	55
Figura 32 - Representação gráfica dos valores médios de carbono orgânico até um metro de profundidade (amostra global) das lagoas marginais amostradas.	57
Figura 33 - Mapa temático com o teor médio de carbono orgânico estocado nas lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco.....	58
Figura 34 - Mínima, média, desvio padrão e máxima dos teores de MO nas geocoberturas amostradas.	60
Figura 35 - Representação gráfica dos valores de matéria orgânica das 123 amostras analisadas.....	61
Figura 36 - Representação gráfica dos valores médios da matéria orgânica presente até um metro de profundidade (amostra global) das lagoas marginais amostradas.	63
Figura 37 - Mapa temático com o teor médio de matéria orgânica nas lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco.	63
Figura 38 - Plantio de monocultura dentro da área úmida, além de foco de incêndios próximo da AU.....	64
Figura 39 - Remoção da mata ciliar e do solo próximo a AU.	65
Figura 40 - Remoção da mata ciliar e do solo próximo a AU.	65
Figura 41 - Drenagem da AU através do uso de manilha.....	66
Figura 42 - Vestígios de desmatamento.	66
Figura 43 - Vestígios de desmatamento para corte ilegal de arvores.	67
Figura 44 - Animais silvestres se alimentando nas AUs.	67

Figura 45 - Animais silvestres se alimentando nas AUs.68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lagoas amostradas e suas respectivas coordenadas.	39
Tabela 2 - Relação do percentual do número total de amostras com os teores de carbono orgânico mensurados.	51
Tabela 3 - Cálculos estatísticos do teor de carbono orgânico nas geocoberturas das lagoas amostradas.	52
Tabela 4 - Comparação dos quatro maiores e menores valores pontuais de CO nas lagoas marginais.	53
Tabela 5 - Distribuição de frequência com intervalo de classes do teor de CO das 126 amostras analisadas.	55
Tabela 6 - Distribuição dos resultados pela divisão por quartil.	55
Tabela 7 - Valores médios de carbono orgânico até um metro de profundidade (amostra global) das lagoas marginais amostradas.	56
Tabela 8 - Relação do percentual do número total de amostras com os teores de matéria orgânica mensurada.	59
Tabela 9 - Cálculos estatísticos do teor de massa orgânica nas geocoberturas das lagoas amostradas.	59
Tabela 10 - Valores discrepantes nas frações de 0-30 cm das amostras da lagoa 1.	60
Tabela 11 - Maiores teores pontuais de MO quantificados nas geocobertura das lagoas marginais.	61
Tabela 12 - Valores médios de matéria orgânica até um metro de profundidade (amostra global) das lagoas marginais amostradas.	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AUs – Áreas úmidas
- CO – Carbono orgânico
- CO₂ – Dióxido de carbono
- Cwa – Clima subtropical de inverno
- Cwb – Clima subtropical de altitude
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- GEE – Gases de efeito estufa
- IFMG – Instituto Federal de Minas Gerais
- ILPF – Integração lavoura-pecuária-floresta
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPCC – *Intergovernmental panel on climate change*
- IPPU – *Industrial processes and use of products*
- PRP – Pantanal do rio Pandeiros
- LULUCF – *Land use, land use change and forestry*
- MO – Matéria orgânica
- MOS – Matéria orgânica no solo
- Pg – Pentagrama (Pg = 10¹⁵ g)
- SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
- SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS
- TFSA – Terra fina seca ao ar
- Tg – Teragrama (Tg = 10¹² g)
- UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*
- ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Objetivos.....	20
<i>1.1.1 Objetivo geral.....</i>	<i>20</i>
<i>1.1.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>20</i>
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1 Ciclo do carbono.....	22
2.2 Reservatórios de carbono.....	23
2.3 Áreas úmidas.....	24
<i>2.3.1 Definições e classificações.....</i>	<i>24</i>
<i>2.3.2 Lagoas marginais do alto curso do Rio São Francisco.....</i>	<i>25</i>
<i>2.3.3 Pulsos de inundação</i>	<i>25</i>
<i>2.3.3.1 Pulsos de inundação no alto curso do Rio São Francisco</i>	<i>26</i>
<i>2.3.4 Áreas úmidas e o estoque de carbono</i>	<i>27</i>
<i>2.3.5 Impactos ambientais por ações antrópicas nas áreas úmidas.....</i>	<i>27</i>
<i>2.3.5.1 Impactos ambientais nas AUs do alto curso do Rio São Francisco.....</i>	<i>28</i>
<i>2.3.6 Importância ambiental e social das AUs.....</i>	<i>30</i>
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1 Área de estudo.....	31
3.2 Métodos.....	34
<i>3.2.1 Estudos bibliográficos.....</i>	<i>34</i>
<i>3.2.2 Etapa pré-campo.....</i>	<i>34</i>
<i>3.2.3 Etapa de campo.....</i>	<i>35</i>
<i>3.2.4 Etapa pós-campo.....</i>	<i>41</i>
<i>3.2.4.1 Preparação de amostras.....</i>	<i>41</i>
<i>3.2.4.2 Análises laboratoriais.....</i>	<i>43</i>
<i>3.2.4.2.1 Carbono orgânico.....</i>	<i>43</i>
<i>3.2.4.2.2 Matéria orgânica.....</i>	<i>48</i>
<i>3.2.4.2.3 Cálculo das análises e tabulação dos resultados.....</i>	<i>49</i>
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
4.1 Carbono orgânico.....	50
4.2 Matéria orgânica.....	57

4.3 Impactos ambientais.....	62
5 CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	70
ANEXOS.....	74

1 INTRODUÇÃO

As áreas úmidas (AUs) prestam inúmeros serviços ambientais para a sociedade, tais como fornecimento de recursos hídricos em quantidade e qualidade, retenção de sedimentos e matéria orgânica, além da proteção contra erosão, etc., sendo importantes ecossistemas que devem ser preservados.

Segundo Oliveira (2020), as AUs também possuem outras funções importantes, tais como habitat para espécies da fauna e flora, as quais dependem exclusivamente das suas características. Também é importante destacar o papel que elas exercem como referência social, cultural e econômica para as comunidades que vivem ao seu entorno.

Segundo o mesmo autor, além de todos estes serviços ambientais e funções importantes citadas, as AUs possuem uma importância global estratégica como reservatórios de gases do efeito estufa (GEE), principalmente o carbono, podendo assim auxiliar na mitigação dos impactos da mudança climática (OLIVEIRA, 2020, p. 3).

O carbono exerce um papel muito importante para a manutenção do fenômeno natural do efeito estufa, entretanto, de acordo com Brady e Weil (2013), devido às ações antrópicas, o carbono é considerado o principal fator de desequilíbrio no efeito estufa e agravamento no aquecimento global.

No século passado as práticas que degradam o uso do solo aumentaram de 290 ppm para 390 ppm a concentração de CO₂ na atmosfera (BRADY e WEIL, 2013). De acordo com os mesmos autores, as principais causas estão relacionadas à queima de combustíveis fósseis e perda de matéria orgânica dos solos.

Segundo Medeiros (2005), os principais gases de efeito estufa são o óxido nitroso, dióxido de enxofre, metano e o dióxido de carbono. É importante citar que os dois últimos mencionados estão associados com a decomposição de matéria orgânica ou a queima de compostos orgânicos, ocorrendo conseqüentemente a liberação de carbono na atmosfera.

De acordo com Kirk (2004) *apud* Siqueira *et al.* (2015), no contexto do ciclo do carbono, as AUs são consideradas um dos maiores reservatórios de carbono atmosférico, pois em comparação com outros biomas, essas áreas apresentam uma alta capacidade de armazenamento de carbono no solo, reforçando sua importância na regulação das emissões de gases de efeito estufa.

Portanto, as AUs representam ecossistemas estratégicos com grande estoque de carbono, cuja liberação para a atmosfera pode contribuir significativamente para o agravamento do aquecimento global. Nesse contexto, é importante lembrar que efeito estufa e

aquecimento global não são sinônimos.

De acordo com Medeiros (2005):

Certos gases atuam como as paredes de vidro em uma estufa, retendo o calor e provocando o aquecimento da superfície terrestre. Esse efeito estufa natural é vital: sem ele a temperatura média da Terra que é de 15°C seria de -18°C. Os constituintes mais abundantes da atmosfera (nitrogênio, oxigênio e argônio) não participam do processo, pois não absorvem a radiação infravermelha. Apenas os chamados *gases traço* (existem em quantidades tão pequenas na atmosfera que normalmente são assim representados) são considerados responsáveis pelo fenômeno (MEDEIROS, 2005, p. 37).

Diante do exposto, pode-se afirmar que o efeito estufa é um fenômeno atmosférico natural que ocorre devido à presença dos GEE (MEDEIROS, 2005) e vapor de água presentes na atmosfera (NOBRE *et. al.*, 2012), os quais aprisionam parte da radiação solar que incide sobre a Terra. Portanto, este processo é benéfico para a garantia de vida no planeta, sem sua ocorrência a temperatura global seria muito baixa e impossibilitaria a existência dos seres vivos.

Entretanto, com o advento da revolução industrial marcado pela aceleração das emissões de CO₂ (NOBRE *et. al.*, 2012) e o intenso consumo de energia obtido pela queima de combustíveis fósseis, ocorreu uma maior geração de fontes antropogênicas e emissão de gases de efeito estufa (OLIVEIRA, 2014).

Essa intensificação nas emissões de GEE alterou o equilíbrio do efeito estufa natural (XAVIER e KERR, 2004). Como consequência, mais radiação solar ficou aprisionada na atmosfera terrestre, resultando em um aumento das temperaturas globais e, conseqüentemente, no fenômeno conhecido como aquecimento global (OLIVEIRA, 2014).

Desta forma, a preservação das geocoberturas inseridas nas lagoas marginais abordadas no presente trabalho é de suma importância para continuar armazenando possíveis GEE.

De acordo com Nazar (2018), as geocoberturas são entendidas como:

[...] Assim, entende-se que as geocoberturas são todos os materiais que constituem o manto de alteração superficial que recobre o relevo da Terra, originados por processos físicos ou químicos, *in situ* ou por transporte e deposição, incluindo os materiais inconsolidados e móveis, bem como os consolidados, por exemplo, os afloramentos rochosos, já expostos aos processos de intemperismo (NAZAR, 2018, p 45).

“Esse termo tem sido utilizado em substituição ao “regolito”, embora tenha o mesmo significado” (OLIVEIRA, 2019, p. 75). Sendo assim, a manutenção da dinâmica ambiental e das geocoberturas, representadas principalmente pelos solos hidromórficos dessas áreas úmidas, é fundamental para evitar ainda mais a liberação de carbono na atmosfera, pois segundo Brady e Weil (2013), o aumento do CO₂ contribui para o aquecimento global e

mudanças climáticas.

De acordo com o sumário de 2022 sobre políticas de combate às mudanças climáticas elaborado pelo *Intergovernmental panel on climate change* (IPCC), até o final deste século a temperatura média do planeta poderá aumentar em mais 1,5°C. Para Nobre (2007, p. 22), “as mudanças climáticas antropogênicas estão associadas às atividades humanas com o aumento da emissão de gases de efeito estufa, de queimadas, com o desmatamento, a formação de ilhas urbanas de calor, etc”.

De acordo com a Quarta Comunicação Nacional do Brasil à *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCC):

As emissões totais de GEE do Brasil, em 2016, totalizaram 1.467 Tg CO² e representaram um aumento de 19,4% em relação às emissões de 2010, último ano da série histórica apresentada na Terceira Comunicação Nacional (BRASIL, 2021, p. 93).

Em relação à contribuição de cada setor, a Agropecuária foi o que mais contribuiu:

Proporcionalmente, o setor Agropecuária contribuiu com 33,2% do total das emissões em 2016, o setor Energia com 28,9% e o setor LULUCF com 27,1%. Os setores IPPU e Resíduos contribuíram com parcelas menores de emissões, representando 6,4% e 4,5%, respectivamente (BRASIL, 2021, p. 93).

Segundo Nobre (2007), as queimadas contribuem para a emissão de GEE, dentre estes gases destaca-se o carbono. De acordo com CUSTÓDIO (2006):

Os incêndios podem surgir de várias formas, sendo no Brasil as principais por: queimadas não controladas para produção de carvão, para plantação agrícola ou para retirada de árvores valiosas e fogo espontâneo (CUSTÓDIO, 2006, p. 2).

Desta forma, percebe-se que no Brasil a agropecuária tem maior contribuição para as emissões dos GEE. De acordo com Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), nos últimos anos foram observados um aumento significativo de focos de incêndios florestais no Brasil, principalmente de 2019 à 2022 (FIGURA 1), os quais são um dos principais agentes na geração de CO² que são despejados na atmosfera.

Portanto, diante do exposto, o Brasil contribui para o agravamento do efeito estufa, principalmente devido a incêndios e desmatamentos provocados por atividades ligadas à agropecuária, etc. Segundo Carvalho e Alves (2008, p. 337), "o desmatamento para a criação de áreas agrícolas e pastagens resulta na liberação de carbono da biomassa florestal e do solo, contribuindo para o aumento de GEE".

Além disso, é válido ressaltar que algumas atividades deste setor podem promover alterações de parte da matéria orgânica e conseqüentemente no estoque de carbono presente no solo. A agropecuária, o solo e o estoque de carbono estão interligados por meio de práticas de manejo, as quais podem ocorrer de forma benéfica ou maléfica para a qualidade do solo e

para as emissões de gases de efeito estufa. Sendo assim, dependendo das ações realizadas, a agropecuária pode aumentar ou diminuir o estoque de carbono no solo.

Figura 1- Comparação do total de focos ativos no Brasil detectado pelo satélite de referência em cada mês, no período de janeiro de 2012 até agosto de 2023.

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
2012	2978	1728	2509	2507	3987	6830	14868	50926	63408	39860	18114	9519	217234
2013	2544	1715	2283	1891	2844	4665	8794	21410	36019	22159	11954	11867	128145
2014	3044	1371	1929	2024	2931	6212	10529	40845	42049	36568	17667	10723	175892
2015	4313	2026	1659	2024	2169	5569	8541	37883	61739	46741	26411	17703	216778
2016	5960	3238	3425	3408	3287	6185	19242	39088	42209	30809	19160	8206	184217
2017	2253	1239	1920	1703	2571	5384	17568	37380	72895	33607	19334	11654	207508
2018	2553	1476	2657	1656	3366	5790	12652	22774	42251	19568	13014	5113	132870
2019	4030	2865	5213	2842	2963	7258	13394	51935	53234	25613	20585	7700	197632
2020	2866	2657	3880	4117	4002	7109	15804	50694	69329	41468	13463	7408	222797
2021	2237	2187	2501	2548	5288	7470	15985	51711	49829	28342	11596	4387	184081
2022	2759	1931	1790	1616	6698	7876	14212	47507	60313	32130	16978	6953	200763
2023	2494	2035	2585	2359	5286	8597	13985	19971	-	-	-	-	57312
Máximo*	7057	3238	5213	4117	6698	18024	30391	91085	141220	67228	45364	28639	393915
Média*	3259	1965	2376	2209	3767	7596	15163	47268	64754	37851	21750	11254	218668
Mínimo*	547	562	667	538	1811	3551	4740	21410	23293	19568	6804	4376	101530

Fonte: INPE http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas_paises/

De acordo com Costa *et al.* (2013), práticas sustentáveis como o plantio direto, integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e agroflorestal, ajudam a aumentar o teor de matéria orgânica no solo, melhorando assim sua capacidade de reter carbono. Segundo Cunha, Couto e Mendonça (2007, p. 716), "o manejo conservacionista do solo, especialmente através da rotação de culturas e adubação verde, pode aumentar significativamente o teor de carbono orgânico no solo".

Entretanto, de acordo com Fageria (2009), práticas convencionais como o preparo intensivo do solo e a monocultura, podem resultar na perda de carbono armazenado no solo. Além disso, de acordo com o mesmo autor, o uso intensivo do arado expõe a matéria orgânica do solo à oxidação, liberando CO₂ para a atmosfera, contribuindo assim para o aumento das emissões de gases de efeito estufa.

Para Brady e Weil (2013), a matéria orgânica presente em solos contém duas a três vezes mais carbono que a vegetação. Além disso, destacam sobre a interação do metabolismo microbiano com as argilas e a relação com a estabilidade de estoque de carbono no solo:

O metabolismo microbiano e a interação com argilas no solo produzem alguns materiais orgânicos tão estáveis que décadas, ou mesmo séculos, podem passar antes

que o carbono deles seja devolvido à atmosfera como dióxido de carbono. Essa resistência à degradação da matéria orgânica permite que ela se acumule nos solos (BRADY & WEIL, 2013, p. 401).

De acordo com os mesmos autores:

A matéria orgânica do solo consiste em uma grande variedade de substâncias orgânicas (ou carbonáceas), incluindo os organismos vivos (ou biomassa do solo), restos de organismos que em algum momento ocuparam o solo e compostos orgânicos produzidos pelo metabolismo atual e passado ocorrido no solo. Os restos de plantas, animais e micro-organismos são continuamente decompostos no solo e novas substâncias são sintetizadas por outros micro-organismos (BRADY & WEIL, 2013, p. 18).

Sendo assim, torna-se cada vez mais necessário a preservação do solo e matéria orgânica das áreas úmidas ou *wetlands*, pois de acordo com Oliveira (2019, p. 24) “[...] Elas possuem uma importância global estratégica como reservatórios de elementos que provocam o efeito estufa, principalmente o carbono; podendo assim auxiliar na mitigação dos impactos da mudança climática”.

Diante do exposto, estudos como o do presente trabalho são relevantes para contribuir com o entendimento da importância de se preservar o carbono e matéria orgânica presente em geocoberturas de áreas úmidas, dentre elas as lagoas marginais do alto curso do Rio São Francisco.

Portanto, este trabalho se justifica inicialmente pela ausência de estudos e contribuições científicas sobre as lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco. Além disso, por ser pioneiro em relação à estimativa de estoque de carbono e matéria orgânica dessas lagoas, pois com a remoção de suas geocoberturas devido às ações antrópicas pode ocorrer a liberação do CO₂, o qual é considerado o principal fator de contribuição para o aquecimento global e alteração no efeito estufa natural, ressaltando assim a importância da preservação dessas áreas úmidas para mitigação nas mudanças climáticas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o estoque de carbono e matéria orgânica armazenado até um metro de profundidade em lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco.

1.1.2 Objetivos específicos

Visando alcançar o objetivo geral do presente trabalho, os objetivos específicos

são:

- (I) quantificar a matéria orgânica.
- (II) determinar o teor de carbono orgânico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ciclo do carbono

O carbono é o elemento químico presente em toda forma de vida e matéria orgânica. Segundo Brady (1989), as transformações do carbono denominadas ciclo do carbono, fazem parte de um ciclo biológico que possibilita a continuidade da vida na terra. Dessa forma, drásticas alterações desse ciclo poderiam ser catastróficas para os organismos vivos que habitam o planeta.

No processo de fotossíntese as plantas absorvem dióxido de carbono presente na atmosfera. Nesse contexto, Brady e Weil (2013) destacam que:

Então, por meio do processo de fotossíntese, a energia da luz solar é captada para formar as ligações entre os átomos de carbono, formando moléculas orgânicas. Algumas dessas moléculas orgânicas são usadas como fonte de energia (através da respiração) pelas próprias plantas (especialmente pelas raízes) - com o carbono retornando à atmosfera na forma de dióxido de carbono. Os demais materiais orgânicos são armazenados temporariamente como constituintes da vegetação viva, a maior parte dos quais é adicionada ao solo como resíduo vegetal (incluindo o de culturas) ou restos de raízes (BRADY e WEIL, 2013, p. 400).

Ainda de acordo com os mesmos autores, o carbono ingerido pelos seres vivos é devolvido para atmosfera de duas formas:

Algumas partes das plantas podem ser ingeridas pelos animais (incluindo o homem). Nesse caso, cerca de metade do carbono ingerido é exalada para a atmosfera como dióxido de carbono, e a outra metade é, por fim, devolvida ao solo na forma de dejetos ou tecidos orgânicos. Uma vez depositados sobre ou no solo, esses tecidos vegetais ou animais são metabolizados (digeridos) pelos organismos do solo, que gradualmente devolvem esse carbono para a atmosfera, na forma de dióxido de carbono (BRADY e WEIL, 2013, p. 400).

Dessa forma, o carbono presente nos seres vivos volta para a atmosfera em forma de gás (CO₂), e em forma de dejetos ou tecidos orgânicos para o solo, que posteriormente pela ação de microrganismos são digeridos e também devolvidos a atmosfera.

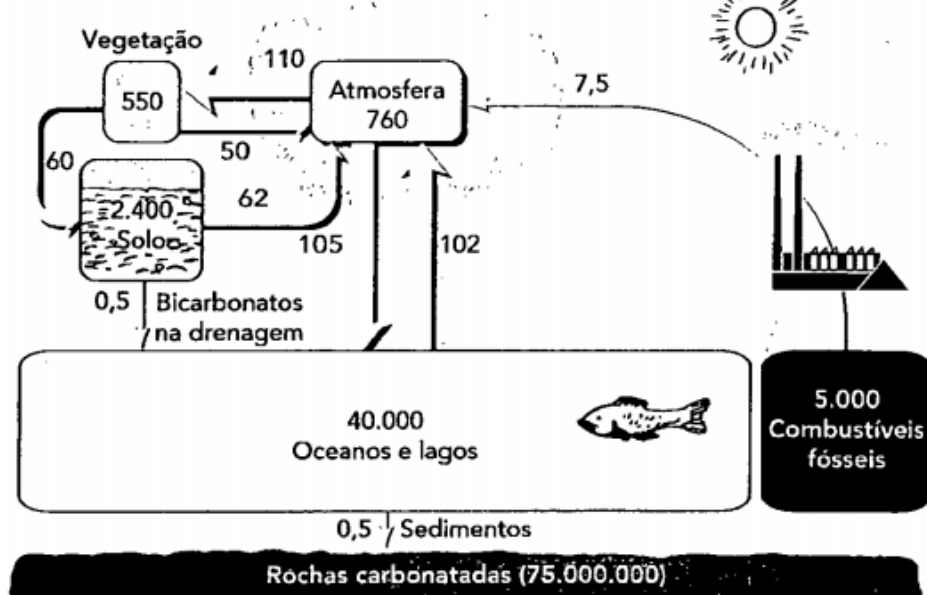
Brady e Weil (2013) demonstram os processos básicos envolvidos no ciclo global do carbono (FIGURA 2), ressaltando os principais reservatórios que interagem com a atmosfera. Os números nos retângulos indicam petagramas (Pg = 10¹⁵ g) de carbono armazenados nos maiores reservatórios.

Ainda na Figura 2, é possível observar que o solo contém quase duas vezes mais carbono que a atmosfera e a vegetação juntas. Além disso, é importante ressaltar os impactos negativos ocasionados pela queima de combustíveis fósseis devido às ações antrópicas, ocasionando em mais liberação de carbono do solo (62 + 0,5) do que entrando (60 Pg).

Por fim, os autores destacam que esse desequilíbrio é parcialmente compensado

pelo aumento da absorção de carbono pelos oceanos, porém mesmo assim tendo um resultado final negativo no contexto das mudanças climáticas, pois entra na atmosfera 221,5 Pg / ano e são removidos 215 Pg / ano, ficando nítido assim que os níveis de carbono na atmosfera estão aumentando.

Figura 2 - Processos básicos envolvidos no ciclo global do carbono.



Fonte: Brady e Weil, 2013.

2.2 Reservatórios de carbono

De acordo com Machado (2005) e LAL (2006) o carbono presente no planeta Terra está estocado em cinco grandes reservatórios, tais como oceanos (estimativa de 38.000 Pg), reserva geológica em 5.000 Pg (carvão, óleo e gás), reserva pedológica ou de carbono solo (1.550 Pg), atmosfera (estimativa de 750 Pg) e reserva biótica (620 Pg).

Para Brady e Weil (2013), de forma global, independente da época, em torno de 2.400 petagramas (Pg ou 10^{15} g) de carbono são armazenados nos perfis de solo na forma de matéria orgânica. Além disso, de acordo com os mesmos autores, aproximadamente um terço da quantidade de carbono está em profundidades abaixo de um metro.

Desta forma, subentende-se que dois terços estão acima da profundidade citada. No presente trabalho as amostras de geocoberturas foram coletadas até um metro de profundidade, tendo assim maior representatividade para medição do teor de carbono das lagoas marginais da área estudada.

Dentro desse contexto sobre teor de carbono e profundidade, Cerri *et al.* (2006) *apud* Resende (2011) afirmam que o estoque de carbono na faixa entre 0-30 cm é entorno de 800 Pg. Segundo a mesma autora, de acordo com os dados do IPCC (2007) o mecanismo com

maior potencial para mitigação de gases de efeito estufa é o sequestro de carbono realizado pelos solos, tendo uma estimativa de contribuição em torno de 89 %.

2.3 Áreas úmidas

Nos itens a seguir serão abordados assuntos pertinentes às áreas úmidas, tais como algumas das principais definições e classificações, os tipos de ocorrência, a relação delas com o estoque de carbono, além dos impactos ambientais por ações antrópicas e também a importância social ambiental que elas representam.

2.3.1 Definições e classificações

De acordo com Cunha *et al.* (2015), as áreas úmidas são ecossistemas na interface entre ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanentemente ou periodicamente inundados por águas rasas ou com solos encharcados, doces, salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptadas à sua dinâmica hídrica.

Alguns dos principais exemplos de áreas úmidas são o Pantanal Mato-Grossense, as veredas, nascentes, brejos, manguezais, lagoas marginais, etc., onde estas podem apresentar grande variabilidade em extensão. Sendo assim, as áreas úmidas possuem grande versatilidade em relação as suas configurações.

De acordo com Cunha *et al.* (2015), existem várias classificações para as AUs, entre elas pode-se citar a classificação da Convenção do Ramsar:

A classificação da Convenção do Ramsar, um pouco mais complexa, abrange o mundo inteiro (SCOTT e JONES 1995), incluindo, assim, classes que não existem ou têm pouca importância no Brasil, tais como sistemas geotermiais e sistemas lacustres clássicos. Ela diferencia, entre 3 grandes classes das AUs, marinhas e costeiras (marinhas, estuarinas, lacustres / palustres), interiores (lóticas, lacustres, palustres, geotermiais) e antrópicas (aquicultura, agricultura, mineração de sais minerais, urbana e industrial). Esses grupos são subdivididos em “permanentes e sazonais” e depois em 35 classes. Nessa classificação, a definição das unidades não é lógica, e sistemas de complexidade diferente são misturados. Não se confere, por exemplo, qual a diferença entre as categorias “deltas internos” e “áreas alagáveis” (CUNHA *et al.*, 2015, p. 46).

Entretanto, no presente trabalho os estudos foram direcionados para as lagoas marginais, as quais serão abordadas no subtópico seguinte e ao longo dos resultados apresentados no capítulo 4.

2.3.2 Lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco

Conforme já citado anteriormente, as áreas úmidas podem apresentar diferentes processos de gênese e configurações hidrogeomorfológicas, resultando na formação de ecossistemas distintos na interface de ambientes terrestres e aquáticos, dentre eles as lagoas marginais, as quais são foco de estudo no presente trabalho.

De acordo com Trindade (2016), lagoas marginais são feições fluviais geradas nos sistemas cursos d'água-planícies de inundação e que tendem a acumular sedimentos, nutrientes e elementos contaminantes. Segundo o mesmo autor, no Vale do rio São Francisco as lagoas marginais são feições características com grande importância ecológica.

De acordo com Aarão *et al.* (2020), as lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco são provenientes de pulsos de inundação que contribuem para o transbordo do rio, promovendo assim o afloramento ou aumento das áreas úmidas, dentre elas as lagoas marginais, podendo ser temporárias ou permanentes.

2.3.3 Pulsos de inundação

De acordo com Junk *et al.* (1989), o conceito de pulso de inundação pode ser entendido como a força direcionadora que promove a interação dos ambientes terrestres e aquáticos no sistema rio-planície, ocorrendo trocas de nutrientes e organismos entre estes *habitats*.

Araújo *et al.* (2022), relata como foi desenvolvido o conceito de pulsos de inundação e a sua importância para a recarga das áreas úmidas:

A recarga das áreas úmidas localizadas no interior continental e com inundação temporária é explicada principalmente pelo conceito de pulso de inundação (CUNHA; PIEDADE; JUNK, 2015), desenvolvido no âmbito das ciências biológicas, no qual durante os pulsos de inundação do rio há oscilação do nível da água e ocorre um intercâmbio lateral de água, nutrientes, sedimentos e organismos e as áreas adjacentes que são alagáveis. Para além da conexão superficial, as AUs também podem ser recarregadas subsuperficialmente pelo aumento no nível freático durante a estação úmida (ARAÚJO ET AL. 2022, p. 1294).

Oliveira (2019) destaca algumas das principais causas que promovem a ocorrência dos pulsos de inundação:

A depender do volume de água, da duração das precipitações e da localização destas, os níveis dos rios situados sob a atuação do sistema de monções irão aumentar proporcionalmente a jusante, em suas respectivas bacias hidrográficas. Este aumento se materializa pelo nível e vazão, os quais, eventualmente irão provocar inundações em suas margens (OLIVEIRA, 2019, p. 64).

2.3.3.1 Pulsos de inundação no alto curso do rio São Francisco

Aarão *et al.* (2020), analisaram a ocorrência e duração dos principais pulsos de inundação ocorridos no alto curso do rio São Francisco, a partir dos dados de nível do rio registrados na série histórica durante o período de 1977 a 2015, constatando pulsos de maior magnitude com mais de 12 metros.

Estes pulsos mais volumosos são fundamentais para a manutenção das áreas úmidas localizadas na planície de inundação do rio São Francisco, conhecidas nacionalmente como lagoas marginais (FIGURA 3).

Em todos os anos, normalmente durante a estação úmida o nível do rio São Francisco se eleva muito, porém, em alguns específicos ocorrem pulsos inundação de maior magnitude (Aarão *et al.*, 2020), os quais são diretamente responsáveis pela formação e manutenção das lagoas marginais ocorridas na região abordada no presente estudo.

Figura 3 - Lagoa marginal temporária visualizada na área de estudo proveniente de pulso de inundação.



Fonte: Aarão *et al.* (2022a). Data: 01/04/2022.

De acordo com Oliveira (2019), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um dos principais fenômenos que contribuem para a concentração de precipitações durante um curto período de tempo na área abordada no presente estudo, sendo um dos principais mecanismos para a ocorrência dos pulsos de inundação e conseqüentemente a recarga das áreas úmidas.

Entretanto, Aarão *et al.*, (2020) ressaltaram que a durabilidade e a magnitude dos pulsos diminuíram nos últimos anos:

Pôde-se constatar que a durabilidade do tempo e a magnitude dos pulsos de inundação diminuíram nos últimos anos, mantendo valores mais altos nos anos de 1983 e 1992, destaque para esse último onde apresentou nível recorde de 13,42

metros e oito dias de medições acima de 12 metros (Aarão *et al.*, 2020, p. 7).

Segundo os mesmos autores, o último pulso de inundação com cota acima de 12 metros ocorreu em fevereiro do ano de 2008, indicando uma redução no nível do rio, sobretudo nos valores mínimos registrados em 2014.

A causa dessa redução do nível do rio, bem como da ausência de pulsos de inundação de maiores intensidades, podem estar relacionadas tanto com fatores naturais quanto ações antrópicas (Aarão *et al.*, 2022a). Como ações antrópicas podem-se citar as mudanças climáticas, a redução de cobertura florestal e das áreas úmidas.

A preservação das AUs é extremamente importante para o equilíbrio do nível do rio, pois possuem a função de armazenamento de água durante a estação úmida e liberação lenta da mesma durante a estação seca para o curso dos rios, como é o caso do São Francisco, (Aarão *et al.*, 2020).

Sendo assim, para obter hipóteses mais precisas sobre as alterações do comportamento hidrométrico deste trecho do rio, é necessário pesquisas mais detalhada em longo prazo analisando dados climáticos e hidrológicos da área de estudo, a fim de especificar estas variabilidades (Aarão *et al.*, 2020).

2.3.4 Áreas úmidas e o estoque de carbono

Segundo Gorhan (1991) *apud* Machado (2014), estima-se que, apesar das áreas úmidas terem uma representação espacial bastante inferior a outros ecossistemas terrestres, elas possuem em torno de mais de 15 % do estoque de carbono de todos os solos.

De acordo com dados do Ministério do Meio Ambiente (2013) *apud* Machado (2014), as áreas úmidas também podem se comportar como uma enorme fonte de metano (CH₄) para a atmosfera, sendo um grande reservatório desse elemento, o qual é um gás que possui poder de absorção da radiação infravermelha até 21 vezes maior que o CO₂.

2.3.5 Impactos ambientais por ações antrópicas nas áreas úmidas

De acordo com Cunha *et al.* (2015), as áreas úmidas estão presentes em todas as regiões do mundo, porém tem ocorrido uma perda acelerada destas através da conversão em áreas de uso agrícola ou para uso urbano, principalmente sem o estabelecimento do conhecimento adequado das ciências ecológicas.

Segundo estes autores, no contexto do Brasil, o aumento da densidade

populacional nas diferentes regiões do país, juntamente com a acelerada transformação nas formas de uso da terra, sobretudo nos ambientes aquáticos, têm sido os principais mecanismos de degradação e perda das AUs brasileiras.

Dessa forma, Cunha *et al.* (2015) lista alguns exemplos desses impactos:

O aumento da densidade populacional nas diferentes regiões do país e a acelerada transformação nas formas de uso da terra, especialmente dos ambientes aquáticos, constituem os principais mecanismos de degradação e perda das AUs brasileiras, tais como (1) drenagem pela agricultura e pecuária; (2) construção de áreas habitacionais, de infraestrutura urbana e de uso industrial; (3) poluição por esgotos e resíduos domésticos, agrícolas, industriais e de mineração; (4) construção de hidroelétricas que inundam AUs rio acima da barragem, interrompendo a conectividade longitudinal e mudando o pulso de inundação rio abaixo; (5) construção de hidrovias e rodovias; (6) construção de diques que interferem na conectividade lateral separando as AUs dos rios; (7) retificação e canalização de rios; (8) exploração indevida dos recursos naturais (recursos pesqueiros, madeireiros e não madeireiros e da biodiversidade); (9) mudanças do clima global; (10) falta de preparo científico e motivação por parte dos tomadores de decisão em reconhecer os diferentes tipos de AUs brasileiras; (11) falta de interlocução destes tomadores de decisão com a comunidade científica; (12) falta de programas de educação ambiental sólidos voltados para a proteção das AUs por parte da população (CUNHA *et al.*, 2015, p. 29).

Diante do exposto, Oliveira (2019) também destaca essa realidade no contexto do rio São Francisco:

Além disso, a intensificação do uso da terra pode gerar impactos ambientais nesta dinâmica, ou seja, sobre as *wetlands* e conseqüentemente na quantidade e qualidade da água desde nascentes até grandes rios, como no PRP e na bacia hidrográfica do rio São Francisco (OLIVEIRA, 2019, p. 29).

Ainda de acordo com o mesmo autor, no estado de Minas Gerais o rio São Francisco possui a maior quantidade de afluentes perenes, entretanto tem sofrido uma importante redução da quantidade de água nos últimos anos (Oliveira, 2019).

Sendo assim, a destruição destas AUs pode estar ligada a essa diminuição no volume do rio, pois elas contribuem com a recarga do nível freático do mesmo, principalmente nos períodos das estações secas durante o ano.

2.3.5.1 Impactos ambientais nas áreas úmidas do alto curso do rio São Francisco

A partir de um recente levantamento dos impactos ambientais ocorridos nas áreas úmidas do alto curso do rio São Francisco, Aarão *et. al* (2022b) destacam que entre os principais impactos ambientais estão a atividade de mineração por dragagem de areia em leito de rio e a extração de argila (FIGURA 4).

Figura 4 - Área úmida impactada por extração de argila, causando impacto visual pela remoção do solo e consequentemente liberação de carbono para a atmosfera.



Fonte: Aarão *et. al* (2022b). Data: 01/04/2022.

“A dragagem desse bem mineral causa a retirada de substrato das áreas úmidas, alterando assim o ecossistema presente, consequentemente impactando na fauna e flora, reduzindo a biodiversidade, afetando desde sapos, cobras à macrofitas” (AARÃO ET AL., 2022b, p. 4).

De acordo com os mesmos autores, estas atividades citadas além de promoverem o impacto visual, promovem a retirada do solo orgânico e consequentemente a liberação de carbono para a atmosfera. Além disso, alteram o nível freático e pode causar assoreamento dos principais canais de drenagem.

Diante do exposto, Aarão *et. al* (2022b) também ressaltam a relação da retirada das geocoberturas com a taxa de evaporação da água:

Dessa forma, em ambientes hidromórficos com solos encharcados, a partir do momento que a água contida no solo é descoberta e exposta à superfície, ocorre uma nova taxa de evaporação, sendo esta mais acelerada em relação ao seu estado original (água no solo coberta pela vegetação), pois a vegetação possui um albedo menor, o que permite uma menor taxa de evaporação da água (AARÃO ET AL., 2022b, p. 4).

Além dos impactos citados, os autores também ressaltam que a agricultura também causa impactos nas áreas úmidas do alto curso do rio São Francisco, porém de forma diferente da mineração:

A agricultura também está presente nas áreas úmidas, porém ela afeta

diferentemente da mineração, pois não destrói o meio como a água circula, entretanto, contamina o solo e o lençol freático devido ao uso de agroquímicos com metais pesados. Como consequência, altera o ecossistema e a biodiversidade, matando a biota, chegando aos peixes, comunidades ribeirinhas, etc. (AARÃO *ET AL.*, 2022b, p. 4).

2.3.6 Importância ambiental e social das AUs

Conforme citado anteriormente, as áreas úmidas possuem grande importância devido às suas inúmeras funções, principalmente no contexto ambiental e social.

Cunha *et al.* (2015), lista alguns dos principais serviços ambientais que as AUs proporcionam:

Entre os principais serviços proporcionados pelas AUs, podem ser listados: (1) Estocagem periódica da água e a sua lenta devolução para os igarapés, córregos e rios conectados, reduzindo com isso as flutuações do nível da água e o perigo de enchentes e secas catastróficas; (2) Recarga dos aquíferos e do lençol freático; (3) Retenção de sedimentos; (4) Purificação da água; (5) Fornecimento de água limpa; (6) Dessedentação de animais, silvestres e domésticos; (7) Irrigação da lavoura; (8) Regulagem do microclima; (9) Recreação (banho, pesca, lazer); (10) Ecoturismo; (11) Manutenção da biodiversidade; (12) Estocagem de carbono orgânico; (13) Moradia para populações tradicionais; (14) Fornecimento de produtos madeireiros e não madeireiros (fibras, plantas medicinais, frutas, etc.), pescado, produtos agrários e de pecuária (CUNHA *et al.*, 2015, p. 28).

Trindade (2016) ressalta a importância das lagoas marginais no contexto ambiental:

Do ponto de vista hidrodinâmico e ambiental, as lagoas marginais exercem papel fundamental na retenção de parte da carga fluvial transportada, principalmente nos períodos de cheia, na acumulação de nutrientes, materiais orgânicos e contaminantes geralmente adsorvidos aos sedimentos. (TRINDADE, 2016, p.16).

Dessa forma, é de suma importância a preservação das AUs, pois além de todos esses serviços ambientais citados que elas prestam para a sociedade, elas também possuem a função de serem reservatórios de gases de efeito estufa, como o carbono principalmente, o qual é o tema central do presente trabalho. Sendo assim, são importantes ecossistemas que devem ser conservados.

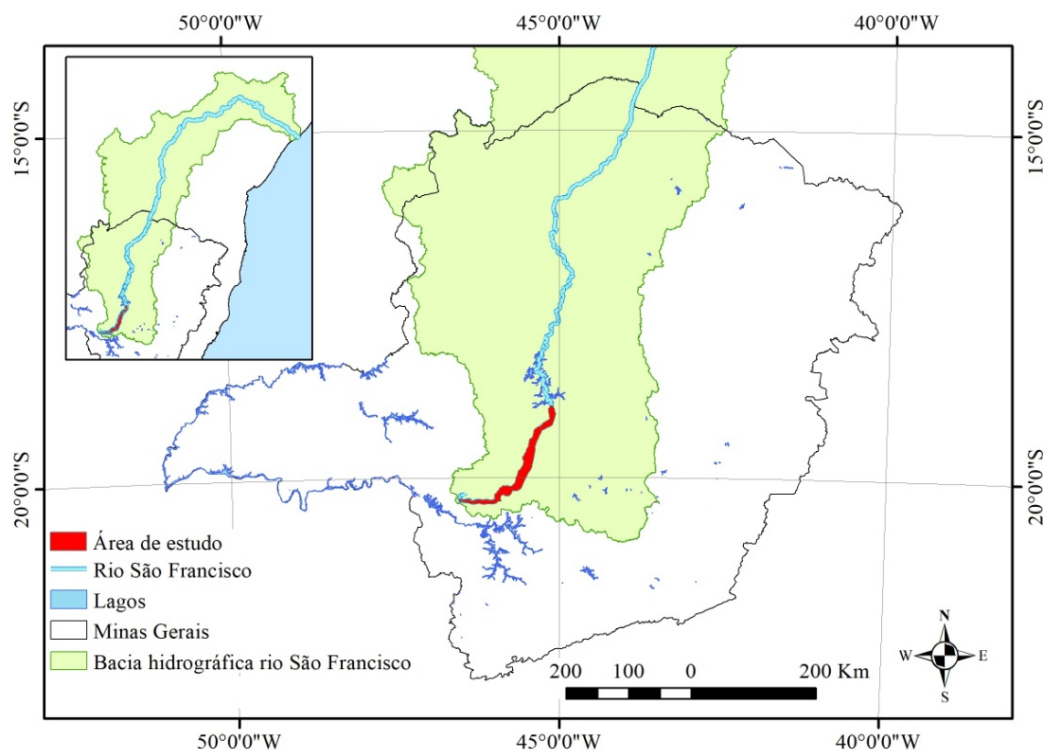
3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do presente trabalho foi realizada em três etapas: (I) etapa pré-campo, sendo dividido em estudos bibliográficos e planejamento dos caminhos e lagoas a serem amostradas no campo. (II) Etapa de campo, sendo realizado o reconhecimento da área de estudo e coleta das amostras. (III) Etapa pós-campo, iniciando os trabalhos no laboratório a partir da preparação das amostras, análises e interpretação dos resultados.

3.1 Área de estudo

A área de estudo está situada na região Centro Oeste de Minas Gerais, entre a Serra da Canastra e o lago de Três Marias, entre as coordenadas $18^{\circ} 57' 0''$ S e $20^{\circ} 24' 0''$ S e entre as longitudes $46^{\circ} 36' 0''$ W $45^{\circ} 0' 0''$ W (FIGURA 5).

Figura 5 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Adaptado de Oliveira (2020).

Em relação ao contexto geológico regional, a área de estudo está situada no cráton São Francisco, estando delimitado pelas faixas Brasília a oeste e Araçuai a sudeste (MINAS GERAIS, 1999).

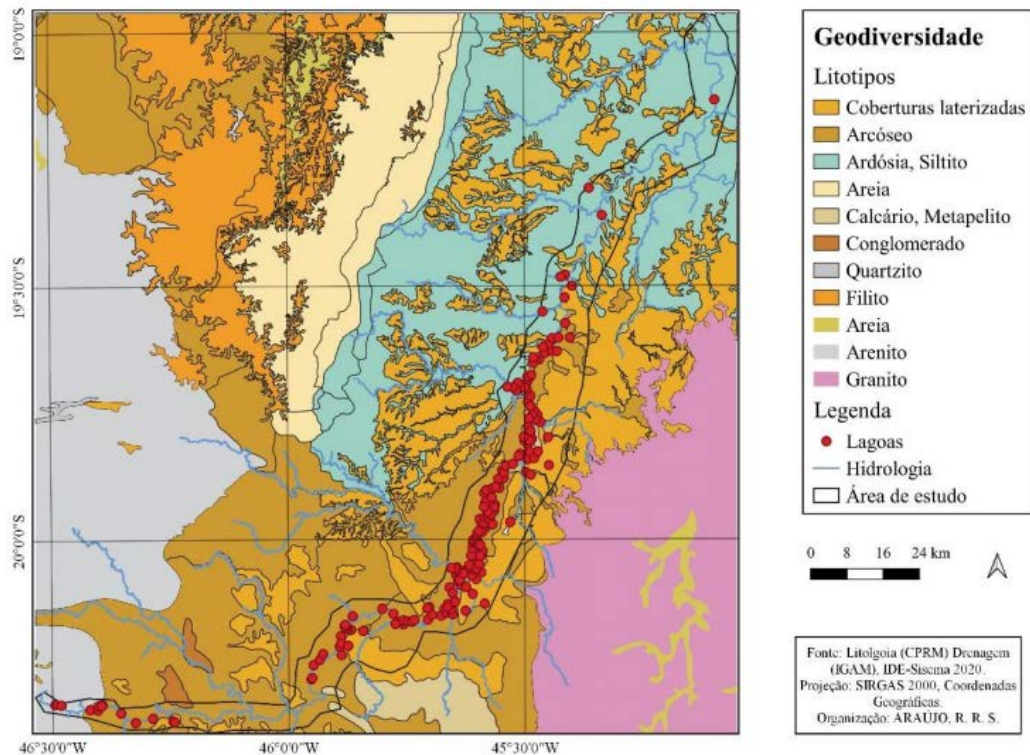
De acordo com Araújo *et al.* (2022), a litologia dessa área é composta predominantemente pelo grupo Bambuí, o qual ocupa a maior parte da porção sudeste do

cráton, constituindo uma extensa cobertura sedimentar depositada sobre o cráton São Francisco.

O grupo Bambuí é dividido em subgrupo Paraopeba na porção inferior, com características pelito-carbonática e depositado em uma plataforma carbonática, e na porção superior a formação Três Marias e terrígena de natureza continental (MINAS GERAIS, 1999).

Araújo *et al.* (2020), realizaram um mapeamento preliminar da ocorrência das lagoas permanentes marginais do alto curso do rio São Francisco, totalizando 186 lagoas mapeadas, onde, em relação a litologia, a maior parte delas se encontra sobre rochas sedimentares, predominantemente constituídas de fragmentos em granulação grossa (FIGURA 6).

Figura 6 - Mapa de litologia da área de estudo.



Fonte: Araújo *et al.* (2020).

Conforme exposto por Araújo *et al.* (2022), em relação a era geológica, a maior ocorrência de lagoas se encontra sobre:

O maior número das lagoas marginais ocorre sobre as formações cenozoicas (130), variando entre as coberturas eluvionares detrito-lateríticas e depósitos aluvionares, com predominância no segundo litotipo, onde há menor ocorrência de lagoas dentre as coberturas (CPRM, 2009a). Encontradas ao longo das margens dos cursos fluviais, como os rios São Francisco e Bambuí em decorrência da atuação de processos de dissecação (FIGURA 5A) mais recentes (ARAÚJO ET AL., 2022, p. 1303).

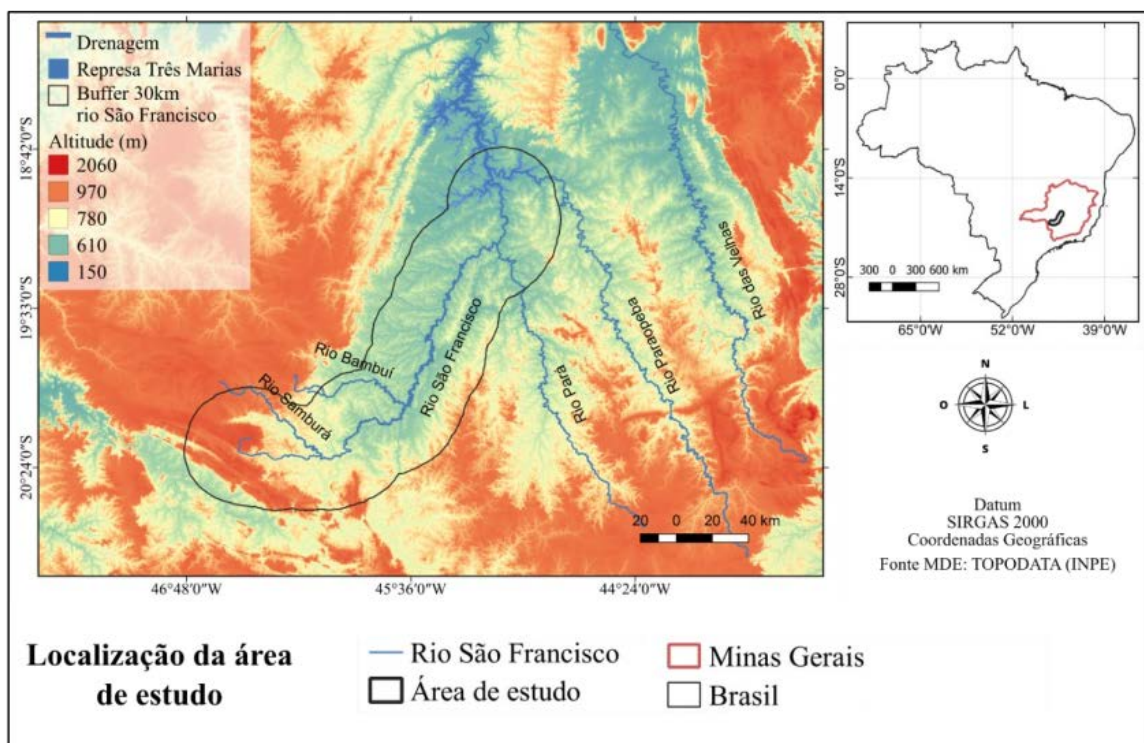
Quanto à rede de drenagem, este trecho tem como principais afluentes os rios

Samburá e Bambuí na margem esquerda da área de estudo (FIGURA 7), e os rios Pará e Paraopeba localizados na margem direita.

A área de estudo está sob o domínio da depressão do rio São Francisco (Araújo *et al.*, 2022), cuja paisagem inclui o relevo de planície de inundação como um dos elementos mais importantes para indicar e delimitar as lagoas marginais (Araújo *et al.*, 2020).

De acordo com Araújo *et al.* (2022), a amplitude topográfica da região é entre 550 a 1485 metros, tendo os maiores valores a região da Serra da Canastra e os menores valores para o vale do rio São Francisco e a represa de Três Marias (FIGURA 7).

Figura 7 - Mapa com os principais afluentes e amplitude topográfica da área de estudo.

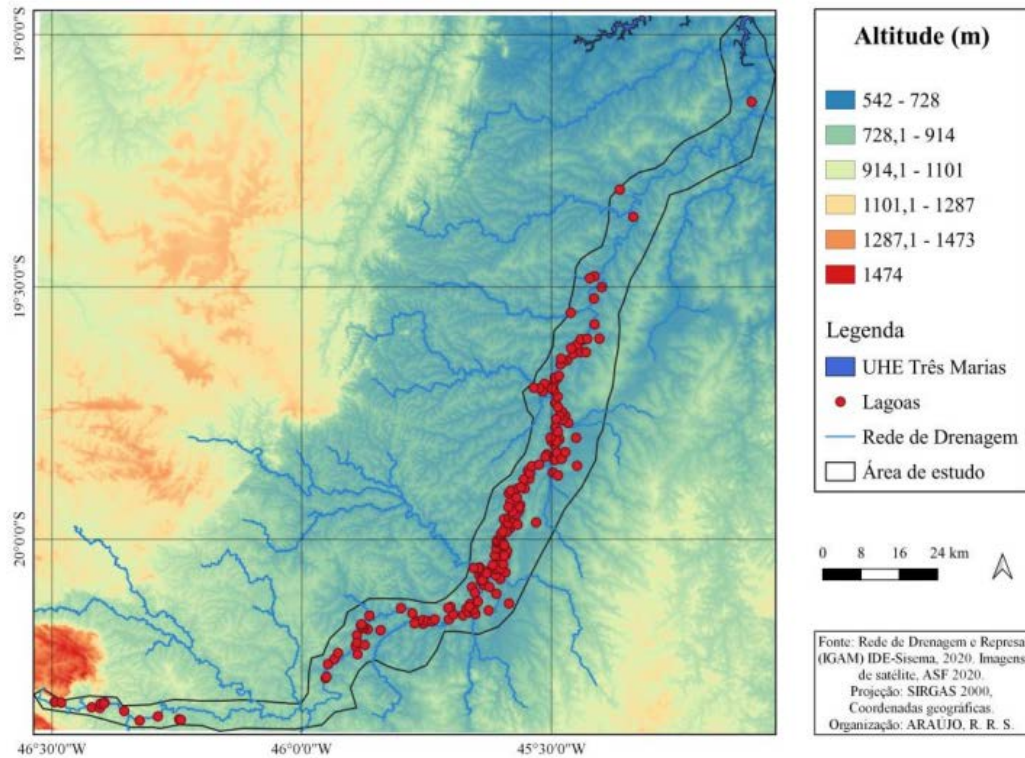


Fonte: Araújo *et al.* (2022).

Importante ressaltar que, conforme o mapeamento realizado por Araújo *et al.* (2020), a maior concentração das AU's se encontra na planície de inundação do rio São Francisco entre as altitudes de 820 metros e 560 metros (FIGURA 8).

Quanto à vegetação, a região está inserida predominantemente no bioma do Cerrado, o qual de acordo com Myers *et al.* (2000) é considerado um dos *hotspots* para a conservação da biodiversidade. Além do Cerrado, a região apresenta entraves de Mata Atlântica (Mata Mesofítica) nos fundos de vale (ARAÚJO ET AL., 2022).

Figura 8 - Mosaico Alos Palsar da área de estudo com as lagoas marginais mapeadas.



Fonte: Araújo *et al.* (2020).

Por fim, quanto ao clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007), é predominante chuvoso, variando de verão moderadamente quente (Cwb) ao sul a verão quente na porção mais ao norte (Cwa).

3.2 Métodos

3.2.1 Estudos bibliográficos

Nesta etapa foram realizados levantamentos bibliográficos a partir das referências existentes e disponíveis sobre o tema da pesquisa e da área de estudo. Para isso foram consultados artigos científicos disponíveis em periódicos, além de livros, sites de confiança, dissertações de mestrado, teses de doutorado, etc.

Portanto, as pesquisas bibliográficas deram suporte técnico e científico para o planejamento ideal dos métodos mais indicados a serem realizadas nesta obra, além de embasamento para interpretação dos resultados após as etapas de campo e laboratório.

3.2.2 Etapa pré-campo

A partir do mapeamento das lagoas marginais realizado por Araújo *et al.* (2020), foi possível fazer um planejamento preliminar para quais lagoas seriam amostradas e os principais caminhos para acessá-las. Para isso foi utilizado o *software Google Earth*, tendo como um dos critérios, a princípio, uma distância mínima de 5 km entre as lagoas escolhidas, onde posteriormente seria realizada a coleta em dois pontos distintos em cada lagoa analisada, visando assim maior representatividade.

3.2.3 Etapa de campo

Esta etapa ocorreu em dois períodos diferentes. O primeiro campo exploratório, visando reconhecimento da área de estudo e início da amostragem ocorreu entre os dias 1 a 4 de abril de 2022. O segundo campo ocorreu entre os dias 26 a 29 de agosto de 2022. Os pontos percorridos foram direcionados para o trecho do rio São Francisco que compreende os municípios de Lagoa da Prata, Moema e Luz, ambos no estado de Minas Gerais.

Entretanto, o planejamento pré-campo realizado via *Google Earth* teve que ser totalmente editado durante o primeiro período de campo, pois os acessos a várias estradas vicinais estavam impedidos, devido a porteiças de propriedades rurais que foram fechadas com cadeados, pontes caídas e outras pontes provisórias em estradas que não estavam no planejamento do percurso, algumas destas com precárias condições de acesso.

Para realização da coleta das amostras foi utilizado um trado tipo sonda (figuras 9 e 10). As amostragens nas geocoberturas das lagoas marginais foram feitas nas profundidades: 0-30 cm, 30-60 cm e 60-100 cm (FIGURA 11). Após a coleta da amostra global (um metro), foi separada cada faixa e feito as identificações de cada segmento e o armazenamento correto das mesmas (FIGURA 12).

A amostragem realizada abrangeu uma extensão total de 80,60 quilômetros no sentido norte sul da área de estudo. A tabela 1 apresenta as coordenadas dos pontos de amostragem onde foram efetuadas as coletas das 21 lagoas. A figura 13 consta o mapa de localização da área de estudo com as lagoas marginais amostradas em campo.

A região de estudo possui lagoas permanentes e temporárias. No primeiro campo realizado em abril, de uma maneira geral a maioria das lagoas marginais ainda estavam inundadas, devido ao período recente de alto índice pluviométrico. Algumas dessas AUs possuíam extensão e volume de água mais elevados (FIGURA 14), outras de menor proporção também foram amostradas (FIGURA 15).

Figura 9 - Coleta das amostras feitas com o auxílio de trado tipo sonda.



Fonte: O autor (2022). Data: 27/08/2022.

Figura 10 - Coleta das amostras feitas com o auxílio de trado tipo sonda.



Fonte: O autor (2022). Data: 28/08/2022.

Figura 11 - Amostragem de geocoberturas das lagoas marginais feita com trado tipo sonda com alcance até um metro de profundidade.



Fonte: O autor (2022). Data: 02/04/2022.

Figura 12 - Identificação e armazenamento das amostras de geocoberturas coletadas.



Fonte: O autor (2022). Data: 29/08/2022.

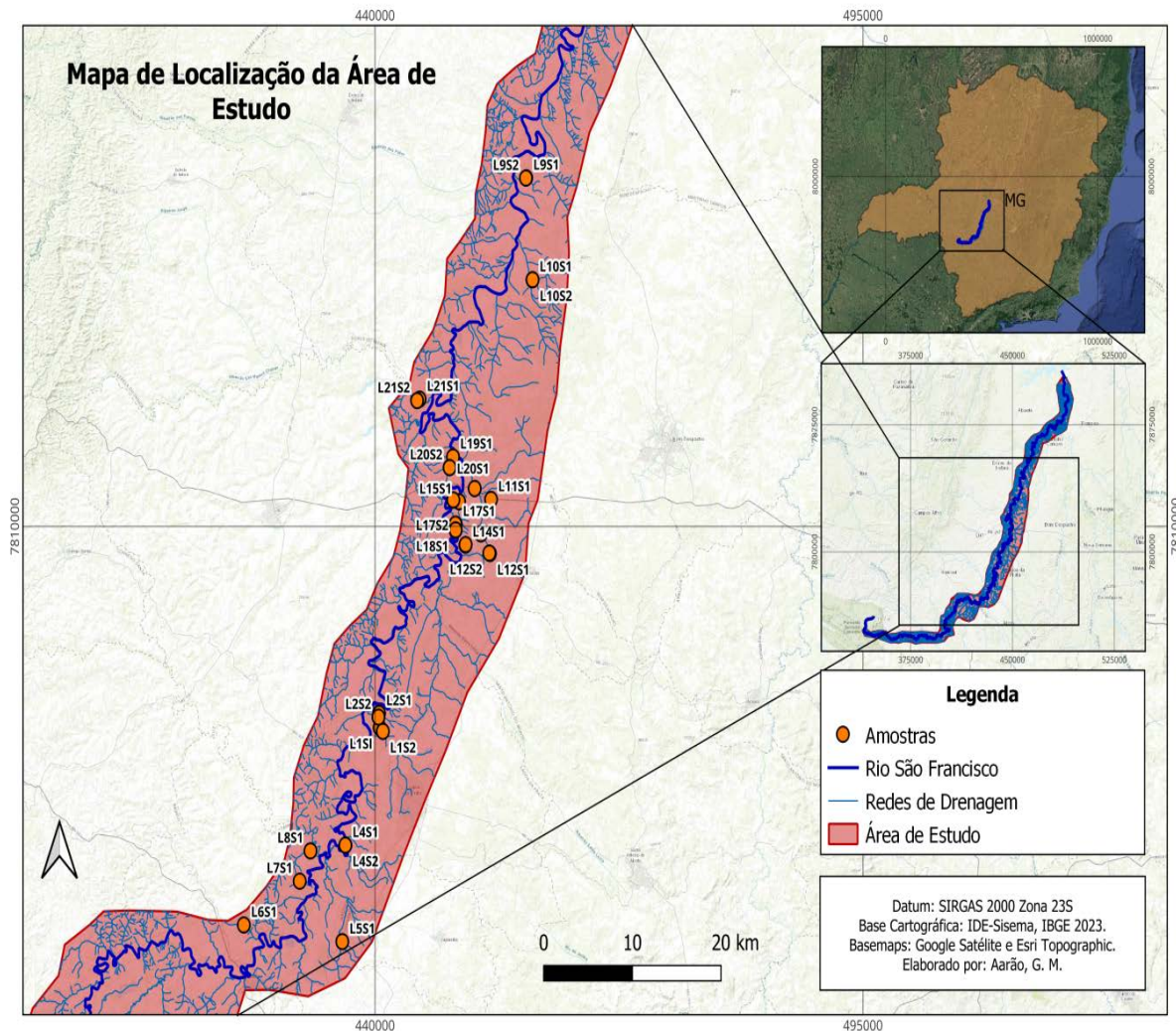
Tabela 1 - Lagoas amostradas e suas respectivas coordenadas.

LAGOA E PONTO AMOSTRADO	LATITUDE	LONGITUDE
L1S1	19°58'08.44"S	45°34'06.79"O
L1S2	19°58'19.81"S	45°33'54.14"O
L2S1	19°57'26.74"S	45°34'08.68"O
L2S2	19°57'37.75"S	45°34'11.23"O
L3S1	19°46'27.40"S	45°27'56.11"O
L3S2	19°46'27.41"S	45°27'56.04"O
L4S1	20°03'53.55"S	45°36'20.65"O
L4S2	20°03'53.43"S	45°36'20.95"O
L5S1	20°08'36.67"S	45°36'34.03"O
L5S2	20°08'36.71"S	45°36'34.70"O
L6S1	20°07'46.32"S	45°42'56.05"O
L6S2	20°07'46.68"S	45°42'56.07"O
L7S1	20°05'38.62"S	45°39'18.68"O
L7S2	20°05'38.85"S	45°39'18.49"O
L8S1	20°04'09.91"S	45°38'36.53"O
L8S2	20°04'09.73"S	45°38'37.13"O
L9S1	19°31'15.21"S	45°24'33.99"O
L9S2	19°31'16.06"S	45°24'35.09"O
L10S1	19°36'14.90"S	45°24'10.51"O
L10S2	19°36'14.77"S	45°24'10.06"O
L11S1	19°46'59.63"S	45°26'52.69"O
L11S2	19°46'59.40"S	45°26'55.56"O
L12S1	19°49'38.60"S	45°26'57.26"O
L12S2	19°49'37.39"S	45°26'59.97"O
L13S1	19°48'40.67"S	45°27'32.60"O
L13S2	19°48'40.61"S	45°27'32.43"O
L14S1	19°49'13.47"S	45°28'32.54"O
L14S2	19°49'13.24"S	45°28'32.37"O
L15S1	19°47'06.04"S	45°28'56.46"O
L15S2	19°47'06.23"S	45°28'56.52"O
L16S1	19°47'01.17"S	45°29'19.03"O
L16S2	19°47'0.87"S	45°29'18.79"O

L17S1	19°48'12.01"S	45°29'9.79"O
L17S2	19°48'11.69"S	45°29'10.65"O
L18S1	19°48'29.35"S	45°29'10.02"O
L18S2	19°48'28.96"S	45°29'10.19"O
L19S1	19°44'54.45"S	45°29'19.71"O
L19S2	19°44'54.51"S	45°29'19.32"O
L20S1	19°45'25.39"S	45°29'32.96"O
L20S2	19°45'25.74"S	45°29'32.93"O
L21S1	19°42'04.40"S	45°31'28.38"O
L21S2	19°42'8.67"S	45°31'37.98"O

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 13 - Mapa de localização da área de estudo com as lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco que foram amostradas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 14 - Amostragem feita em lagoa marginal com grande extensão e volume de água.



Fonte: O autor (2022).

Figura 15 - Processo de amostragem sendo realizado pelos integrantes do grupo em lagoa marginal com menor volume de água.



Fonte: O autor (2022).

3.2.4 Etapa pós-campo

Nesta etapa foram realizadas algumas atividades, as quais visam o tratamento das amostras coletadas em campo, a fim de que com os procedimentos laboratoriais realizados gerassem dados com confiabilidade, os quais são necessários para obtenção dos resultados almejados no presente trabalho.

O principal objetivo nesta etapa é realizar a preparação e análises das amostras para obter a estimativa da quantidade de matéria orgânica e o teor médio de carbono orgânico estocado nas lagoas marginais estudadas no presente trabalho.

3.2.4.1 Preparação das amostras

As amostras foram preparadas por meio da recepção e identificação no Laboratório de Geografia Física do IFMG *Campus* Ouro Preto (FIGURA 16), onde foram inicialmente secadas ao ar livre e posteriormente em estufa à 40° C pelo tempo necessário até sua secagem (FIGURA 17). Após este processo, as amostras foram destorroadas, peneiradas em malha de diâmetro de 2,0 mm, obtendo-se a fração da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), conforme Embrapa (2017). Finalizando, as amostras foram armazenadas para as posteriores análises químicas (FIGURA 18).

Figura 16 - Amostras identificadas e encaminhadas ao laboratório de Geografia física do IFMG Campus Ouro Preto.



Fonte: O autor (2022).

Figura 17 - Amostras com excesso de umidade sendo secadas em estufa à 40° C.



Fonte: O autor (2022).

Figura 18 - Amostras secadas, peneiradas, preparadas e identificadas para análises químicas.



Fonte: O autor (2022).

3.2.4.2 Análises laboratoriais

Visando obter a estimativa do estoque de carbono depositado nas geocoberturas das lagoas por meio da análise da matéria orgânica e carbono orgânico, foram adotados os procedimentos abordados nos subtópicos a seguir.

3.2.4.2.1 Carbono orgânico

De acordo com Embrapa (2017), a determinação do carbono orgânico ocorre indiretamente em função da reação do carbono presente nos compostos orgânicos com a solução de dicromato de potássio.

O cálculo do teor é efetuado pelo volume de dicromato de potássio utilizado na oxidação da matéria orgânica, o qual é obtido pela diferença entre o volume de uma prova em branco e da amostra pela titulação com a solução de sulfato ferroso amoniacal (Embrapa, 2017).

A utilização dessa análise do branco teve por objetivo medir a eficiência de todas as análises, visando averiguar se ocorreram possíveis contaminações, as quais podem influenciar nos reagentes.

Para o presente trabalho, a preparação do branco foi realizada da mesma forma em que as demais análises foram preparadas, contendo todos os solventes, entretanto sem as amostras de geocoberturas, abrangendo apenas as soluções puras.

Importante ressaltar que o volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco deve ser sempre maior ou igual ao volume gasto nas titulações das demais amostras, indicando assim ausência de impurezas.

A partir da análise visual feita nas amostras foi possível observar que muitas delas apresentavam elevada quantidade de matéria orgânica decomposta ou em decomposição. Devido a isso, foi necessário realizar uma diluição no procedimento, onde optou-se por pesar 0,25 g em vez de 0,5 g conforme o padrão criado pela EMBRAPA (2017). Além disso, em algumas amostras com alto teor de MO, foi adicionado entre 10 a 50 ml a mais de solução de dicromato.

O carbono orgânico foi determinado por via úmida a partir da oxidação da MO da amostra com o dicromato de potássio em meio sulfúrico (WALKLEY; BLACK, 1934). O procedimento (EMBRAPA, 2017) consistiu na pesagem de 0,25 g de amostra (FIGURA 19), as quais foram passadas em peneira de 80 mesh, seguidas da adição de 10 ml de solução de

dicromato de potássio (FIGURA 20).

Logo após, as amostras juntamente com a solução de dicromato de potássio foram aquecidas até fervura branda, durante o intervalo de cinco minutos, com condensador sobre a boca do erlenmeyer, visualizando a cor amarelo-castanha (figuras 21). Após resfriamento, foi observado se a cor das amostras voltava escurecer (FIGURA 22).

Figura 19 - Pesagem da amostra para determinação do teor de CO por via úmida.



Fonte: O autor (2023).

Para as amostras que a cor voltava escurecer, foi necessário adicionar mais 10 ml de solução de dicromato de potássio e colocá-las novamente na chapa até que a cor após resfriamento permanecesse amarelo-castanha, em algumas amostras esse procedimento foi realizado quatro vezes (50 ml ao todo de dicromato).

Por fim, de acordo com a metodologia da Embrapa (2017), foram acrescentadas 80 ml de água deionizada, 3 gotas de indicador difenilamina e 2 ml de ácido ortofosfórico (FIGURA 23). Logo após a solução foi titulada com sulfato ferroso amoniacal (FIGURA 24) até que a cor da solução mudasse para verde (FIGURA 25).

Figura 20 - Solução de dicromato de potássio utilizada para oxidar a matéria orgânica das amostras.



Fonte: O autor (2023).

Figura 21 - Amostras com solução de dicromato sendo aquecidas na chapa.



Fonte: O autor (2023).

Figura 22 - Observação se a cor das amostras voltava escurecer após resfriamento.



Fonte: O autor (2023).

Figura 23 - Adição de ácido ortofosfórico e indicador difenilamina na solução com amostra.



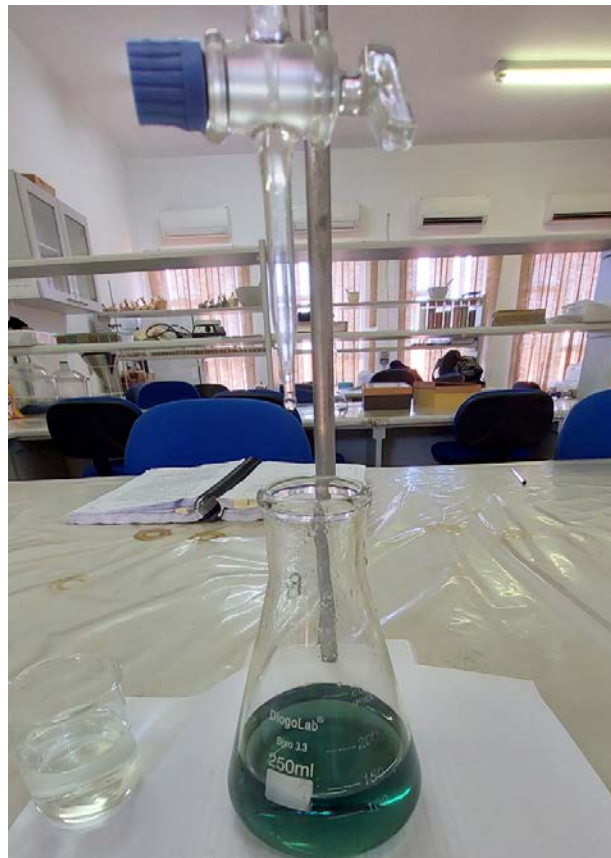
Fonte: O autor (2023).

Figura 24 - Titulação das amostras com a solução de sulfato ferroso amoniacal.



Fonte: O autor (2023).

Figura 25 - Solução com coloração verde após completa titulação com sulfato ferroso amoniacal.



Fonte: O autor (2023).

Portanto, conforme o procedimento da Embrapa (2017), a partir da equação demonstrada na figura 26, foi realizado os cálculos para determinação da concentração de carbono orgânico para a o branco e demais amostras.

Figura 26 - Equação para determinação do teor de carbono orgânico no solo.

$$C_{org} = \frac{0,003 \cdot V_d \cdot (40 - V_a) \cdot \frac{40}{V_b} \cdot 10}{m}$$

Em que:

C_{org} – concentração de carbono orgânico no solo, em $g\ kg^{-1}$.

V_d – volume total da solução de dicromato de potássio adicionado na digestão da amostra, em mL.

V_a – volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra, em mL.

V_b – volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco aquecido, em mL.

Valor 0,003 – miliequivalente da massa de carbono (peso atômico/valência – 12/4, dividido por 1.000).

Valor 10 – transformação de % para $g\ kg^{-1}$.

m – massa da amostra de solo, em g.

Fonte: Embrapa (2017).

3.2.4.2.2 Matéria orgânica

De acordo com Pereira *et al.* (2006), este método é preferencialmente indicado para solos com altos teores de matéria orgânica, tais como solos em que o teor de carbono obtido pelo método via úmida é maior ou igual a $80\ g\ kg^{-1}$, conforme definido no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Santos *et al.*, 2013).

As amostras foram submetidas ao processo de combustão com aquecimento programado e perda de massa pela incineração em mufla. Após termino do procedimento (Embrapa, 2017), o teor de matéria orgânica foi quantificado pela diferença entre a massa do solo seco em estufa e a massa do resíduo obtido após a incineração em mufla.

Seguindo a metodologia da Embrapa (2017) foram realizadas as seguintes etapas:

- Peneirar as amostras na peneira de 80 mesh.
- Pesar 5 g de solo (TFSA) e transferir para uma placa de Petri.
- Colocar as amostras em estufa a $65\ ^\circ C$ por 24 horas.
- Após 24 horas retirar da estufa e deixar em dessecador até esfriar.

- Após resfriamento, pesar e anotar o valor do cadinho de porcelana vazio, o qual irá conter a amostra de solo.
- Pesar 5 g da amostra e transferir para o cadinho.
- Anotar o valor da massa do solo seco no cadinho de porcelana.
- Retornar o solo seco no cadinho de porcelana para a mufla, regular a temperatura a 600 °C e deixar por 6 horas.
- Retirar o cadinho de porcelana e deixar em dessecador até esfriar.
- Pesar o resíduo (solo incinerado) no cadinho de porcelana frio.
- Dispor em cadinho de porcelana.

Portanto, conforme o procedimento da Embrapa (2017), a partir da equação demonstrada na figura 27, foi realizado os cálculos para determinação da concentração da matéria orgânica do solo nas amostras de geocoberturas.

Figura 27 - Equação para determinação da concentração de matéria orgânica do solo.

$$\text{MOS} = \frac{(\text{Ms} - \text{Mr})}{\text{Ms}} \cdot 1000$$

Em que:

MOS – concentração de matéria orgânica do solo, em g kg⁻¹.

Ms – massa do solo seco em estufa a 65 °C, em g.

Mr – massa do resíduo após mufla a 600 °C, em g.

Fonte: Embrapa (2017).

3.2.4.3 Cálculo das análises e tabulação dos resultados

A partir dos valores obtidos nos ensaios laboratoriais executados, foi realizada a tabulação dos dados através do *software Excel*. Ainda com o auxílio deste programa, foram feitos os cálculos para obtenção dos teores de carbono e matéria orgânica das amostras de geocoberturas das lagoas marginais.

Após a sumarização dos dados obtidos, foram realizadas análises de estatística descritiva, tais como a média, mínima, máxima, desvio padrão, etc.

Assim, foi possível estimar o teor médio de estoque de carbono e matéria orgânica das 21 lagoas que foram amostradas até um metro de profundidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Carbono orgânico

Após a realização dos cálculos para carbono orgânico a partir da equação citada na figura 26 (Embrapa 2017), foi possível sumarizar e analisar os valores obtidos das análises realizadas nas geocoberturas das lagoas amostradas (ver apêndice A).

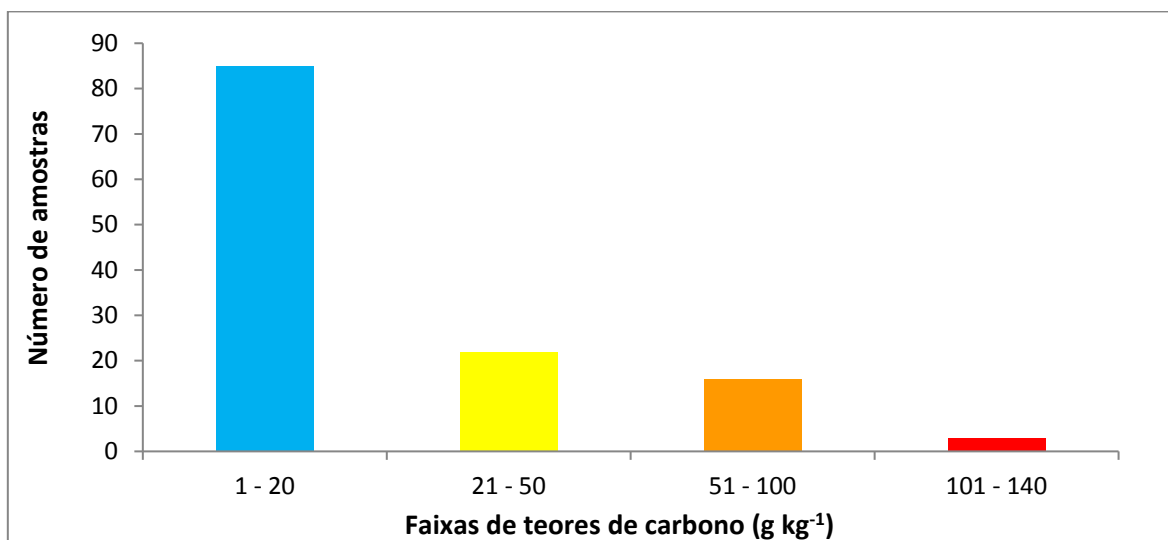
A partir dos resultados, constatou-se que 67% das amostras possuem teor de carbono orgânico entre 1 a 20 g kg⁻¹, ou seja, das 126 análises 85 delas encontram-se nessa faixa, estando próximo do valor 24,39 g kg⁻¹ que foi obtido no cálculo da média geral. Nas demais amostras, 18 % estão na faixa entre 21 a 50 g kg⁻¹, 13% entre 51 a 100 g kg⁻¹ e 2% entre 101 a 140 g kg⁻¹, conforme apresentado na tabela 2 e no gráfico exibido na figura 28.

Tabela 2 - Relação do percentual do número total de amostras com os teores de carbono orgânico mensurados.

Teor de carbono (g kg ⁻¹)	Número de amostras	Porcentagem do total de amostras
1 - 20	85	67 %
21 - 50	22	18 %
51 - 100	16	13 %
101 - 140	3	2 %
Total	126	100 %

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 28 - Relação do percentual do número total de amostras com os teores de carbono orgânico mensurado.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Foram feitos os cálculos estatísticos das 126 amostras analisadas, tendo como resultado a mínima 1,83 g kg⁻¹, média de 24,39 g kg⁻¹, máxima de 134,63 g kg⁻¹ e desvio

padrão de 26,44, conforme pode ser visualizado na tabela 3 e no gráfico inserido na figura 29.

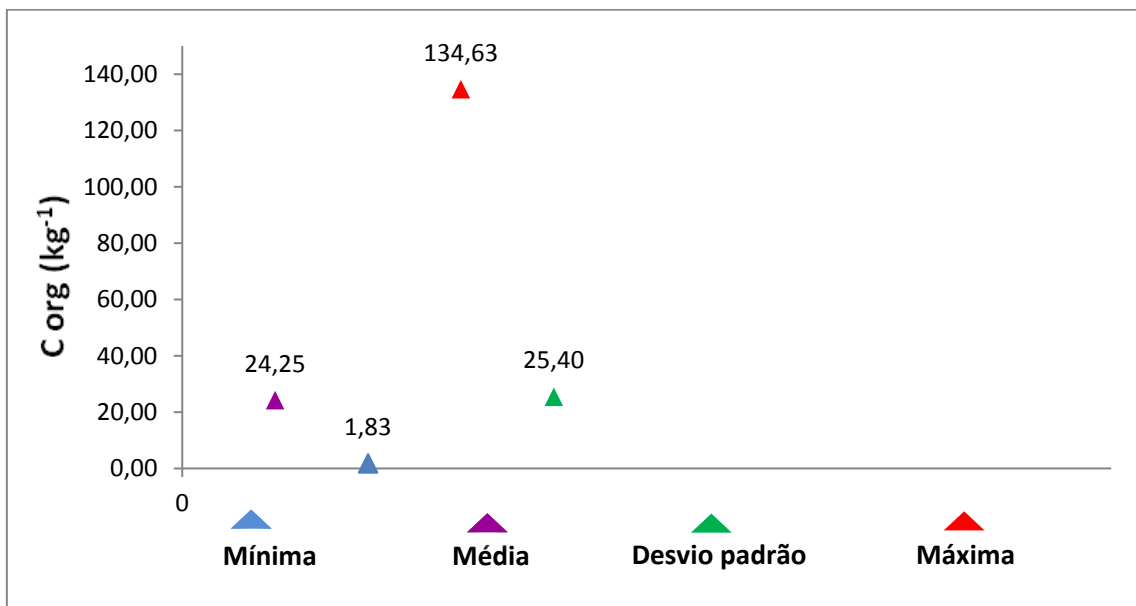
É importante destacar que o valor do desvio padrão 26,44 foi bem próximo ao valor da média 24,39, indicando assim um baixo desvio padrão, dando assim significado para a maioria dos resultados estarem na faixa 1 – 20 g kg⁻¹ próximo da média, conforme exibido anteriormente na tabela 3.

Tabela 3 - Cálculos estatísticos do teor de carbono orgânico nas geocoberturas das lagoas amostradas.

Estatística do teor de C org (g kg ⁻¹) para as 126 amostras analisadas		
Função estatística	Valor (g kg ⁻¹)	Lagoa e faixa coletada
Mínima	1,83	L12S2: 60 – 78 cm
Média	24,39	Todas as lagoas
Máxima	134,63	L13S2: 0 – 30 cm
Desvio Padrão	26,44	Todas as lagoas

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 29 - Mínima, média, desvio padrão e máxima dos teores de CO nas geocoberturas amostradas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A partir dos resultados de todas as análises químicas, foi feito a plotagem dos mesmos e gerado a representação gráfica para avaliar o comportamento dos teores de carbono orgânico das geocoberturas presentes nas lagoas marginais.

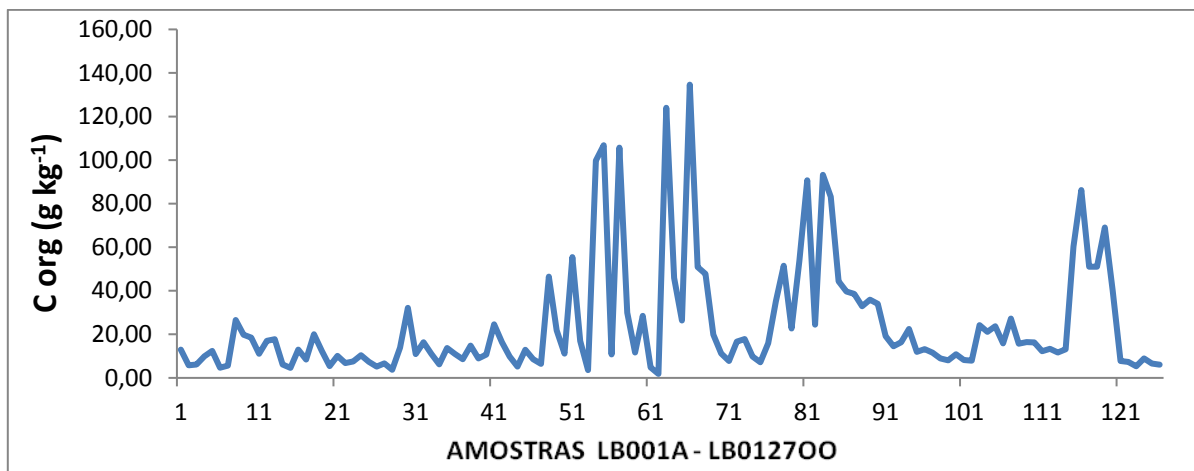
A tabela 4 e o gráfico a seguir (FIGURA 30) destacam os quatro maiores e menores teores de carbono orgânico que foram quantificados, bem como suas respectivas lagoas, pontos e profundidades amostradas.

Tabela 4 - Comparação dos quatro maiores e menores valores pontuais de CO nas lagoas marginais.

Maiores teores pontuais de C org quantificados nas geocoberturas das lagoas marginais			
Lagoa e ponto amostrado	Profundidade amostrada (cm)	Identificação da amostra no laboratório	C. org (g kg⁻¹)
L13S2	00 - 30	LB067Y	134,63
L13S1	00 - 30	LB064X	124,04
L12S1	30 - 60	LB056U	106,79
L12S1A	00 - 30	LB058V	105,71
Menores teores pontuais de C org quantificados nas geocoberturas das lagoas marginais			
Lagoa e ponto amostrado	Profundidade amostrada (cm)	Identificação da amostra no laboratório	C. org (g kg⁻¹)
L12S2	60 - 78	LB0063W	1,83
L11S2	60 - 86	LB0054T	3,56
L5S3	90 - 120	LB0029K	3,70
L4S1	00 - 30	LB0016G	4,58

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 30 - Representação gráfica dos valores de carbono orgânico das 126 amostras analisadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Diante do exposto, conforme se pode constatar, os maiores valores pontuais de

carbono orgânico foram encontrados na lagoa L13. O maior teor foi de 134,63 g kg⁻¹ na profundidade de 0-30 cm no segundo ponto amostrado L13S2. O segundo maior teor quantificado foi no ponto L13S1, também na faixa de 0-30 cm de profundidade, apresentando como resultado o valor de 124,04 g kg⁻¹ de carbono orgânico armazenado nas geocoberturas.

A segunda lagoa que apresentou maiores teores pontuais foi a L12, com valores de 106,79 g kg⁻¹ na profundidade de 30-60 cm no ponto L12S1. O segundo maior teor quantificado foi de 105,71 g kg⁻¹ na profundidade de 0-30 cm no ponto ao lado amostrado L12S1A.

Entretanto, em relação aos menores valores pontuais, conforme também mostrado na tabela 4, com exceção da amostra L4S1 (4,58 g kg⁻¹) coletada na profundidade de 0-30 cm, nota-se que as demais amostras que apresentaram menores valores pontuais de carbono orgânico estão inseridas em maiores profundidades, podendo isso ser devido a menos presença de matéria orgânica e mais faixas arenosas e argilosas.

Diante do exposto, conforme se pode constatar na tabela 4, o menor valor pontual de carbono orgânico foi encontrado também na lagoa L12S2, porém em uma maior profundidade de 60-78 cm, apresentando o valor de apenas 1,83 g kg⁻¹ carbono orgânico armazenado.

O segundo menor teor quantificado foi no ponto L11S2, também em uma faixa um pouco mais profunda de 60-86 cm de material coletado, apresentando como resultado o valor de 3,56 g kg⁻¹ de carbono orgânico armazenado nas geocoberturas. Por fim, a terceira lagoa que apresentou menor teor pontual de carbono orgânico foi a L5, tendo como resultado 3,70 g kg⁻¹ em uma profundidade um pouco mais elevada de 90-120 cm no ponto L5S3.

Portanto, a partir dos valores exibidos na tabela 4, pode-se inferir que as amostras que apresentaram maiores valores de carbono orgânico estavam inseridas em menores profundidades, podendo isso ser decorrente da deposição e acúmulo mais recente de matéria orgânica proveniente de restos de plantas, animais, etc., os quais podem ser de origem autóctone produzido dentro da lagoa amostrada, ou de forma alóctone através dos pulsos de inundação do rio São Francisco, os quais promovem a recarga hídrica destas lagoas marginais, além do arraste de sedimentos, nutrientes e principalmente matéria orgânica.

Em contrapartida, pode-se inferir que as amostras que apresentaram menores valores pontuais de carbono orgânico estão inseridos em maiores profundidades, podendo isso ser devido a menos presença de matéria orgânica e faixas mais arenosas e argilosas.

Finalizando as análises referentes às medidas de dispersão ou variabilidade, foi feito um histograma da distribuição de frequências com intervalos de 4 classes do teor de CO

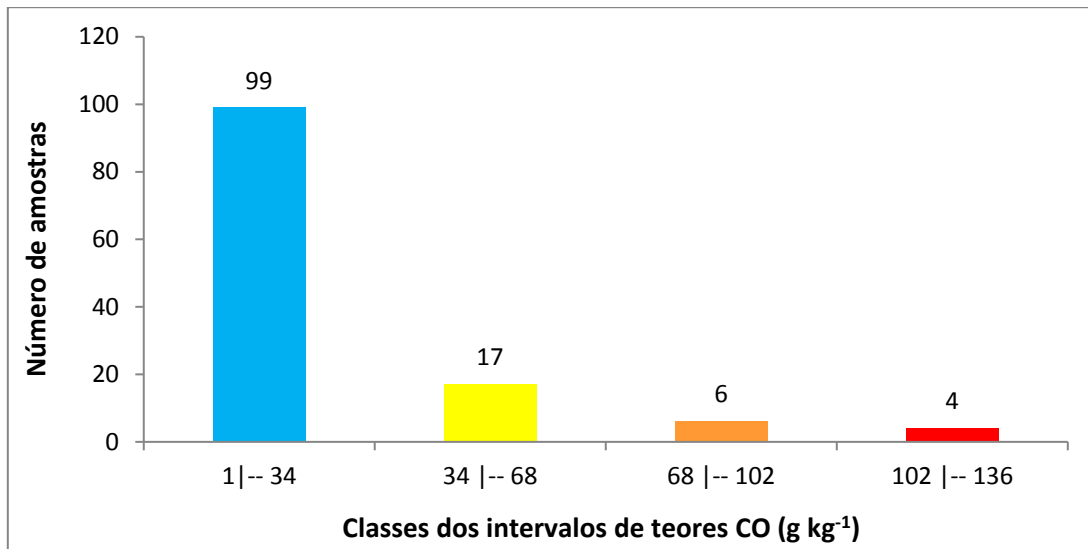
das 126 amostras analisadas, conforme pode ser visualizado na tabela 5 e no histograma na figura 31.

Tabela 5 - Distribuição de frequência com intervalo de classes do teor de CO das 126 amostras analisadas.

Classes	Intervalo de classes distribuição de frequências – CO (g kg ⁻¹)	Nº de amostras
Classe 1:	1 -- 34	99
Classe 2:	34 -- 68	17
Classe 3:	68 -- 102	6
Classe 4:	102 -- 136	4
Total: 100 %	Total de amostras	126

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 31 - Histograma da distribuição de frequência com intervalo de classes do teor de CO das 126 amostras analisadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A partir dos dados do histograma, foi feita a distribuição dos resultados por quartil, conforme exposto na tabela 6:

Tabela 6 - Distribuição dos resultados pela divisão por quartil.

Total de amostras CO	Média	Desvio Padrão	Mínima	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máxima
126	24,39	26,44	1,83	8,56	14	27	134,63

Conforme a tabela 6, a partir dos resultados do quartil 1, pode-se constatar que 25 % das amostras que apresentaram menores teores de carbono estão na faixa entre 1,83 a

8,56 g kg⁻¹, onde os 75 % restantes das 126 amostras possuem valores de carbono maiores que 8,56 g kg⁻¹. O quartil 2, o qual representa a mediana, indica que metade das amostras tem teores abaixo de 14 g kg⁻¹ e a outra metade acima desse valor. Por último, o quartil 3 demonstra que 25 % das amostras que apresentaram maiores teores de carbono ficaram acima de 27 g kg⁻¹ e 75 % das que apresentaram maiores teores de carbono ficaram abaixo deste valor.

Por fim, finalizando a análise dos dados obtidos para carbono orgânico, foi calculada a média de cada lagoa separadamente, ou seja, a média do somatório dos teores encontrados nas faixas de 0 – 30 cm, 30 – 60 cm e 60 – 100 cm (amostra global), conforme demonstrado na Tabela 7 e no gráfico demonstrado na figura 32.

Conforme pode ser observado no gráfico (FIGURA 32), as 4 lagoas que apresentaram maiores teores médios de CO estocado até 1 metro de profundidade foram a L13, L20, L15 e L12, tendo respectivamente os valores de 71,60; 59,63; 52,30 e 44,43 g kg⁻¹.

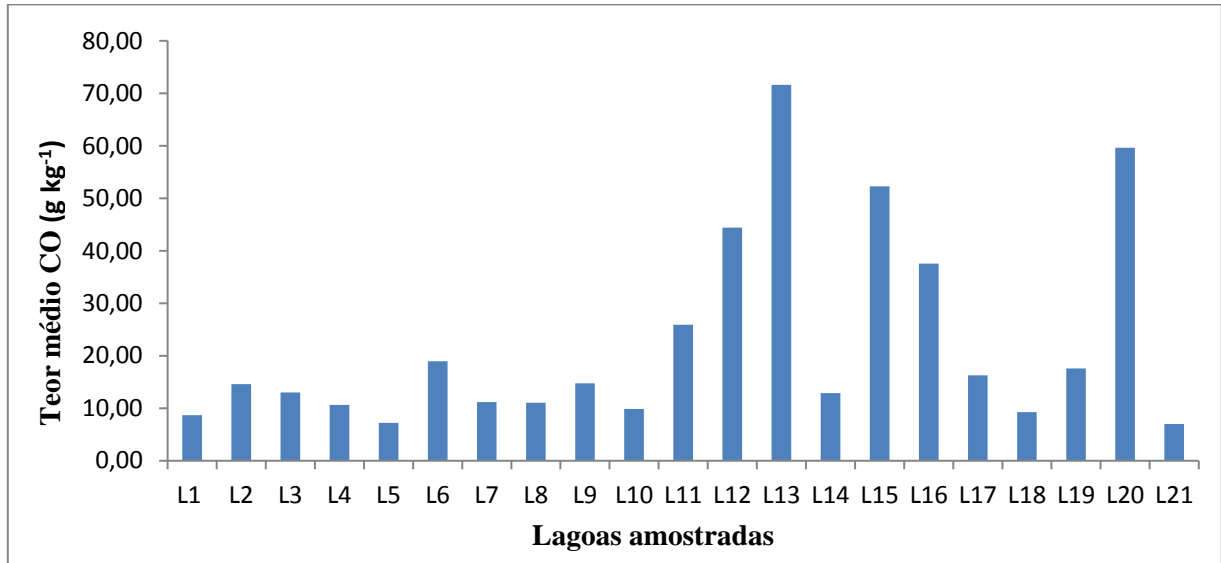
Tabela 7 - Valores médios de carbono orgânico até um metro de profundidade (amostra global) das lagoas marginais amostradas.

Lagoas amostradas	Teor médio de CO (g kg⁻¹)
Lagoa 01	8,69
Lagoa 02	14,59
Lagoa 03	13,00
Lagoa 04	10,64
Lagoa 05	7,24
Lagoa 06	18,97
Lagoa 07	11,18
Lagoa 08	11,07
Lagoa 09	14,74
Lagoa 10	9,88
Lagoa 11	25,91
Lagoa 12	44,43
Lagoa 13	71,60
Lagoa 14	12,89
Lagoa 15	52,30
Lagoa 16	37,56
Lagoa 17	16,27

Lagoa 18	9,26
Lagoa 19	17,58
Lagoa 20	59,63
Lagoa 21	7,01

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 32 - Representação gráfica dos valores médios de carbono orgânico até um metro de profundidade (amostra global) das lagoas marginais amostradas.



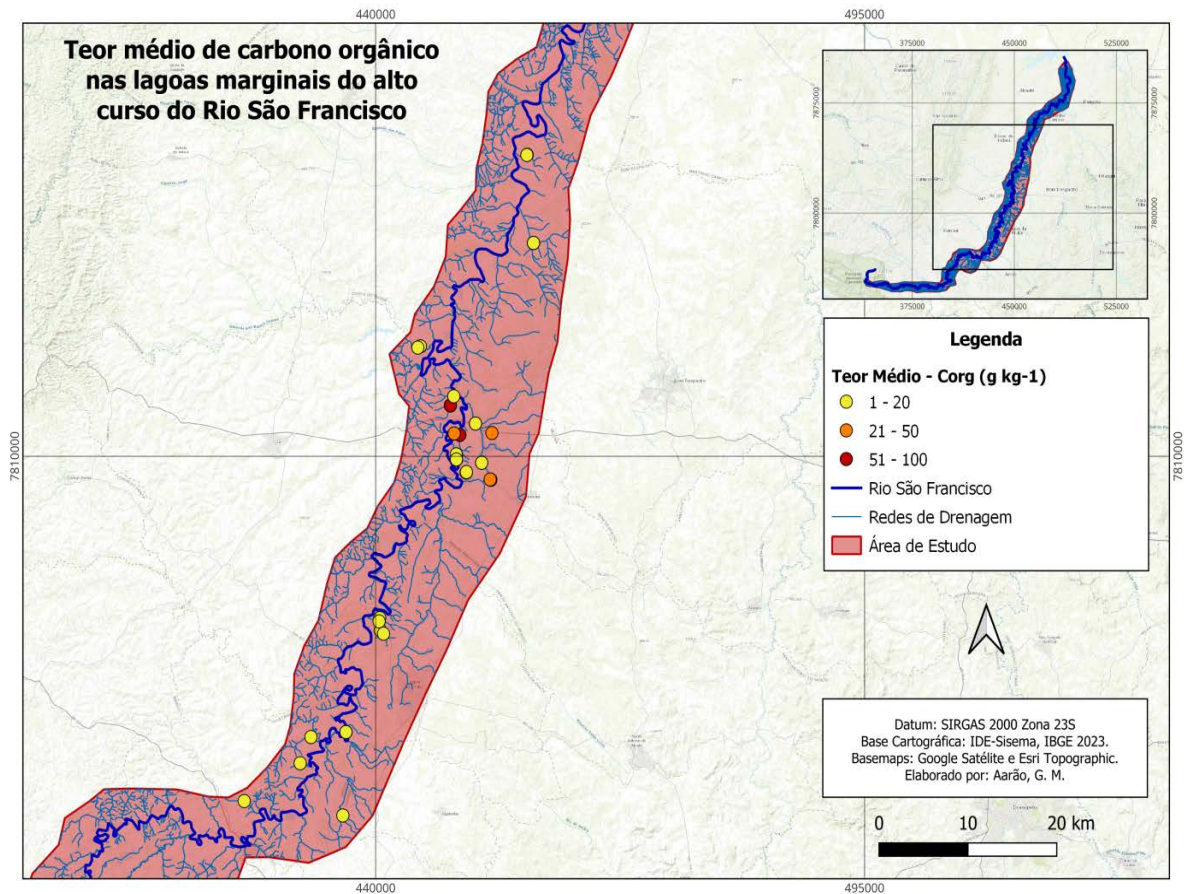
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Por fim, a partir destas médias, foi possível produzir um mapa temático com o teor médio do carbono orgânico estocado até 1 metro de profundidade nas geocoberturas das lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco (FIGURA 33).

Foram criadas três faixas de teores distintos para avaliar a intensidade da concentração média do carbono orgânico presente nas lagoas amostradas. Conforme pode ser observado no mapa, do total das 21 lagoas, 14 delas (67%) apresentaram teor médio na faixa de 1 – 20 g, 4 lagoas (18 %) entre 21 – 50 g, e 3 lagoas na faixa de 51 – 100 g de CO / kg.

É válido citar que as lagoas que apresentaram teores mais elevados de carbono estavam localizadas próximas de propriedades rurais, além disso algumas apresentavam um processo um pouco mais intenso de assoreamento e erosão no entorno. Entretanto, as lagoas com menores teor de carbono não estavam um pouco mais distantes das chácaras, sítios, etc.

Figura 33 - Mapa temático com o teor médio de carbono orgânico estocado nas lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.2 Matéria orgânica

Após a realização dos cálculos para matéria orgânica, foi possível sumarizar e analisar os valores obtidos das análises das geocoberturas das lagoas amostradas (ver Apêndice B). É importante relatar que houve alguns imprevistos com algumas amostras, como as frações de 0-30 cm das amostras L4S2 e L5S1 que não possuíam quantidade suficiente de 5 g para realização dos procedimentos, devido a isso estas importantes faixas não foram analisadas.

Além disso, é importante relatar um fato ocorrido com as análises da lagoa 13, onde as amostras correspondentes às frações de 0-30 cm (L13S1: 00-30; L13S2: 00-30) entraram em combustão dentro da mufla durante o processo de incineração. É válido destacar que essa lagoa é a mesma que apresentou maior teor de carbono orgânico nos ensaios da via úmida, onde o ponto L13S2 na faixa de 0-30 cm obteve 134,63 g de C org e o L13S1 também na faixa 0-30 cm resultou em 124,04 g de C org (g kg^{-1}).

Não se sabe ao certo o porquê isso ocorreu. Entre as hipóteses, pode-se citar uma possível maior concentração de CO₂ e CH₄, porém, para isso ser comprovado é necessário ser investigado com mais pesquisas, mais amostragens e análises, se possível usando também outras técnicas de análises laboratoriais, etc.

Embora tenha ocorrido essa perda na quantidade destas amostras, restou ainda um pouco mais de 1 g da amostra L13S1 na fração de 0-30, sendo assim foi realizada a incineração novamente, tendo como resultado o terceiro maior teor de matéria orgânica (442,24 g kg⁻¹) das amostras analisadas, conforme pode ser visualizado no Apêndice B.

A partir dos resultados exibidos na tabela 8, constatou-se que 65,04 % das amostras possuem quantidade de matéria orgânica entre 101 e 200 g kg⁻¹, ou seja, das 123 análises 80 delas encontram-se nessa faixa, estando próximo do valor da média geral que é de 161,21 g kg⁻¹. Nas demais amostras, 13,82 % estão na faixa de 1 a 100 g kg⁻¹, 16,26% entre 201 a 300 g kg⁻¹ e 4,88% entre 301 a 508 g kg⁻¹, conforme apresentado na tabela 8.

Tabela 8 - Relação do percentual do número total de amostras com os teores de matéria orgânica mensurada.

Teor MO (g kg ⁻¹)	Número de amostras	Porcentagem do total de amostras
1 - 100	17	13,82 %
101 - 200 g	80	65,04 %
201 - 300 g	20	16,26 %
301 - 508 g	6	4,88 %
Total	123	100 %

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

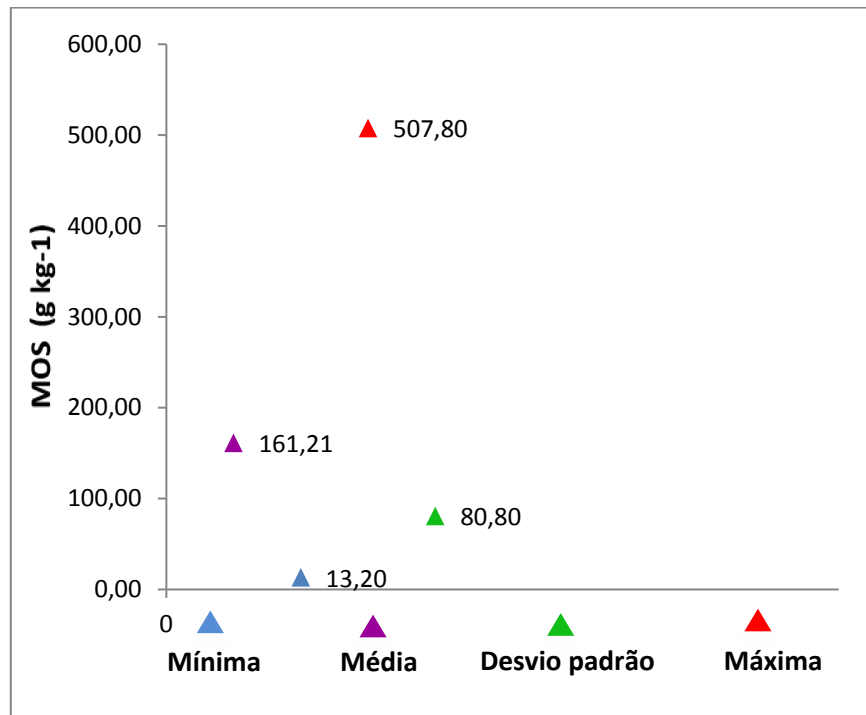
Através dos resultados demonstrados na tabela 8, foram feitos os cálculos estatísticos das 123 amostras incineradas, tendo como resultado a mínima 13,20 g kg⁻¹, média de 161,21 g kg⁻¹, máxima de 507,80 g kg⁻¹ e desvio padrão de 80,80, conforme pode ser visualizado na tabela 9 e no gráfico inserido na figura 34.

Tabela 9 - Cálculos estatísticos do teor de massa orgânica nas geocoberturas das lagoas amostradas.

Estatística do teor de MO (g kg⁻¹) para as 123 amostras analisadas		
Função estatística	Valor (g kg ⁻¹)	Lagoa e faixa coletada
Mínima	13,20	L8S1: 00 – 30 cm
Média	161,21	Todas as lagoas
Máxima	507,80	L1S2: 0 – 30 cm
Desvio Padrão	80,80	Todas as lagoas

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 34 - Mínima, média, desvio padrão e máxima dos teores de MO nas geocoberturas amostradas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Ao contrário dos resultados das análises de carbono orgânico, o valor do desvio padrão de 80,80 para massa orgânica foi bem mais elevado, indicando assim que os valores obtidos apresentam uma variabilidade maior e não estão muito próximos da média de 161,21 g kg⁻¹. Um dos fatores que pode ter contribuído para essa discrepância é a diferença dos resultados das análises da lagoa 1 (L1), sobretudo nas frações de 0-30 cm, conforme destacado em vermelho na tabela 10.

Tabela 10 - Valores discrepantes nas frações de 0-30 cm das amostras da lagoa 1.

L1S1-0030	30,00
L1S1-3065	142,20
MÉDIA LIS1	86,10
L1S2-0030	507,80
L1S2-3062	106,80
MÉDIA LIS2	307,30

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Há algumas possibilidades para explicar esta discrepância, entre elas pode-se citar alguma contaminação na amostra, seja no processo de coleta ou no manuseio no laboratório, porém, também há a possibilidade desta lagoa ser mais heterogênea em relação às

concentrações de MO.

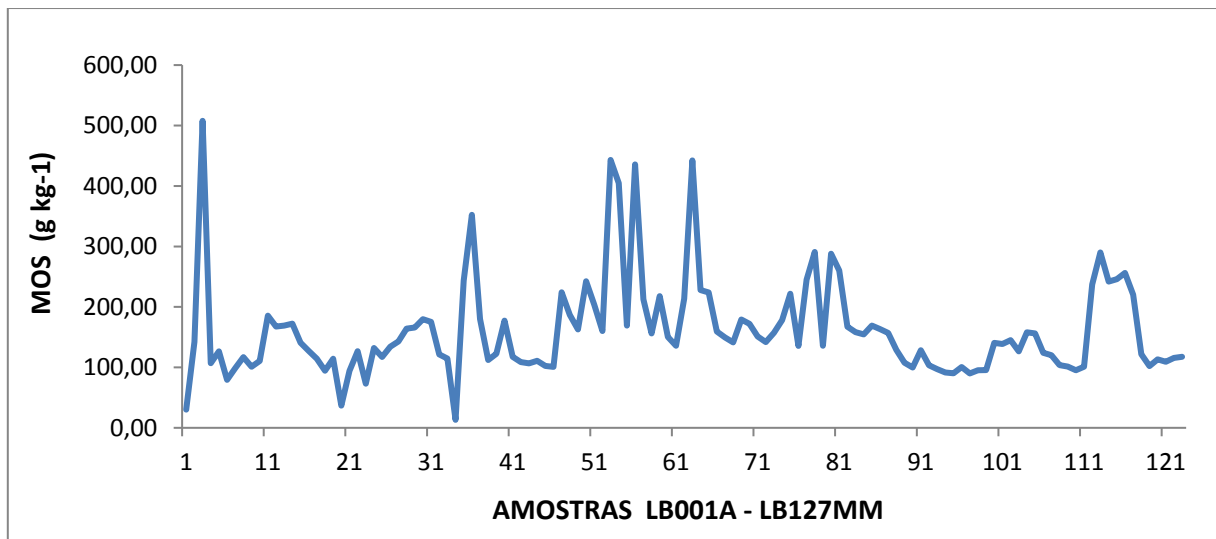
A partir dos resultados de todas as análises (Apêndice B), foi feito a plotagem dos mesmos e gerado a representação gráfica para avaliar o comportamento da concentração da MO das geocoberturas presentes nas lagoas marginais (FIGURA 35). A tabela 11 e o gráfico apresentado na figura 35 destacam os quatro maiores teores de MO que foram quantificados, bem como suas respectivas lagoas, pontos e profundidades amostradas.

Tabela 11 - Maiores teores pontuais de MO quantificados nas geocobertura das lagoas marginais.

Lagoa e ponto amostrado	Profundidade amostrada (cm)	Identificação da amostra do laboratório	MO (g kg ⁻¹)
L1S2	00 - 30	LB0003B	507,80
L12S1	00 - 30	LB0055U	443,20
L13S2	00 - 30	LB0067Y	442,24
L12S1A	00 - 30	LB0058V	435,60

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 35 - Representação gráfica dos valores de matéria orgânica das 123 amostras analisadas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Diante do exposto, com exceção do valor discrepante da amostra da lagoa 1, as demais foram as mesmas que apresentaram os quatro maiores de teores de carbono orgânico, ou seja, as lagoas 12 e 13, ambas na faixa de 0 – 30 cm de profundidade.

Por fim, finalizando a análise dos dados obtidos para matéria orgânica, foi calculada a média de cada lagoa separadamente a partir dos teores encontrados nas faixas de 0 – 30 cm, 30 – 60 cm e 60 – 100 cm, conforme demonstrado na tabela 12 e no gráfico

demonstrado na figura 36.

Conforme pode ser observado no gráfico (FIGURA 36), as 4 lagoas que apresentaram maiores teores médios de MO até 1 metro de profundidade foram a L13, L12, L20 e L15, tendo respectivamente os valores de 259,84; 258,38; 248,57 e 212,49 g kg⁻¹. Nota-se que são as mesmas lagoas que apresentaram os maiores teores médios para carbono orgânico.

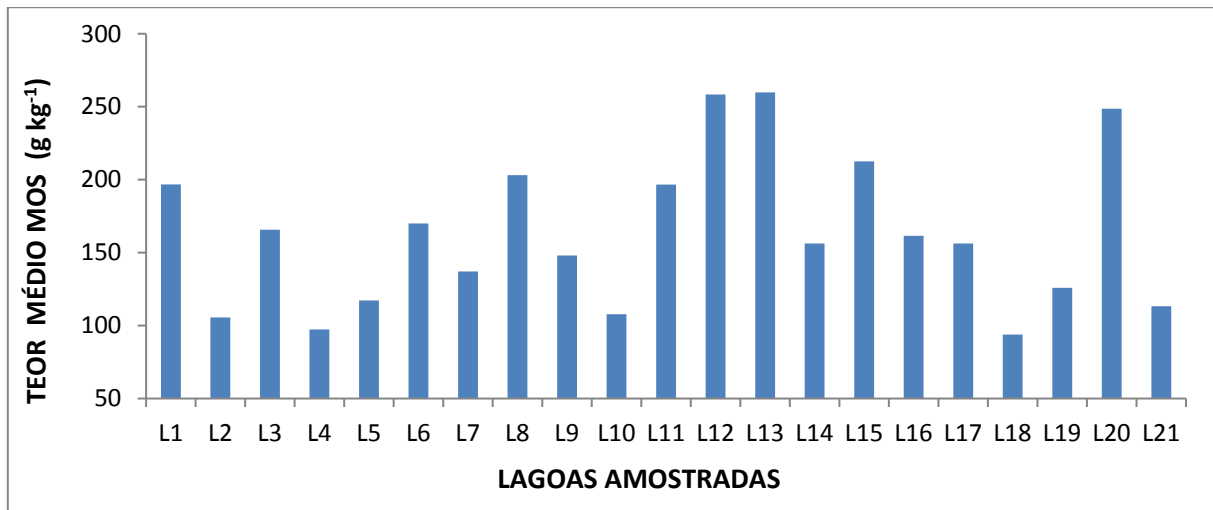
Tabela 12 - Valores médios de matéria orgânica até um metro de profundidade (amostra global) das lagoas marginais amostradas.

Lagoas amostradas	Concentração média MO (g kg⁻¹)
Lagoa 01	196,70
Lagoa 02	105,53
Lagoa 03	165,70
Lagoa 04	97,36
Lagoa 05	117,20
Lagoa 06	169,93
Lagoa 07	137,07
Lagoa 08	203,07
Lagoa 09	148,00
Lagoa 10	107,83
Lagoa 11	196,63
Lagoa 12	258,38
Lagoa 13	259,84
Lagoa 14	156,29
Lagoa 15	212,49
Lagoa 16	161,53
Lagoa 17	156,29
Lagoa 18	93,83
Lagoa 19	125,83
Lagoa 20	248,57
Lagoa 21	113,27

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

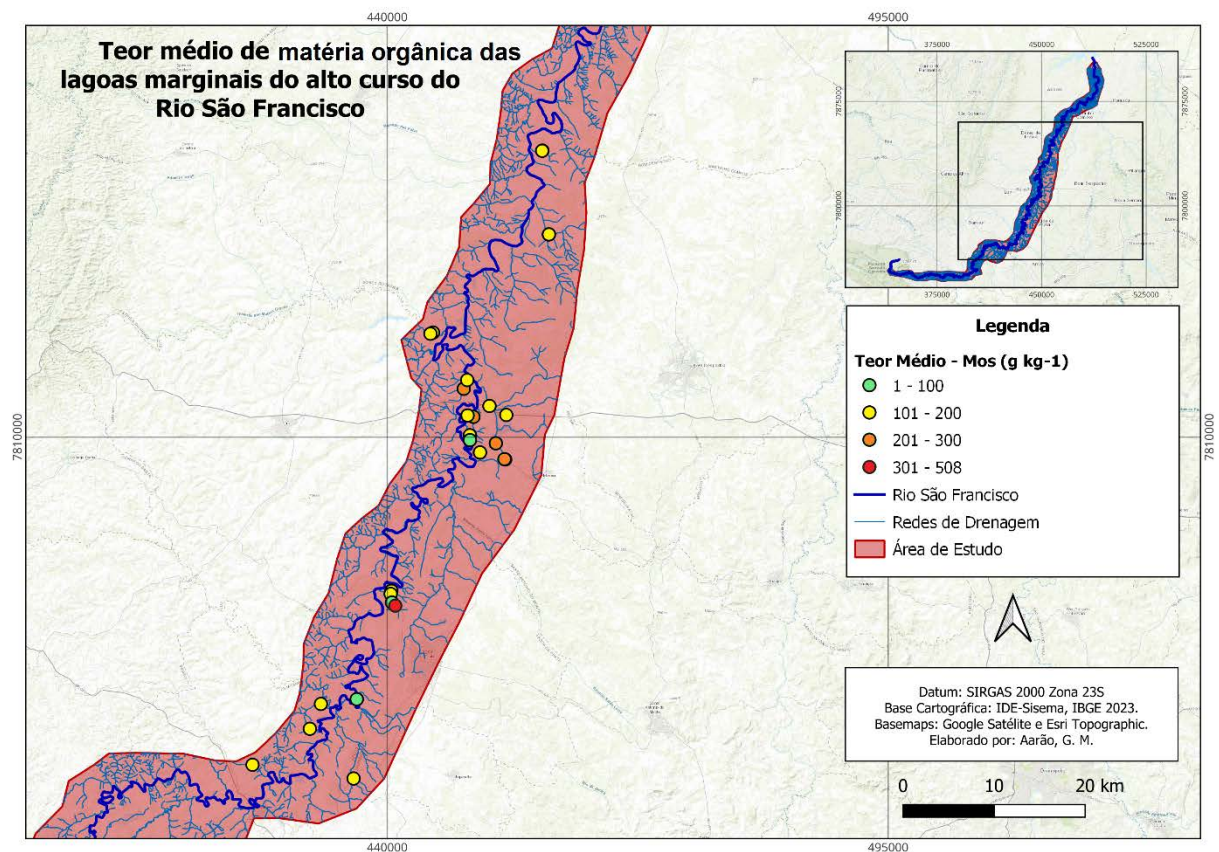
Por fim, a partir destas médias, foi possível produzir um mapa temático com o teor médio do carbono orgânico estocado até 1 metro de profundidade nas geocoberturas das lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco (FIGURA 37).

Figura 36 - Representação gráfica dos valores médios da matéria orgânica presente até um metro de profundidade (amostra global) das lagoas marginais amostradas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 37 - Mapa temático com o teor médio de matéria orgânica nas lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.3 Impactos ambientais

A partir das observações e registros fotográficos feitos em campo, foi constatado

que as áreas úmidas da região abordada no presente estudo estão sendo degradadas por várias atividades antrópicas, principalmente pela ação da agropecuária, alterando assim cada vez mais a quantidade e qualidade da água, além de realizar a remoção do solo e conseqüentemente promover a liberação de carbono que estava estocado.

Além de todos esses fatores citados, juntamente com o impacto visual, foi observado plantios de monoculturas dentro das áreas úmidas e foco de incêndios nas proximidades (FIGURA 38).

Foram visualizados muitos pontos com remoção da mata ciliar e do solo, provavelmente para posteriormente arar a terra (figuras 39 e 40).

Também em alguns trechos tem ocorrido a remoção do solo hidromórfico e drenagem das AU através do uso de manilha, visando formar regos para o gado, causando assim um aumento na taxa da evaporação da água (FIGURA 41).

Figura 38 - Plantio de monocultura dentro da área úmida, além de foco de incêndios próximo da AU.



Fonte: O autor. Data: 28/08/2022.

Figura 39 - Remoção da mata ciliar e do solo próximo a AU.



Fonte: O autor. Data: 28/08/2022.

Figura 40 - Remoção da mata ciliar e do solo próximo a AU.



Fonte: O autor. Data: 27/08/2022.

Figura 41 - Drenagem da AU através do uso de manilha.



Fonte: O autor. Data: 28/08/2022.

Além disso, vestígios de desmatamento também foram constatados (FIGURA 42 e 43). Também foi observada a presença de animais silvestres se alimentando ao entorno das AUs degradadas (figuras 44 e 45), evidenciando assim a importância destas para os mesmos como habitat e ressaltando mais um importante motivo para preservá-las.

Figura 42 - Vestígios de desmatamento.



Fonte: O autor. Data: 27/08/2022.

Figura 43 - Vestígios de desmatamento para corte ilegal de árvores.



Fonte: O autor. Data: 27/08/2022.

Figura 44 - Animais silvestres se alimentando nas AUs.



Fonte: O autor. Data: 27/08/2022.

Figura 45 - Animais silvestres se alimentando nas AUs.



Fonte: O autor. Data: 27/08/2022.

Diante do exposto, é válido ressaltar novamente a importância destas áreas se tornarem Unidades de Conservação, entretanto, é necessário haver uma parceria dos órgãos ambientais com a comunidade local responsável pelo uso tradicional, tais como ribeirinhos e pescadores, permitindo assim o uso sustentável das AUs e a preservação das mesmas.

A partir desta interação, é possível fomentar a continuidade das funções ecológicas vitais das AUs, concomitante com o respeito às comunidades locais que realizam o uso tradicional, as quais dependem das AUs para sua subsistência. Isso pode ser feito através de uma gestão participativa buscando envolver a comunidade local na gestão e conservação das AUs, juntamente com a elaboração e implementação de planos de manejo que conciliem a preservação ambiental com as práticas tradicionais, permitindo assim a coexistência de ambos.

5. CONCLUSÕES

As lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco apresentam diversidade em suas características, tais como extensão, rede de drenagem, cobertura vegetal, etc. Estas diferentes configurações podem contribuir para a variação dos teores de carbono orgânico e matéria orgânica que foram depositados nas geocoberturas das AUs no decorrer do tempo.

A partir dos dados obtidos, de forma geral constatou-se que de 100 % das amostras 67% destas possuem teor de carbono orgânico entre 1 a 20 g kg⁻¹. Embora a maior parte tenha apresentado teores menos elevados, houve lagoas com teores extremamente altos, chegando à 124,04 e 134,63 g kg⁻¹ de carbono armazenado na lagoa 13 (L13), ambos na faixa de 0-30 cm de profundidade. O mesmo ocorreu com a MO, obtendo valores de até 507,80 e 443,20 (g kg⁻¹) de matéria orgânica armazenados em geocoberturas das lagoas marginais, apresentando também valores mais elevados nas lagoas 12 e 13.

A observação da relação da profundidade da coleta e o teor de carbono e matéria orgânica são válidos ressaltar. Foi constatado que a maioria das amostras que apresentaram menores valores pontuais de carbono orgânico estava inserida em maiores profundidades, podendo isso ser devido a menor presença de matéria orgânica e maiores faixas arenosas e argilosas.

Entretanto, as amostras que apresentaram maiores valores de CO e MO estavam inseridas em menores profundidades, podendo isso ser decorrente da deposição e acúmulo mais recente de matéria orgânica proveniente de restos de plantas, animais, etc., os quais podem ser de origem autóctone produzido dentro da lagoa amostrada, ou de forma alóctone através dos pulsos de inundação do rio São Francisco, por meio do arraste de sedimentos, nutrientes e principalmente matéria orgânica.

Através da análise dos dados obtidos para carbono orgânico e matéria orgânica, foi calculada a média de cada lagoa separadamente, obtendo os valores das quatro lagoas que apresentaram maiores teores médios de CO e MO estocado até 1 metro de profundidade, as quais podem ser mais investigadas em pesquisas futuras, como por exemplo a realização de inventários mais detalhados sobre as principais lagoas, como a análise da emissão de gases como o CO² e CH⁴.

Nesse contexto, há a hipótese da lagoa 13 ter concentrações significativas de metano, pois durante o processo de incineração para determinação da MO ocorreu a combustão de suas amostras na faixa de 0-30 cm. É válido destacar que essa lagoa é a mesma que apresentou maior teor de carbono orgânico nos ensaios da via úmida, onde o ponto L13S2

na faixa de 0-30 cm obteve o valor máximo de 134,63 g de C org (g kg^{-1}).

Através da observação realizada nos trechos percorridos em campo, foi constatado que as áreas úmidas da região abordada no presente estudo estão sendo degradadas por várias atividades antrópicas, principalmente pela ação da agropecuária, alterando assim cada vez mais a quantidade e qualidade da água, impactando o equilíbrio da fauna e flora, além da remoção do solo e conseqüentemente a liberação de carbono que estava estocado.

Além disso, muitas destas AUs ainda não foram mapeadas e reconhecidas pela ciência, sendo assim, é necessária mobilização por parte dos comitês de bacias hidrográficas, sobretudo a do São Francisco, juntamente com órgãos ambientais e a comunidade acadêmica para que essas AUs sejam preservadas e que a região que elas estão inseridas se torne unidade de conservação.

Segundo a legislação ambiental brasileira, as áreas úmidas são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP), pois a Lei nº 12.651/2012 do Código Florestal estabelece que além das áreas ao redor de rios, lagos e nascentes, AUs como manguezais, veredas e pântanos também devem ser protegidas como APP.

Desta forma, devido à sua importância ambiental, juridicamente as AUs estão sujeitas a restrições quanto ao uso e ocupação, sendo prioritário manter sua integridade e preservação. Porém, conforme visto em campo, fica nítido a falta de fiscalização e desrespeito com a legislação vigente, comprometendo a preservação destes biomas.

Portanto, a partir do presente trabalho, espera-se que possa contribuir com futuras investigações sobre a relação do carbono orgânico, matéria orgânica e os GEE estocados nas geocoberturas das lagoas marginais do alto curso do rio São Francisco, e que as pesquisas continuem, tendo maiores extensões amostradas, obtendo estimativas mais precisas da quantidade de carbono estocado superficialmente nestas áreas, permitindo assim uma melhor avaliação da sua distribuição e variabilidade lateral e longitudinalmente no alto curso do rio São Francisco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AARÃO, G. M.; OLIVEIRA, D. A.; ARAÚJO, R. R. S.; SILVA, N. J. **Ocorrência de pulsos de inundação no alto curso do rio São Francisco: Análise do Nível do Rio de 1977 a 2015.** *In: SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. 3.*, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte (MG), Online, 2020. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/iisbhsf/291216-ocorrencia-de-pulsos-de-inundacao-no-alto-curso-do-rio-sao-francisco--analise-do-nivel-do-rio-de-1977-a-2015/>>. Acesso em 6 mar. 2023.
- AARÃO, G. M.; OLIVEIRA, D. A.; RIBEIRO, E. V. **Desafios e aprendizados de uma iniciação científica na geografia física durante e após a pandemia da Covid-19.** *In: PLANETA IFMG: X SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFMG. 2.*, 2022. Anais... IFMG, Online, 2022a. Disponível em: <https://sistemas.bambui.ifmg.edu.br/open_conference/index.php/sic/sic2022/paper/view/638>. Acesso em 6 mar. 2023.
- AARÃO, G. M.; OLIVEIRA, D. A.; RIBEIRO, E. V. **Levantamentos de impactos ambientais em áreas úmidas no alto curso do rio São Francisco.** *In: SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. 4.*, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte (MG), Online, 2022b. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/ivsbsf/503697-levantamento-de-impactos-ambientais-em-areas-umidas-no-alto-curso-do-rio-sao-francisco/>>. Acesso em 10 abr. 2023.
- ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: De Nimer (1977) à zona de convergência do atlântico sul. **Geonomos**, Belo Horizonte, 1998, v. 6, n. 2, p. 17- 22.
- ARAÚJO, R. R. S.; SILVA, N. J.; OLIVEIRA, D. A.; AARÃO, G. M. **Mapeamento preliminar da ocorrência das lagoas marginais alto curso do rio São Francisco.** *In: SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. 3.*, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte (MG), Online, 2020. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/iisbhsf/291139-mapeamento-preliminar-da-ocorrencia-das-lagoas-marginais-do-alto-curso-do-rio-sao-francisco/>>. Acesso em 3 jul. 2023.
- ARAÚJO, R. R. S.; OLIVEIRA, D. A.; RIBEIRO, E. V. Análise geomorfológica da ocorrência de lagoas marginais no alto curso do rio São Francisco. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 32, n. 71. 2022.
- AUGUSTIN, C. H. R. R.; MELO, D. R.; ARANHA, P. R. A. Aspectos geomorfológicos de veredas: um ecossistema do bioma do cerrado, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 10, nº 1, 2009.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos.** 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898 p.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 790 p.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações**

Unidas sobre Mudança do Clima / Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. 620 p.: iL.

CARVALHO, J. L. N.; ALVES, B. J. R. **Estoque de carbono no solo em sistemas agroflorestais.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 1, p. 335-345, 2008.

COSTA, F. S. et al. **Carbono orgânico e fertilidade do solo em sistemas agroflorestais.** *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 8, n. 2, p. 17-27, 2013.

CUNHA, T. J. F.; COUTO, W. H.; MENDONÇA, E. S. **Aumento do estoque de carbono no solo por meio de práticas conservacionistas.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 5, p. 715-722, 2007.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação e Perícia Ambiental.** 2009. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats.** Cuiabá, MT, EdUFMT – Universidade Federal do Mato Grosso, 2015. 165 p.

CUSTÓDIO, M., M. Conferência apresentada junto ao grupo de estudos de incêndios florestais da universidade de Valladolid., 1., 2006, Valladolid, Espanha. **Incêndios florestais no Brasil [...].** Valladolid, Espanha: [s. n.], 2006. 13 p. v. 1. Disponível em: <<https://revistas.newtonpaiva.br/redcunp/wp-content/uploads/2020/05/PDF-D14-09.pdf>> Acesso em 9 ago. 2023

DANTAS, M. E.; COELHO NETTO, A. L. Resultantes geo-hidroecológicas do ciclo cafeeiro (1780-1880) no médio vale do rio paraíba do sul: Uma análise quali-quantitativa. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 19, p. 61–78, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2002.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. Brasília: EMBRAPA SOLOS, 2017.

FAGERIA, N. K. **The use of nutrients in crop plants.** CRC Press, 2009.

GORHAN, E. Northern peatlands: Role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. **Ecological Applications**, v. 1, n. 2, 1991 p. 182-195.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Pedologia.** Rio de Janeiro: IBGE, 2 Ed., 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Monitoramento dos focos ativos por países.** Disponível em: <http://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas_paises/>. Acesso em 22 ago. 2023.

IPCC. (2022). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II contribution of to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel**

on **Climate Change**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>>. Acesso em 8 mar. 2022.

JUNK, W.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. **The flood pulse concept in River-floodplains System**. Can. J. Fish. Aquat. Sci., n. 106, p. 110-127, 1989.

KIRK, G. **The Biogeochemistry of Submerged Soils**. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.

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.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática Global. **Quim. Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MACHADO, H.M. **Comportamento do carbono orgânico em área úmida do cerrado: Estudo de caso em uma área úmida do Córrego Beija-Flor**. 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2014.

MARTINS, T. I. S. **Mapeamento geomorfológico da filha Piumhi, Minas Gerais**. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

MEDEIROS, Sófocles Borba de. **Química Ambiental**. 3 ed. Revista e ampliada. Recife, 2005. 122 p. ilustr.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 208 p.

NAZAR, T. I. S. M. **O chapadão do diamante na serra da Canastra/MG, Brasil: caracterização geomorfológica e análise integrada do meio físico a partir de dados multifontes**. 2018. 270 f. Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

MINAS GERAIS. Secretaria de Minas e Energia. **Projeto São Francisco: Província mineral Bambuí (MG)**. Belo Horizonte, 1999.

NOBRE, C. A.; GILVAN, Sampaio; LUIS, Salazar. Mudanças climáticas e Amazônia. **Mudanças climáticas artigos**. Ciência e Cultura, v. vol.59, n. 3, p. 22-27, 3 set. 2007.

NOBRE, Carlos A.; REID, Julia; VEIGA, Ana Paula Soares. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012. 44 p.

OLIVEIRA, C., ARAÚJO, A. P., MAZUR, N., **Fundamentos da ciência do solo IA 321**. 2 Ed. UFRRJ, Seropédica, 2002.

OLIVEIRA, Rafaela Di Fonzo. **Mudanças climáticas: globais no estado de São Paulo**. São Paulo: SMA - Secretaria do Meio Ambiente, 2014.

OLIVEIRA, D. A. **Wetland como unidade hidrogeomorfológica na transição entre o**

cerrado e o semiárido mineiro: análise da dinâmica do pantanal da bacia de drenagem do rio Pandeiros – MG. 2019. 344 f. Tese (Doutorado) – Curso de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

OLIVEIRA, D. A. **Mapeamento das áreas úmidas do alto curso do rio São Francisco: inventário, análise das lagoas marginais e avaliação da sua contribuição social e ambiental para o desenvolvimento sustentável.** 2020. 26 f. Projeto de pesquisa – Instituto Federal de Minas Gerais, Ouro Preto, 2020.

PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S.; ANJOS, L. H. C. dos; BENITES, V. de M.; ESPÍNDULA JUNIOR, A.; EBELING, A. G. Organic carbon determination in Histosols and soil horizons with high organic matter content from Brazil. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 187-193, mar./abr. 2006.

RESENDE, T. M. **Conversão de uso e potencial de estoque do carbono nos diferentes usos de solo e cobertura vegetal na bacia do Ribeirão Bom Jardim no Triângulo Mineiro (MG).** 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SCOTT, D.A.; JONES, T.A. (1995). Classification and inventory of wetlands: A global overview. **Vegetatio**, **118**: 3-16.

SIQUEIRA, M. D.; VIEIRA, T. F. S.; CORINGA, E. A. O. **Estoque e carbono orgânico associado às frações granulométricas de solos do Pantanal.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., Natal, 2015. *Anais...* Natal: CBCS, 2015.

TRINDADE, W. M. **Lagoas marginais do alto-médio curso do rio São Francisco: dinâmica hidrogeomorfológica, geocronologia e impactos ambientais.** 2016. 144 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, Jan. 1934.

XAVIER, M. E. R.; KERR, A. S. Análise do efeito estufa em textos para didáticos periódicos jornalísticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, SP: Instituto de Física/USP, v. 21, n. 3, p. 325-349, dez. 2004.

**APÊNDICE A - Cálculos e resultados das análises de carbono orgânico nas
geocoberturas amostradas.**

Lagoa e faixa amostrada (cm)	Const.	Vd	Va	40 - Va	Vb	(40 / Vb)	(40 / Vb) x 10	m	C. org (g kg⁻¹)
L1S1: 00-30	0,003	10	29,4	10,6	39,2	1,0204	10,2041	0,25	12,98
L1S1: 30-65	0,003	10	35,3	4,7	39,2	1,0204	10,2041	0,25	5,76
L1S2: 00-30	0,003	10	35	5	39,2	1,0204	10,2041	0,25	6,12
L1S2: 30-62	0,003	10	31,9	8,1	39,2	1,0204	10,2041	0,25	9,92
L2S1: 00-30	0,003	10	29,9	10,1	39,2	1,0204	10,2041	0,25	12,37
L2S1: 30-60	0,003	10	36,2	3,8	39,2	1,0204	10,2041	0,25	4,65
L2S1: 60-87	0,003	10	35,4	4,6	39,2	1,0204	10,2041	0,25	5,63
L2S2: 00-30	0,003	10	18,3	21,7	39,2	1,0204	10,2041	0,25	26,57
L2S2: 30-60	0,003	10	23,8	16,2	39,2	1,0204	10,2041	0,25	19,84
L2S2: 60-77	0,003	10	24,9	15,1	39,2	1,0204	10,2041	0,25	18,49
L3S1: 00-23	0,003	30	36,6	3,4	44,1	0,9070	9,0703	0,25	11,10
L3S1: 38-70	Quantidade de amostra insuficiente								
L3S2: 00-30	0,003	10	26,1	13,9	39,2	1,0204	10,2041	0,25	17,02
L3S2: 30-60	0,003	10	25,5	14,5	39,2	1,0204	10,2041	0,25	17,76
L3S2: 60-77	0,003	10	35	5	39,2	1,0204	10,2041	0,25	6,12
L4S1: 00-30	0,003	10	36,3	3,7	38,8	1,0309	10,3093	0,25	4,58
L4S1: 30-60	0,003	10	29,5	10,5	38,8	1,0309	10,3093	0,25	12,99
L4S1: 60-90	0,003	10	33,2	6,8	38,8	1,0309	10,3093	0,25	8,41
L4S2: 00-30	0,003	10	23,8	16,2	38,8	1,0309	10,3093	0,25	20,04
L4S2: 30-60	0,003	10	30	10	38,8	1,0309	10,3093	0,25	12,37
L4S2: 60-101	0,003	10	35,6	4,4	38,8	1,0309	10,3093	0,25	5,44
L5S1: 00-30	0,003	10	31,8	8,2	38,8	1,0309	10,3093	0,25	10,14

L5S1: 30-60	0,003	10	34,5	5,5	38,8	1,0309	10,3093	0,25	6,80
L5S1: 60-101	0,003	10	33,9	6,1	38,8	1,0309	10,3093	0,25	7,55
L5S2: 00-24	0,003	10	31,6	8,4	38,8	1,0309	10,3093	0,25	10,39
L5S2: 24-101	0,003	10	34	6	38,8	1,0309	10,3093	0,25	7,42
L5S3: 30-60	0,003	10	35,8	4,2	38,8	1,0309	10,3093	0,25	5,20
L5S3: 60-90	0,003	10	34,6	5,4	38,8	1,0309	10,3093	0,25	6,68
L5S3: 90-120	0,003	10	36,6	3,4	44,1	0,9070	9,0703	0,25	3,70
L6S1: 00-30	0,003	20	34,4	5,6	38,8	1,0309	10,3093	0,25	13,86
L6S1: 30-60	0,003	20	27	13	38,8	1,0309	10,3093	0,25	32,16
L6S1: 60-88	0,003	10	31,2	8,8	38,8	1,0309	10,3093	0,25	10,89
L7S1: 00-30	0,003	30	35	5	44,1	0,9070	9,0703	0,25	16,33
L7S1: 30-60	0,003	10	31,1	8,9	38,8	1,0309	10,3093	0,25	11,01
L7S1: 60-97	0,003	10	35	5	38,7	1,0336	10,3359	0,25	6,20
L8S1: 00-30	0,003	10	28,8	11,2	39,3	1,0178	10,1781	0,25	13,68
L8S1: 30-60	0,003	10	31	9	39,3	1,0178	10,1781	0,25	10,99
L8S1: 60-88	0,003	10	33	7	39,3	1,0178	10,1781	0,25	8,55
L9S1: 00-30	0,003	20	33,2	6,8	44,1	0,9070	9,0703	0,25	14,80
L9S1: 30-62	0,003	10	32,8	7,2	38,7	1,0336	10,3359	0,25	8,93
L9S2: 00-30	0,003	10	31,4	8,6	38,7	1,0336	10,3359	0,25	10,67
L9S2: 30-52	0,003	20	30,1	9,9	38,7	1,0336	10,3359	0,25	24,56
L10S1: 00-30	0,003	20	33,4	6,6	38,7	1,0336	10,3359	0,25	16,37
L10S1: 30-60	0,003	10	32,1	7,9	38,7	1,0336	10,3359	0,25	9,80
L10S1: 60-92	0,003	10	35,8	4,2	38,7	1,0336	10,3359	0,25	5,21
L10S2: 00-30	0,003	10	29,6	10,4	38,7	1,0336	10,3359	0,25	12,90
L10S2: 30-60	0,003	10	33,1	6,9	38,7	1,0336	10,3359	0,25	8,56

L10S2: 60-94	0,003	10	34,8	5,2	38,7	1,0336	10,3359	0,25	6,45
L11S1: 00-30	0,003	30	27,5	12,5	38,7	1,0336	10,3359	0,25	46,51
L11S1: 30-60	0,003	20	31,2	8,8	38,7	1,0336	10,3359	0,25	21,83
L11S1: 60-89	0,003	10	31	9	38,7	1,0336	10,3359	0,25	11,16
L11S2: 00-30	0,003	30	25,1	14,9	38,7	1,0336	10,3359	0,25	55,44
L11S2: 30-60	0,003	20	32,2	7,8	44,1	0,9070	9,0703	0,25	16,98
L11S2: 60-86	0,003	10	36,7	3,3	44,5	0,8989	8,9888	0,25	3,56
L12S1: 00-30	0,003	50	21,5	18,5	44,5	0,8989	8,9888	0,25	99,78
L12S1: 30-60	0,003	50	20,2	19,8	44,5	0,8989	8,9888	0,25	106,79
L12S1: 60-88	0,003	20	35	5	44,5	0,8989	8,9888	0,25	10,79
L12S1A: 00-30	0,003	50	20,4	19,6	44,5	0,8989	8,9888	0,25	105,71
L12S1A: 30-60	0,003	20	26,1	13,9	44,5	0,8989	8,9888	0,25	29,99
L12S1A: 60-95	0,003	10	29,2	10,8	44,5	0,8989	8,9888	0,25	11,65
L12S2: 00-30	0,003	30	31,2	8,8	44,5	0,8989	8,9888	0,25	28,48
L12S2: 30-60	0,003	10	35,5	4,5	44,5	0,8989	8,9888	0,25	4,85
L12S2: 60-78	0,003	10	38,3	1,7	44,5	0,8989	8,9888	0,25	1,83
L13S1: 00-30	0,003	50	17	23	44,5	0,8989	8,9888	0,25	124,04
L13S1: 30-60	0,003	40	30,2	9,8	41	0,9756	9,7561	0,25	45,89
L13S1: 60-92	0,003	30	32,5	7,5	41	0,9756	9,7561	0,25	26,34
L13S2: 00-30	0,003	50	17	23	41	0,9756	9,7561	0,25	134,63
L13S2: 30-60	0,003	30	25,5	14,5	41	0,9756	9,7561	0,25	50,93
L13S2: 60-85	0,003	40	29,8	10,2	41	0,9756	9,7561	0,25	47,77
L14S1: 00-30	0,003	20	31,5	8,5	41	0,9756	9,7561	0,25	19,90
L14S1: 30-60	0,003	20	35,2	4,8	41	0,9756	9,7561	0,25	11,24
L14S1: 60-82	0,003	10	33,4	6,6	41	0,9756	9,7561	0,25	7,73

L14S2: 00-30	0,003	20	32,9	7,1	41	0,9756	9,7561	0,25	16,62
L14S2: 30-60	0,003	20	32,4	7,6	41	0,9756	9,7561	0,25	17,80
L14S2: 60-90	0,003	10	31,6	8,4	41	0,9756	9,7561	0,25	9,83
L14S2: 90-94	0,003	10	33,9	6,1	41	0,9756	9,7561	0,25	7,14
L15S1: 00-30	0,003	20	33,2	6,8	41	0,9756	9,7561	0,25	15,92
L15S1: 30-60	0,003	20	25,6	14,4	39,3	1,0178	10,1781	0,25	35,18
L15S1: 60-88	0,003	50	31,2	8,8	41	0,9756	9,7561	0,25	51,51
L15S1B: 00-30	0,003	20	30,3	9,7	41	0,9756	9,7561	0,25	22,71
L15S1B: 30-60	0,003	50	30,8	9,2	41	0,9756	9,7561	0,25	53,85
L15S1B: 60-96	0,003	50	24,5	15,5	41	0,9756	9,7561	0,25	90,73
L15S2: 00-30	0,003	20	30,3	9,7	38,1	1,0499	10,4987	0,25	24,44
L15S2: 30-60	0,003	50	25,2	14,8	38,1	1,0499	10,4987	0,25	93,23
L15S2: 60-86	0,003	50	26,8	13,2	38,1	1,0499	10,4987	0,25	83,15
L16S1: 00-30	0,003	40	31,2	8,8	38,1	1,0499	10,4987	0,25	44,35
L16S1: 30-60	0,003	30	29,5	10,5	38,1	1,0499	10,4987	0,25	39,69
L16S1: 60-94	0,003	30	29,8	10,2	38,1	1,0499	10,4987	0,25	38,55
L16S2: 00-30	0,003	30	31,3	8,7	38,1	1,0499	10,4987	0,25	32,88
L16S2: 30-60	0,003	30	30,5	9,5	38,1	1,0499	10,4987	0,25	35,91
L16S2: 60-92	0,003	30	31	9	38,1	1,0499	10,4987	0,25	34,02
L17S1: 00-30	0,003	20	32,4	7,6	38,1	1,0499	10,4987	0,25	19,15
L17S1: 30-60	0,003	10	28,5	11,5	38,1	1,0499	10,4987	0,25	14,49
L17S1: 60-84	0,003	10	27	13	38,1	1,0499	10,4987	0,25	16,38
L17S2: 00-30	0,003	20	31,1	8,9	38,1	1,0499	10,4987	0,25	22,43
L17S2: 30-60	0,003	10	30,5	9,5	38,1	1,0499	10,4987	0,25	11,97
L17S2: 60-87	0,003	10	29,5	10,5	38,1	1,0499	10,4987	0,25	13,23

L18S1: 00-30	0,003	10	30,8	9,2	38,1	1,0499	10,4987	0,25	11,59
L18S1: 30-60	0,003	10	32,9	7,1	38,1	1,0499	10,4987	0,25	8,94
L18S1: 60-92	0,003	10	33,6	6,4	38,1	1,0499	10,4987	0,25	8,06
L18S2: 00-30	0,003	10	31,4	8,6	38,1	1,0499	10,4987	0,25	10,83
L18S2: 30-60	0,003	10	33,5	6,5	38,1	1,0499	10,4987	0,25	8,19
L18S2: 60-94	0,003	10	33,7	6,3	38,1	1,0499	10,4987	0,25	7,94
L19S1: 00-20	0,003	20	30,4	9,6	38,1	1,0499	10,4987	0,25	24,19
L19S1: 20-25	0,003	20	31,6	8,4	38,1	1,0499	10,4987	0,25	21,17
L19S1: 25-30	0,003	20	30,6	9,4	38,1	1,0499	10,4987	0,25	23,69
L19S1: 30-35	0,003	20	33,7	6,3	38,1	1,0499	10,4987	0,25	15,87
L19S1: 35-38	0,003	20	29,2	10,8	38,1	1,0499	10,4987	0,25	27,21
L19S1: 38-48	0,003	30	35,7	4,3	39,5	1,0127	10,1266	0,25	15,68
L19S1: 48-58	0,003	10	26,5	13,5	39,5	1,0127	10,1266	0,25	16,41
L19S1: 58-60	0,003	10	26,6	13,4	39,5	1,0127	10,1266	0,25	16,28
L19S1: 60-69	0,003	10	29,9	10,1	39,5	1,0127	10,1266	0,25	12,27
L19S1: 69-77	0,003	10	29	11	39,5	1,0127	10,1266	0,25	13,37
L19S1: 77-79	0,003	10	30,4	9,6	39,5	1,0127	10,1266	0,25	11,67
L19S1: 79-90	0,003	10	29,2	10,8	39,5	1,0127	10,1266	0,25	13,12
L20S1: 00-30	0,003	40	27,6	12,4	39,5	1,0127	10,1266	0,25	60,27
L20S1: 30-60	0,003	50	25,8	14,2	39,5	1,0127	10,1266	0,25	86,28
L20S1: 60-100	0,003	30	26	14	39,5	1,0127	10,1266	0,25	51,04
L20S2: 00-30	0,003	30	26	14	39,5	1,0127	10,1266	0,25	51,04
L20S2: 30-60	0,003	40	25,8	14,2	39,5	1,0127	10,1266	0,25	69,02
L20S2: 60-99	0,003	30	29	11	39,5	1,0127	10,1266	0,25	40,10
L21S1: 00-30	0,003	10	32,9	7,1	44,1	0,9070	9,0703	0,25	7,73

L21S1: 30-60	0,003	10	34,0	6	39,3	1,0178	10,1781	0,25	7,33
L21S1: 60-97	0,003	10	35,6	4,4	39,3	1,0178	10,1781	0,25	5,37
L21S2: 00-30	0,003	10	32,7	7,3	39,3	1,0178	10,1781	0,25	8,92
L21S2: 30-60	0,003	10	34,6	5,4	39,3	1,0178	10,1781	0,25	6,60
L21S2: 60-99	0,003	10	35,0	5	39,3	1,0178	10,1781	0,25	6,11

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

**APÊNDICE B – Cálculos e resultados das análises de matéria orgânica nas
geocoberturas amostradas.**

Lagoa e faixa amostrada	Ms (5 g)	Mr	Ms - Mr	/Ms (5g)	MOS (g kg⁻¹)
L1S1: 00-30	5	4,85	0,15	0,03	30,00
L1S1: 30-65	5	4,289	0,711	0,1422	142,20
L1S2: 00-30	5	2,461	2,539	0,5078	507,80
L1S2: 30-62	5	4,466	0,534	0,1068	106,80
L2S1: 00-30	5	4,367	0,633	0,1266	126,60
L2S1: 30-60	5	4,603	0,397	0,0794	79,40
L2S1: 60-87	5	4,507	0,493	0,0986	98,60
L2S2: 00-30	5	4,415	0,585	0,117	117,00
L2S2: 30-60	5	4,495	0,505	0,101	101,00
L2S2: 60-77	5	4,447	0,553	0,1106	110,60
L3S1: 00-23	5	4,072	0,928	0,1856	185,60
L3S1: 38-70	5	4,163	0,837	0,1674	167,40
L3S2: 00-30	5	4,155	0,845	0,169	169,00
L3S2: 30-60	5	4,138	0,862	0,1724	172,40
L3S2: 60-77	5	4,296	0,704	0,1408	140,80
L4S1: 00-30	5	4,363	0,637	0,1274	127,40
L4S1: 30-60	5	4,429	0,571	0,1142	114,20
L4S1: 60-90	5	4,528	0,472	0,0944	94,40
L4S2: 00-30	Quantidade de amostra insuficiente				
L4S2: 30-60	5	4,429	0,571	0,1142	114,20
L4S2: 60-101	5	4,817	0,183	0,0366	36,60
L5S1: 00-30	Quantidade de amostra insuficiente				
L5S1: 30-60	5	4,529	0,471	0,0942	94,20

L5S1: 60-101	5	4,366	0,634	0,1268	126,80
L5S2: 00-24	5	4,635	0,365	0,073	73,00
L5S2: 24-101	5	4,34	0,66	0,132	132,00
L5S3: 30-60	5	4,414	0,586	0,1172	117,20
L5S3: 60-90	5	4,329	0,671	0,1342	134,20
L5S3: 90-120	5	4,285	0,715	0,143	143,00
L6S1: 00-30	5	4,179	0,821	0,1642	164,20
L6S1: 30-60	5	4,17	0,83	0,166	166,00
L6S1: 60-88	5	4,102	0,898	0,1796	179,60
L7S1: 00-30	5	4,124	0,876	0,1752	175,20
L7S1: 30-60	5	4,393	0,607	0,1214	121,40
L7S1: 60-97	5	4,427	0,573	0,1146	114,60
L8S1: 00-30	5	4,934	0,066	0,0132	13,20
L8S1: 30-60	5	3,781	1,219	0,2438	243,80
L8S1: 60-88	5	3,239	1,761	0,3522	352,20
L9S1: 00-30	5	4,1	0,9	0,18	180,00
L9S1: 30-62	5	4,439	0,561	0,1122	112,20
L9S2: 00-30	5	4,387	0,613	0,1226	122,60
L9S2: 30-52	5	4,114	0,886	0,1772	177,20
L10S1: 00-30	5	4,412	0,588	0,1176	117,60
L10S1: 30-60	5	4,456	0,544	0,1088	108,80
L10S1: 60-92	5	4,467	0,533	0,1066	106,60
L10S2: 00-30	5	4,446	0,554	0,1108	110,80
L10S2: 30-60	5	4,488	0,512	0,1024	102,40
L10S2: 60-94	5	4,496	0,504	0,1008	100,80

L11S1: 00-30	5	3,879	1,121	0,2242	224,20
L11S1: 30-60	5	4,066	0,934	0,1868	186,80
L11S1: 60-89	5	4,186	0,814	0,1628	162,80
L11S2: 00-30	5	3,788	1,212	0,2424	242,40
L11S2: 30-60	5	3,983	1,017	0,2034	203,40
L11S2: 60-86	5	4,199	0,801	0,1602	160,20
L12S1: 00-30	5	2,784	2,216	0,4432	443,20
L12S1: 30-60	5	2,976	2,024	0,4048	404,80
L12S1: 60-88	5	4,154	0,846	0,1692	169,20
L12S1A: 00-30	5	2,822	2,178	0,4356	435,60
L12S1A: 30-60	5	3,937	1,063	0,2126	212,60
L12S1A: 60-95	5	4,22	0,78	0,156	156,00
L12S2: 00-30	5	3,911	1,089	0,2178	217,80
L12S2: 30-60	5	4,248	0,752	0,1504	150,40
L12S2: 60-78	5	4,321	0,679	0,1358	135,80
L13S1: 00-30	Combustão				
L13S1: 30-60	Combustão				
L13S1: 60-92	5	3,932	1,068	0,2136	213,60
L13S2: 00-30	1,0422	0,5813	0,4609	0,44224	442,24
L13S2: 30-60	5	3,861	1,139	0,2278	227,80
L13S2: 60-85	5	3,881	1,119	0,2238	223,80
L14S1: 00-30	5	4,204	0,796	0,1592	159,20
L14S1: 30-60	5	4,253	0,747	0,1494	149,40
L14S1: 60-82	5	4,293	0,707	0,1414	141,40
L14S2: 00-30	5	4,104	0,896	0,1792	179,20

L14S2: 30-60	5	4,14	0,86	0,172	172,00
L14S2: 60-90	5	4,245	0,755	0,151	151,00
L14S2: 90-94	5	4,291	0,709	0,1418	141,80
L15S1: 00-30	5	4,214	0,786	0,1572	157,20
L15S1: 30-60	5	4,109	0,891	0,1782	178,20
L15S1: 60-88	5	3,891	1,109	0,2218	221,80
L15S1B: 00-30	5	4,323	0,677	0,1354	135,40
L15S1B: 30-60	5	3,775	1,225	0,245	245,00
L15S1B: 60-96	5	3,546	1,454	0,2908	290,80
L15S2: 00-30	5	4,321	0,679	0,1358	135,80
L15S2: 30-60	5	3,56	1,44	0,288	288,00
L15S2: 60-86	5	3,699	1,301	0,2602	260,20
L16S1: 00-30	5	4,164	0,836	0,1672	167,20
L16S1: 30-60	5	4,209	0,791	0,1582	158,20
L16S1: 60-94	5	4,227	0,773	0,1546	154,60
L16S2: 00-30	5	4,155	0,845	0,169	169,00
L16S2: 30-60	5	4,183	0,817	0,1634	163,40
L16S2: 60-92	5	4,216	0,784	0,1568	156,80
L17S1: 00-30	5	4,356	0,644	0,1288	128,80
L17S1: 30-60	5	4,461	0,539	0,1078	107,80
L17S1: 60-84	5	4,501	0,499	0,0998	99,80
L17S2: 00-30	5	4,359	0,641	0,1282	128,20
L17S2: 30-60	5	4,483	0,517	0,1034	103,40
L17S2: 60-87	5	4,515	0,485	0,097	97,00
L18S1: 00-30	5	4,543	0,457	0,0914	91,40

L18S1: 30-60	5	4,549	0,451	0,0902	90,20
L18S1: 60-92	5	4,497	0,503	0,1006	100,60
L18S2: 00-30	5	4,55	0,45	0,09	90,00
L18S2: 30-60	5	4,524	0,476	0,0952	95,20
L18S2: 60-94	5	4,522	0,478	0,0956	95,60
L19S1: 00-20	5	4,298	0,702	0,1404	140,40
L19S1: 20-25	5	4,307	0,693	0,1386	138,60
L19S1: 25-30	5	4,275	0,725	0,145	145,00
L19S1: 30-35	5	4,368	0,632	0,1264	126,40
L19S1: 35-38	5	4,21	0,79	0,158	158,00
L19S1: 38-48	5	4,219	0,781	0,1562	156,20
L19S1: 48-58	5	4,38	0,62	0,124	124,00
L19S1: 58-60	5	4,399	0,601	0,1202	120,20
L19S1: 60-69	5	4,481	0,519	0,1038	103,80
L19S1: 69-77	5	4,494	0,506	0,1012	101,20
L19S1: 77-79	5	4,524	0,476	0,0952	95,20
L19S1: 79-90	5	4,495	0,505	0,101	101,00
L20S1: 00-30	5	3,814	1,186	0,2372	237,20
L20S1: 30-60	5	3,55	1,45	0,29	290,00
L20S1: 60-100	5	3,79	1,21	0,242	242,00
L20S2: 00-30	5	3,771	1,229	0,2458	245,80
L20S2: 30-60	5	3,719	1,281	0,2562	256,20
L20S2: 60-99	5	3,899	1,101	0,2202	220,20
L21S1: 00-30	5	4,392	0,608	0,1216	121,60
L21S1: 30-60	5	4,489	0,511	0,1022	102,20

L21S1: 60-97	5	4,434	0,566	0,1132	113,20
L21S2: 00-30	5	4,453	0,547	0,1094	109,40
L21S2: 30-60	5	4,422	0,578	0,1156	115,60
L21S2: 60-99	5	4,412	0,588	0,1176	117,60

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.