

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Augusto Alves Bolson

**AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO EM FUNÇÃO DO  
USO DO SOLO NO BIOMA PAMPA**

Santa Maria, RS

2023

**Augusto Alves Bolson**

**AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO EM FUNÇÃO DO  
USO DO SOLO NO BIOMA PAMPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Sanitarista e Ambiental**.

Orientador: Prof. Ph.D. Alexandre Swarowsky

Santa Maria, RS

2023

**Augusto Alves Bolson**

**AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO EM FUNÇÃO DO  
USO DO SOLO NO BIOMA PAMPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, da  
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),  
como requisito parcial para obtenção do título de  
**Engenheiro Sanitarista e Ambiental.**

Aprovado em:

---

**Alexandre Swarowsky, Prof. Dr. (UFSM)**  
(Orientador)

---

**Fábio Joel Kochem Mallmann, Prof, Dr. (UFSM)**

---

**Marcelo Lovato Brum, Me. (UFSM)**

Santa Maria, RS

2023

## RESUMO

### **AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO EM FUNÇÃO DO USO DO SOLO NO BIOMA PAMPA**

AUTOR: Augusto Alves Bolson

ORIENTADOR: Professor PhD. Alexandre Swarowsky

As alterações que os solos sofrem pela implementação de monoculturas, prejudicam o balanço ecológico dos nutrientes, entre eles o carbono, o que reduz a produtividade alimentar. Além disso, as modificações do solo alteram os ciclos biogeoquímicos, provocando desequilíbrio no ecossistema. O objetivo deste trabalho foi analisar o sequestro de carbono do solo, no bioma Pampa, ao verificar indicadores que afetam o teor de carbono. Para tanto, foram aferidas as alterações do teor de carbono em uma área de estudo, com coberturas vegetais distintas e em três faixas de profundidade (0-10 cm, 10-20 cm e 20-30cm). Os usos do solo estudados no trabalho foram mata nativa, banhado, plantação de aveia e soja e área de recuperação. Portanto, foi determinado o teor de carbono no solo por uma adaptação do Método de Yeomans & Bremner. Ademais, com intuito de comparar estatisticamente o estudo, foi realizado o Método de Scott-Knott. Através das análises foi possível verificar que o carbono do solo decresce conforme o aumento da profundidade, para todas as coberturas. Além disso, a cobertura de solo que apresentou maior conteúdo de carbono orgânico foi o banhado, com 60,24 gCO/kg de solo, entre 0 e 10 cm. Em contrapartida, a plantação de soja e aveia obteve o menor resultado, com 3,46 gCO/kg solo, entre 20 e 30 cm. O estudo aponta que apesar da profundidade ser um fator que determine e diferencie o teor de carbono contido, os diferentes usos apresentados contribuem de forma mais incisiva no teor de carbono orgânico presente nos solos. Ao se comparar a área de cultivo e de recuperação ambiental, evidencia-se que apesar das diferenças do teor de carbono não serem significativas, estatisticamente, existe uma evolução no teor de carbono retido no solo enquanto a regeneração do ambiente local. Os resultados evidenciam que a recuperação dos solos degradados promove o aumento da concentração de carbono no solo. Todos os pontos de coleta apresentam maior teor de carbono nas suas camadas mais superficiais e decrescem conforme a profundidade aumenta. O uso do solo se mostrou como o fator de maior interferência do carbono orgânico no solo estudado.

**Palavras-chave:** sequestro, Solo, Mudanças climáticas.

## ABSTRACT

### SOIL ORGANIC CARBON CONCENTRATION ACCORDING TO LAND USE PATTERN OF THE BRAZILIAN PAMPA

AUTHOR: Augusto Alves Bolson

ADVISOR: PhD. Alexandre Swarowsky

As a result of monoculture implementation, soil suffers changes, therefore damaging the ecological system of nutrients, including Soil Organic Carbon (SOC), which reduces food productivity. Moreover, the biogeochemical cycle is amended promoting the increase of an ecological imbalance. The main objective of this article is to analyze the soil carbon stock, in an area of Pampa's biome, by verifying carbon content indicators. For this purpose, there were measured changes in carbon stock in the location, in combination with soil coverage and soil depth (0-10 cm, 10-20 cm and 20-30 cm). The different types of land use were native forest, wetland, soybeans and oat plantation and recovery degraded area. Thus, the SOC content was determined by using an adaptation from Yeomans & Bremner method. Furthermore, in order to establish a statistical comparison, the Scott-Knott method was used. Through the analysis, it was possible verifying that the SOC decreases according to the increase in depth. The biggest SOC content was presented in the wetland area, with 60,24 gC/kg, between 0 and 10 cm depth. Meanwhile, soybeans and oat crops obtained the least amount of SOC, with 3,46 gC/kg, between 20 and 30 cm depth. The study shows that, although depth is an important factor to determine carbon stock in soil, the difference among the land uses is more effective to increase SOC. In the comparison of SOC in the agricultural area and degraded area recovery, it is noticeable that they don't have a remarkable statistical difference between the SOC content, however, there is a progress in the sequestration of carbon in the soil whereas the environmental regeneration persists. The results demonstrate that degraded soil recovery develops the increase of stock of SOC. Every sample has the highest SOC content in the superficial layer (0-10 cm) and the factor that most interferes with SOC is the land use.

**Keywords:** Sequestration, soil, climate change.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da interação do CO e elementos.....	5
Figura 2 - Esquema do Ciclo do Carbono.....	6
Figura 3 - Esquema das Funções do Carbono no solo.....	8
Figura 4 - Localização da área do Bioma Pampa. ....	11
Figura 5 - Mapa de classificação climática para o Rio Grande do Sul. ....	12
Figura 6 – Localização da área.....	13
Figura 7 – Área de recuperação (AR), plantação de aveia (PSA), mata (MN) e banhado (BN).....	14
Figura 8 – Perfil topográfico da área de estudo. ....	15
Figura 9 – Mapa de uso do solo atual e pontos de coleta da área. ....	15
Figura 10 – Etapas do processo de análise do carbono no solo. ....	16
Figura 11 – Mapa da área de estudo com os conteúdos de carbono. ....	21

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área total de cada uso do solo.....	13
Tabela 2 - Propriedades, coordenadas geográficas, culturas e elevação do solo. .....	18
Tabela 3 - Valores médios de Carbono com base na Profundidade e uso do solo em dagkg.....	19
Tabela 4 – Conteúdo de carbono das profundidades sob diferentes coberturas vegetais.....	19
Tabela 5 – Conteúdo de carbono de coberturas vegetais sob profundidades distintas.....	19

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>3</b>
<b>3 OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
3.1 OBJETIVO GERAL.....	4
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
4.1 CICLO DO CARBONO .....	5
4.2 CARBONO NO SOLO .....	6
4.3 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO .....	7
4.4 SEQUESTRO DE CARBONO PELO SOLO.....	8
4.5 IMPACTOS DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS NO SOLO .....	10
4.6 BIOMA PAMPA .....	11
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
5.1 LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO .....	13
5.2 COLETA DE SOLO .....	15
5.3 DETERMINAÇÃO DE CARBONO NO SOLO .....	16
5.3.1 Preparo das Amostras.....	16
5.3.2 Digestão e Titulação.....	17
5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	17
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>24</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Relatos científicos sobre as alterações da paisagem terrestre oriundas de atividades dos seres humanos são computados desde o final do século XIX. Contudo, somente após a primeira metade do século XX foi constatado que as atividades antrópicas causavam mudanças globais (RAMANKUTTY et al., 2002). Conforme Bunker et al. (2005), em razão da expansão das plantações de monoculturas, a biodiversidade em florestas tropicais está em declínio. O crescimento da agricultura contribuiu para uma porcentagem significativa de liberação de carbono para atmosfera. Por conseguinte, os efeitos da monocultura são observados na redução da biodiversidade, na degradação dos recursos hídricos e na alteração do ciclo biogeoquímico.

Através dos ciclos biogeoquímicos, os solos retiram os gases do Efeito Estufa da atmosfera e armazenam em suas camadas, servindo como uma medida de controle desses poluentes. Portanto, a ocorrência e preservação do solo com boa qualidade ambiental, promove um habitat que mantém as comunidades microbianas e a biodiversidade dos ecossistemas. A microfauna existente no solo auxilia na decomposição da matéria orgânica e reciclagem dos nutrientes, transformando-os em substâncias que as plantas são capazes de assimilar (BANWART et al, 2015). A matéria orgânica, por sua vez, melhora a estrutura do solo, a fertilidade, a produtividade e garante a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Logo, a interação entre a matéria orgânica, microfauna, vegetação e solo possui um papel primordial na manutenção do ciclo de carbono terrestre (DENEFF et al., 2004).

A degradação do solo é causada por processos químicos, físicos, biológicos e ecológicos, que alteram suas propriedades, resultando na deterioração da qualidade e potencial produtivo do solo. As alterações sofridas prejudicam o balanço ecológico dos nutrientes, entre eles o carbono, o que reduz a produtividade alimentar. A perda dos componentes do solo pode ser agravada com o escoamento superficial, devido à retirada da cobertura vegetal (DUDEK et al., 2022).

As alterações do uso e manejo da terra, geradas ao converter ecossistemas complexos em sistemas de agricultura e pecuária, modificam as propriedades físicas, químicas e biológicas da superfície terrestre, causando impactos em potencial no clima regional e mundial (AMOROSI, 2008). Ao que se refere sobre os reservatórios de carbono do solo à conversão para usos agropecuários são conflitantes. As ações

de transformações dos solos em meios de produção agrícola fragilizam a capacidade de sequestro de carbono, causando instabilidade nas produções agrícolas e na preservação de serviços essenciais, como: alimentação, água e energia (OLIVEIRA et al., 2015).

Para tanto, o presente trabalho se propõe a estudar a dinâmica entre o teor de carbono do solo e as diferentes coberturas vegetais, do bioma Pampa.

## 2 JUSTIFICATIVA

A pesquisa foi conduzida baseada em três justificativas principais: social, científica e política, as quais estão relacionadas com a importância que o estudo irá trazer à comunidade acadêmica e à sociedade. O trabalho proposto pretende auxiliar no entendimento acerca do balanço de carbono da área de estudo, sobretudo, de acordo com a sustentabilidade das coberturas vegetais. Além disso, apresenta a influência da profundidade na concentração de carbono. A distribuição espacial do carbono pelos seus diferentes fatores é fundamental para a verificação da qualidade ambiental.

Devido à falta de atenção que as entidades públicas e privadas dão aos solos, o presente trabalho busca evidenciar o papel do solo em diferentes aspectos de intrínseca importância para o combate às mudanças climáticas. Portanto, foram conduzidos estudos em uma área do estado do Rio Grande do Sul, onde a concentração de carbono orgânico do solo possibilita uma melhor visualização da problemática que o compartimento ambiental enfrenta.

Como justificativa social, foram abordadas estratégias de melhoria da qualidade ambiental, que estão diretamente associadas a melhor qualidade de vida da população. Além disso, as melhorias nos resultados das produções, podem trazer maiores benefícios para os produtores rurais, pois com o manejo correto, aumenta-se a produtividade do solo, gerando maiores lucros e qualidade de vida, portanto, uma maior economia local.

O bioma Pampa sofre diversas intervenções antropogênicas, logo, fomentar o estudo sobre o bioma e os impactos causados pela humanidade são de suma importância para sua conservação. É necessário ressaltar que além de servir como um condicionante para qualidade ambiental do solo, o teor de carbono do solo, auxilia na preservação da fauna e flora local. A justificativa de cunho científico é caracterizada pelo papel importante do bioma Pampa no sequestro de carbono, e verificar a concentração de carbono da área do estudo.

Deve-se resgatar o ideal de esforço coletivo para cuidado ao meio ambiente, o desenvolvimento sustentável e o restauro de danos ambientais causados pelos seres humanos. A justificativa política é apresentar resultados que consigam impulsionar os governantes a mudar a realidade da produção agrícola, em adição com o investimento e incentivos para produtores rurais mudarem suas formas de agricultura.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a distribuição espacial da concentração de carbono orgânico em função do uso do solo e profundidade, em uma área do Bioma Pampa.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

3.2.1 Quantificar o teor de carbono do solo;

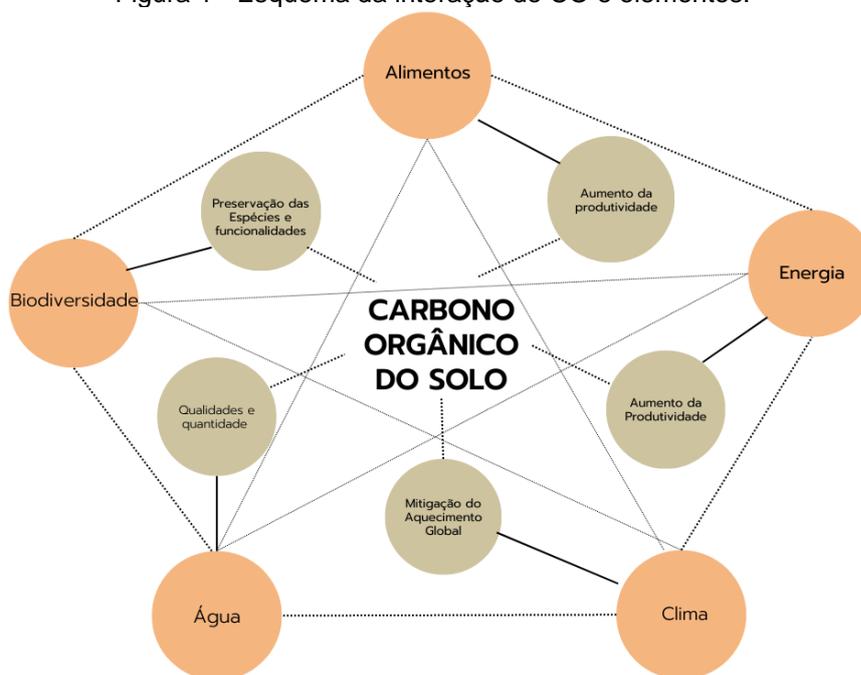
3.2.2 Avaliar qual cobertura vegetal apresenta maior conteúdo de carbono no solo;

3.2.3 Determinar qual é o maior fator de impacto no armazenamento de carbono.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

As necessidades da humanidade por alimentos, água, clima e biodiversidade são supridas pela ação do estoque de carbono orgânico. No entanto, a degradação do meio ambiente resulta na perda dos nutrientes do solo, que possuem papel chave para a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas. A redução de carbono no solo gera grandes preocupações, pois ameaça a cadeia de demandas da população global. Nas próximas décadas, com o aumento da população, a necessidade por comida, água e energia aumentará, o que intensificará a pressão sobre as áreas de cultivo e o clima planetário (NZIGUHEBA, 2015). A interação entre o carbono orgânico e as diferentes demandas pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema da interação do CO e elementos.



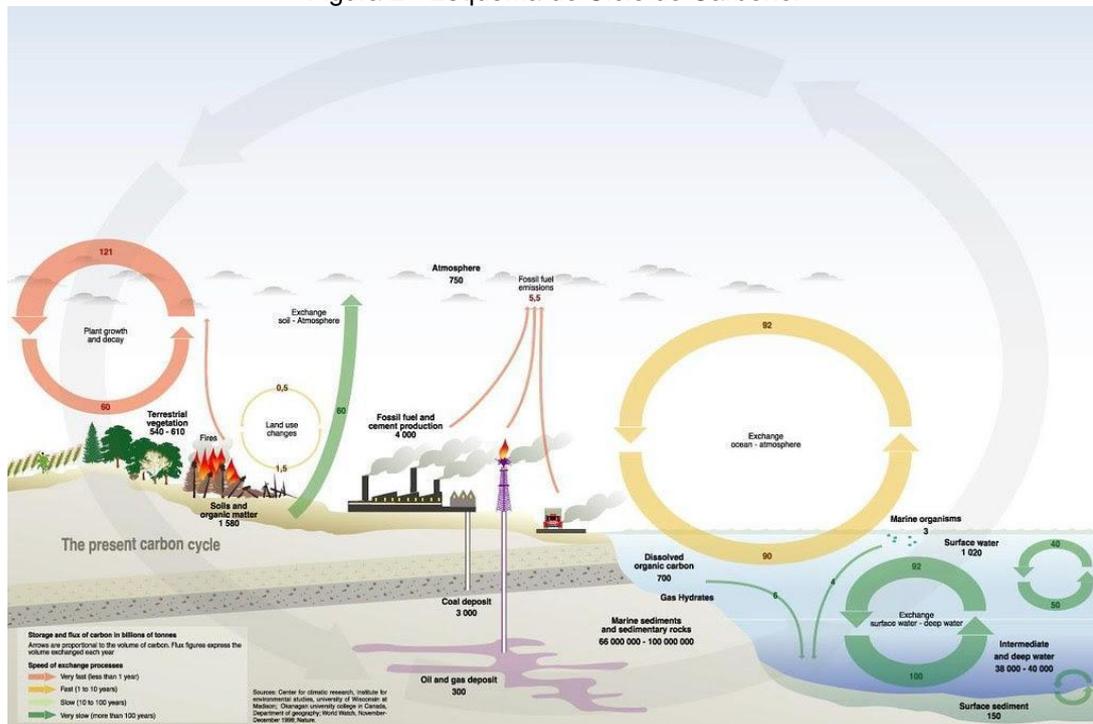
Fonte: Adaptado de NZIGUHEBA, 2015.

### 4.1 CICLO DO CARBONO

O armazenamento de Carbono no globo terrestre é dividido, principalmente, em cinco compartimentos: oceânico, geológico, pedológico (solo), biótico (biomassa vegetal e animal) e atmosférico (LAL, 2004a). A inserção do carbono na biomassa terrestre ocorre via fotossíntese, ao transformar o gás carbônico atmosférico em moléculas estruturais e funcionais para o metabolismo das plantas e microrganismos. Além disso, os ecossistemas globais armazenam carbono ao decorrer do desenvolvimento das camadas de solo, porém as modificações da cobertura do solo

causam alterações no teor de carbono estocado. Todavia, a respiração heterotrófica e as queimadas retornam à atmosfera uma quantidade equiparável, portanto, o ciclo do carbono é fechado (DENARDIN et al., 2014).

Figura 2 - Esquema do Ciclo do Carbono.



Fonte: United Nations Environmental Program, 2007.

## 4.2 CARBONO NO SOLO

A reserva de carbono no solo pode estar presente de diferentes formas, podendo assim estar na forma orgânica, inorgânica, molecular, mineral e até mesmo na forma gasosa. O carbono na forma orgânica possui uma intensa atividade de húmus e é, relativamente, inerte ao carvão. Esse tem composição de diversas fontes: plantas e animais em diferentes estados de decomposição; produto de substâncias de origem sintética, biológica ou quimicamente decompostas; tecidos de microrganismos, animais ou plantas e suas decomposições; microfauna do solo. O carbono do solo na forma inorgânica corresponde ao carbono em seu estado elementar, portanto, são minerais como calcita e dolomita. (LAL, 2007).

O carbono orgânico é um componente essencial para o solo, pois estabiliza suas partículas, o que reduz o fenômeno de erosão. Auxilia na conservação e fornecimento dos nutrientes responsáveis pelo crescimento dos vegetais e pela produção de energia dos microrganismos. Além de reter os elementos nutritivos através da capacidade de trocas catiônica e aniônica. Possui capacidade de melhorar

a estrutura, porosidade, densidade, permeabilidade do solo, auxiliando na regulação dos recursos hídricos, superficiais, subsuperficiais e subterrâneos, logo, reduz os efeitos nocivos ao meio ambiente de contaminantes. Age na redução de crosta superficial, o que melhora a infiltração da água, reduzindo o escoamento superficial (ARPA-ER, 2009).

No solo, o carbono pode estar localizado na matéria orgânica viva ou morta, onde a matéria orgânica viva corresponde a menos de 4% do total de carbono orgânico do solo, já a matéria orgânica morta possui cerca de 98% do total (THENG, 1987). Ao subdividir o carbono da matéria orgânica viva (CMOV), observa-se que entre 60 e 80% é presente nos microrganismos, majoritariamente, fungos e bactérias; entre 15 e 30% é presente nos macroorganismos, são estes, minhocas, ácaros e térmitas; entre 5 e 10% é presente nas raízes das plantas. Nota-se também que ao que se diz respeito ao carbono da matéria orgânica morta (CMOM), pode ser classificado de 80 a 90% em resíduos vegetais recém dispostos ao solo e húmus, onde 30% são substâncias não-húmicas, por exemplo, os ácidos orgânicos de baixo peso molecular, e o restante (70%) são compostos como ácido cítrico, ácido ftálico, ácido malônico etc. e substâncias húmicas, como ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas. Em razão do alto teor de MO nos solos brasileiros, esses são classificados com pH ácido. Logo, o carbono inorgânico, que deixaria o solo com teor mais alcalino, em virtude da presença de carbonatos, não possui tanta relevância no território nacional, pois é encontrado em áreas semiáridas, somente (MACHADO, 2005).

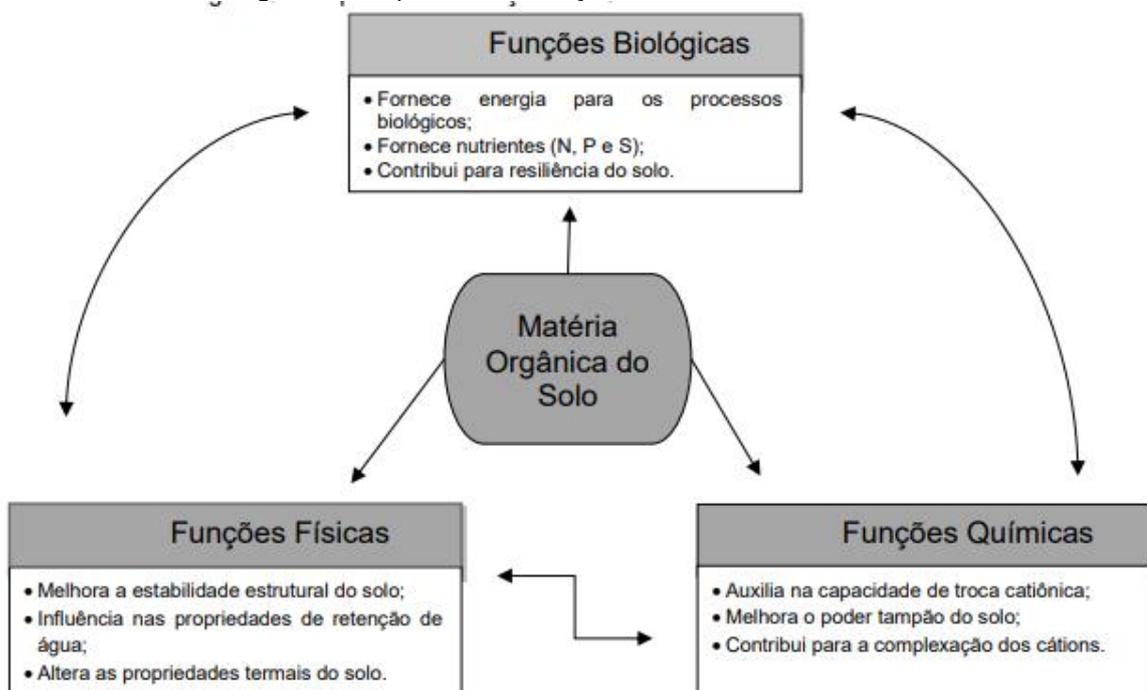
#### 4.3 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

No solo, o carbono orgânico compõe por volta de 60% da matéria orgânica. A fração corresponde ao resto de plantas e animais em diversos estágios de decomposição, células e tecidos de organismos, substâncias derivadas de raízes das plantas e microrganismos presentes no solo (ARPA-ER, 2009). A capacidade de sequestro de carbono da atmosfera pelo solo é diretamente influenciada pela matéria orgânica do solo (MOS). A MOS possui uma função fundamental para o desenvolvimento das plantas, além de determinar, com influência direta e indireta, nos processos químicos, físicos e biológicos no solo. Ademais, compõe um dos agentes de maior relevância na formação e estabilização de agregados. A MOS apresenta como função a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo de 75 a 85%, porém

possui baixa participação no volume total do solo (SATO, 2002). Desta forma, a matéria orgânica do solo possui um papel fundamental em manter a fertilidade do solo e mitigar as emissões de carbono da atmosfera, logo, sua importância engloba os âmbitos local e global (FELLER et al., 2006).

Segundo VEZZANI et al. (2011), os agregados componentes do solo são partículas de areia, silte e argila que formam torrões estáveis ao impacto das gotas de chuva, devido ao agrupamento. Os responsáveis pela formação desses agregados são as hifas de fungos e substâncias orgânicas, as quais são originadas nas raízes das plantas ou nas resultantes da decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos. É necessário enfatizar que os agregados são mecanismos importantes para o sequestro de carbono, pois quanto maior sua quantidade em um solo maior a capacidade de drenagem de carbono esse solo possui.

Figura 3 - Esquema das Funções do Carbono no solo.



Fonte: Adaptado de BATIONO et al., 2015.

#### 4.4 SEQUESTRO DE CARBONO PELO SOLO

O sequestro de carbono da atmosfera pode ser realizado através de diferentes maneiras, apesar de ocorrer naturalmente, ainda existem opções tecnologicamente viáveis. Pode ser determinado uma ou mais combinações de diversas tecnologias, levando em consideração o desenvolvimento socioeconômico aliado à sustentabilidade, em uma escala global ou regional. As alternativas podem ser

classificadas como sequestro de carbono abiótico ou biótico (LAL, 2007). Sem a intervenção de plantas ou microrganismos, o sequestro de carbono abiótico é baseado através de técnicas que utilizam reações físicas e químicas. É notável o potencial de injeção de  $CO_2$  em estruturas geológicas e oceânicas, logo, é observado um aumento nos estudos e nos investimentos para a realização desse tipo de ferramenta de drenagem de carbono da atmosfera (KERR, 2011).

O sequestro de carbono biótico é promovido pela ação de plantas e microrganismos ao remover o  $CO_2$  da atmosfera. Pode ser administrado de forma oceânica ou terrestre, nos oceanos as atividades são conduzidas pelos fitoplânctons, que ao realizarem a fotossíntese consomem  $CO_2$  (LAL, 2007). A transformação do  $CO_2$  de maneira pedológica e biótica é definida como sequestro de carbono terrestre. O carbono retirado da atmosfera por via terrestre corresponde a 60% do total emitido pelas atividades antrópicas, o que apresenta um papel de elevada relevância no ciclo carbono (LAL, 2004a; 2004b). Majoritariamente, o sequestro de carbono terrestre é oriundo da atividade fotossintética e o seu estoque está presente em organismos vivos e na matéria orgânica. Os principais componentes de fonte de carbono são: as florestas, solo e áreas alagáveis (LAL et al., 2003).

Segundo estudos conduzidos por West et. al. (2002), que associaram o acréscimo de 5 a 15% na taxa de sequestro de carbono ao haver a substituição do tipo de manejo em terras agricultáveis de cultivo convencional para plantio direto. Estudos mostram que o armazenamento de carbono no solo tende a ser maior em sistemas naturais ao comparar com solos cultivados. Contudo, os sistemas cultivados são considerados estoques e drenam boa parte do  $CO_2$  da atmosfera. Conforme Smith et al. (2015) o potencial de estoque de carbono no solo depende do uso, manejo e do clima local ao interagirem com os diversos processos do solo.

A captura de carbono é, majoritariamente, calculada através de termos de carbono total armazenados no solo. Entretanto, o potencial e o período em que C permanece retido depende dos reservatórios de carbono no solo, do tempo de reciclagem, da maneira que é estabilizado, podendo ser química ou fisicamente, de sua localização nos agregados e presença de carbono livre (FERREIRA, 2013). A recuperação de solos e ecossistemas são medidas indispensáveis para o melhoramento da qualidade dos recursos hídricos, ecossistemas e redução da emissão de  $CO_2$  (GRAINGER, 1995).

O estoque de carbono no solo está diretamente associado ao regime climático local, uso e manejo do solo, cobertura vegetal, à qualidade e quantidade de resíduos dispostos no solo, à mineralogia e tipo de solo. Desta forma, há um limite de carbono que pode ser estocado, dependendo do tipo de mineralogia, pluviosidade local e porcentagem de argila contida no solo, isto é, tais fatores têm a capacidade de definir as quantidades de carbono máximo até atingir a saturação (BATIOLLO et al., 2015). As metodologias escolhidas para a avaliação do sequestro de carbono devem levar em consideração que diversos fatores influenciam nos resultados, por exemplo, as profundidades as quais as amostras serão obtidas, a estação do ano e precipitação (SMITH et al., 2015).

#### 4.5 IMPACTOS DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS NO SOLO

No contexto atual, a atividade agrícola é, majoritariamente, de forma extensiva. Portanto, o nível de produtividade por hectare é muito superior ao que naturalmente poderia ser suportado. O solo é prejudicado através de práticas de uso e manejo extrativista e com utilização de maquinário pesado (CESCHIA et al. 2010).

Segundo Costa et al. (2009), foi constatado que o revolvimento do solo, além de reduzir os teores de carbono, também gera diminuição na estabilidade de agregados, densidade e capacidade campo, em contrapartida, aumenta a porosidade total, macroporosidade e capacidade de aeração. O solo é um recurso natural finito e a sua proteção colabora para a manutenção do equilíbrio ambiental regional e global. A proteção do solo possui uma grande fragilidade, visto que existem grandes impactos causados pela urbanização, agricultura e industrialização. A falta de cuidado com o recurso pode causar instabilidade hidrogeológica, afetando a qualidade dos corpos hídricos (VEZZANI et al. 2011).

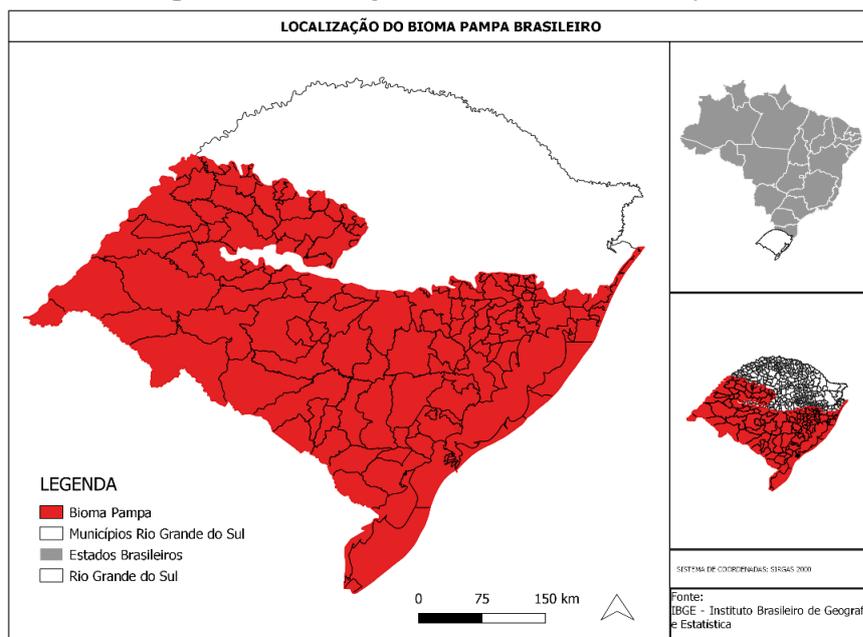
CESCHIA et al. (2010) relata que os distúrbios causados pelas atividades agrícolas colaboram para o aumento das emissões de GEEs. Os efeitos são observados na alteração dos estoques de carbono no solo e no fluxo de GEEs presentes no compartimento ambiental, tais atividades são realizadas pelos microrganismos presentes no solo. Segundo VEZZANI et al. (2011), um dos parâmetros regulamentadores da qualidade em solo é o seu conteúdo de carbono, porque auxilia e promove diversas funções químicas, físicas e biológicas, atuantes em sistemas agrícolas e ambientais. Estima-se que a conversão da vegetação nativa para

sistemas agrícolas resulte na perda do potencial de estoque de carbono do solo. No território do Pampa, onde a Matéria Orgânica é o maior condicionante do teor de carbono, a alteração do ecossistema natural em áreas de cultivo reduziu os estoques de carbono em 50% nos últimos 100 anos (COUTINHO et al., 2015).

#### 4.6 BIOMA PAMPA

Dentre os biomas brasileiros, o Pampa é o menor territorialmente. Pois abrange, somente, em torno de 62% do território do Rio Grande do Sul, além disso, ocupa toda extensão territorial do Uruguai e parte da Argentina (BOLDRINI et al., 2010). Entretanto, devido ao desenvolvimento socioeconômico da região ser responsável pela transformação dos ecossistemas em paisagens agrícolas, a descaracterização das propriedades originais do bioma é causada pelas constantes degradações do meio ambiente. Salienta-se que os solos, o tipo de vegetação, as condições geológicas e geomorfológicas, a hidrologia e as condições climáticas asseguram a heterogeneidade do Bioma Pampa. Ademais, as áreas com menor grau de degradação estão localizadas em solos pouco férteis e em topografia acentuada (LIPINSKI et al., 2014).

Figura 4 - Localização da área do Bioma Pampa.



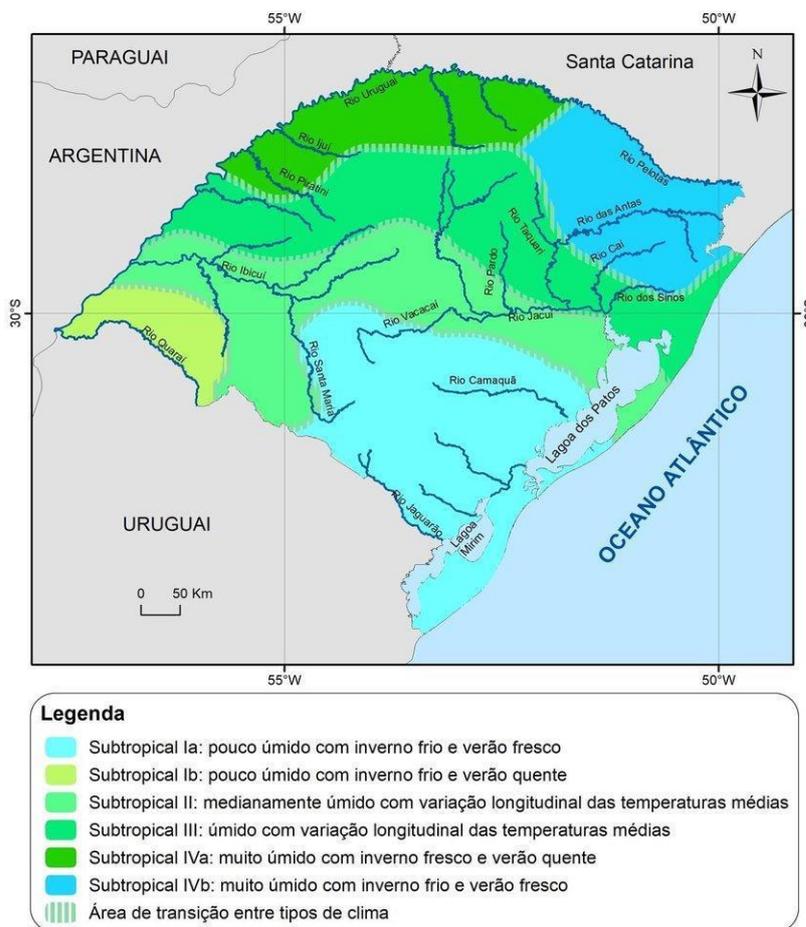
Fonte: Autor, 2022.

Segundo a classificação de Köppen o clima é considerado como Cfa, portanto, clima subtropical úmido sem estiagem. Conforme Rossato (2011), a caracterização climática para o Rio Grande do Sul com base na variabilidade anual, sazonal e mensal

de inúmeras variáveis climáticas, o estado situa-se em área de domínio do clima subtropical, subdividido em quatro tipos principais:

- Subtropical I: Pouco úmido (Subtropical Ia – Pouco úmido com inverno frio e verão fresco, e Subtropical Ib – Pouco úmido com inverno frio e verão quente);
- Subtropical II: Medianamente úmido com variação longitudinal das temperaturas médias;
- Subtropical III: Úmido com variação longitudinal das temperaturas médias; e
- Subtropical IV: Muito úmido (Subtropical IVa – Muito úmido com inverno fresco e verão quente, e subtropical IVb – Muito úmido com inverno frio e verão fresco).

Figura 5 - Mapa de classificação climática para o Rio Grande do Sul.



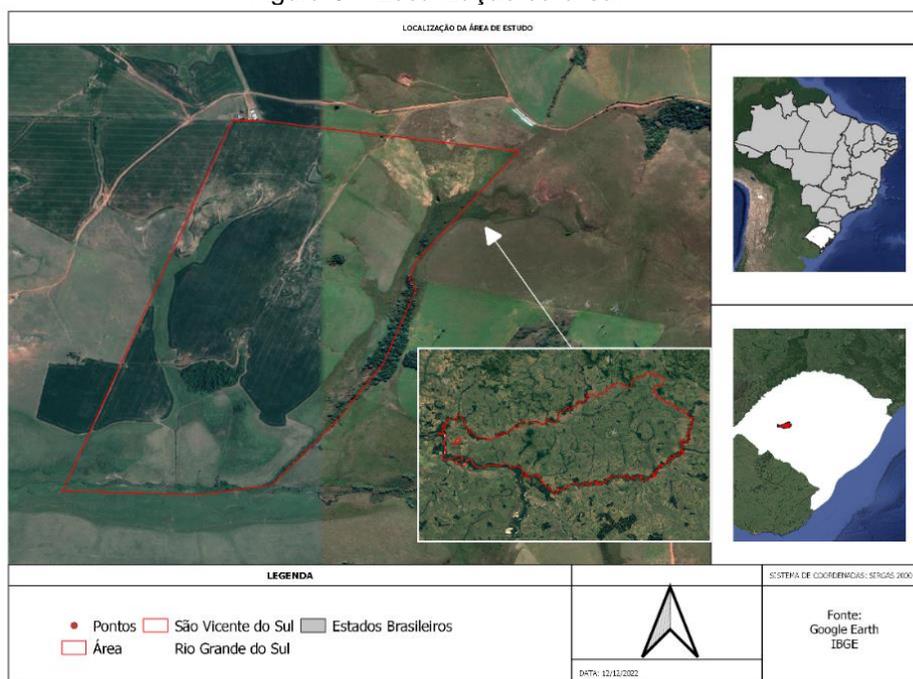
Fonte: Rossato, 2011.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO

O trabalho foi conduzido em uma localidade rural, no município de São Vicente do Sul, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 6). As coordenadas geográficas dos vértices da área são: 29°42'29.54"S e 55° 5'47.17"O, 29°42'34.71"S e 55° 5'3.60"O, 29°43'24.75"S e 55° 6'12.34"O, por fim, 29°43'25.28"S e 55° 5'42.75"O, fuso 21 UTM.

Figura 6 – Localização da área.



Fonte: Autor, 2022.

. A propriedade rural está toda dentro do bioma pampa gaúcho e possui área total de 179,92 ha, divididos de acordo com a tabela 1. O tipo de solo é argissolo bruno-acinzentado com textura francoargilosa (STRECK et al., 2018).

Tabela 1 – Área total de cada uso do solo.

Uso do Solo	Área (ha)
Cultivo de soja e aveia (PSA)	66,42
Banhado (BN)	52,55
Área de recuperação (AR)	51,06
Mata nativa (MN)	9,89

Fonte: Autor, 2022.

A área possui ocupação desde a década de 1940, a qual era destinada a criação de rebanhos bovinos e ovinos. Contudo, a partir da década de 1980 foi iniciado

o processo de plantio mecanizado de soja, com intervalos para a criação de bovinos no inverno.

Em 2014, devido a perda de nutrientes por mau uso do solo, a parte norte da área sofria desertificação, portanto, os proprietários semearam *Brachiaria brizantha*, com o objetivo de reverter a degradação do solo, o que obteve resultados positivos. Na área sul, na parte de banhado, houve antigamente cultivo de soja. As áreas de mata nativa nunca foram ocupadas, sendo preservadas desde o início da ocupação da área. Na Figura 7 são apresentadas imagens dos quatro tipos de uso de solo utilizados no estudo. Mais imagens da área de estudo podem ser observadas no Apêndice A.

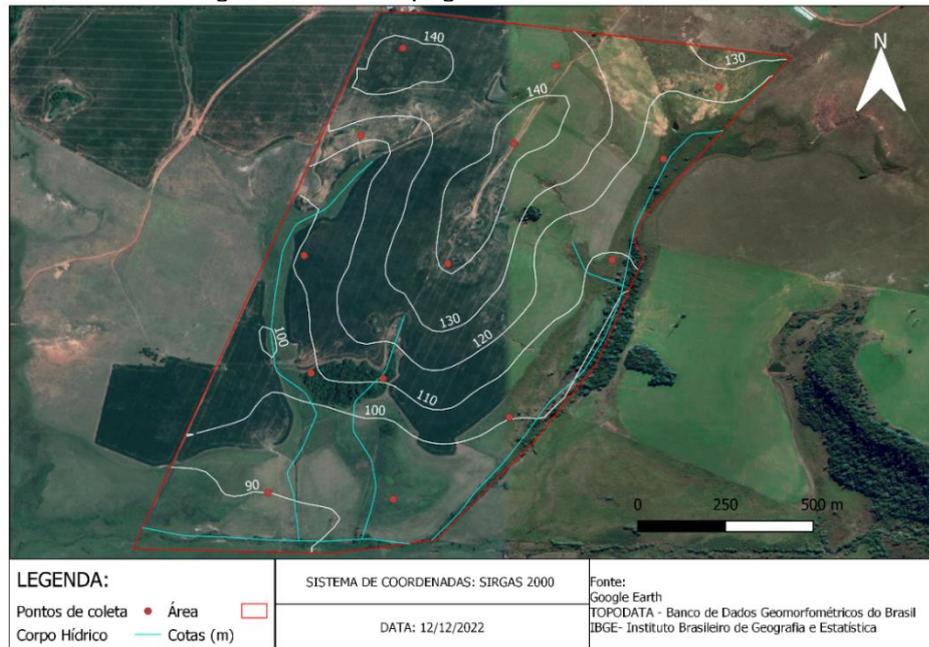
Figura 7 – Área de recuperação (AR), plantação de aveia (PSA), mata (MN) e banhado (BN).



Fonte: Autor, 2022.

A elevação da área de estudo varia entre 90 e 140 metros. Observa-se que a área com mais elevação ao norte e a de menor altitude ao sul. As diferenças de altitude podem ser verificadas na Figura 8.

Figura 8 – Perfil topográfico da área de estudo.



Fonte: Autor, 2022.

## 5.2 COLETA DE SOLO

As coletas foram realizadas no dia 02 de novembro de 2022, em propriedade rural localizada no município de São Vicente do Sul, RS. Adotou-se padrão de amostras deformadas espalhadas em pontos equidistantes em quatro usos de solo e três faixas de profundidade (0-10cm; 10-20cm; 20-30cm), pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 – Mapa de uso do solo atual e pontos de coleta da área.



Fonte: Autor, 2022.

### 5.3 DETERMINAÇÃO DE CARBONO NO SOLO

As análises laboratoriais foram realizadas durante duas semanas, sendo finalizadas no dia 12 de novembro de 2022. foram analisadas conforme o tipo de cobertura vegetal, elevação do terreno e em três profundidades distintas: 0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 30 cm. A coleta das amostras foi realizada de forma deformada, pois trata-se de uma análise química e a obtenção de amostras deformadas é mais rápida e de fácil manuseio e transporte.

A metodologia utilizada para a determinação do carbono orgânico total do solo foi uma versão adaptada de Yeomans & Bremner (1988), que tem como princípio a determinação de carbono no solo por meio da combustão/oxidação de via úmida (a oxidação transforma a matéria orgânica em  $CO_2$ , por meio de íons de dicromato de potássio em um meio fortemente ácido). Na Figura 10 pode ser observado as etapas do processo.

Figura 10 – Etapas do processo de análise do carbono no solo.



Fonte: Autor, 2022.

#### 5.3.1 Preparo das Amostras

As amostras de solo foram secas em estufa de circulação de ar 7LAB Bio SEDI-C a 40°C por 24h. Após secagem as amostras foram destorroadas em um almofariz com o auxílio de um pistilo, seguido de peneiramento (peneira 0,2 mm – n°80).

### 5.3.2 Digestão e Titulação

Foram adicionados em tubo de ensaio 0,5g de solo, 5 mL de Dicromato de Potássio ( $K_2Cr_2O_7 - 0,1667 \text{ mol}^{-1}$ ) e 7,5 mL de Ácido Sulfúrico PA ( $H_2SO_4$ ). Por ser uma reação exotérmica com liberação de calor, deixou-se esfriar por 10 minutos. Os tubos foram dispostos no bloco digestor pré-aquecido a  $170^\circ\text{C}$  por 30min.

O líquido resultante da digestão foi colocado em Erlenmeyer de 250 mL e adicionou-se 80 mL de água destilada e 0,3mL do indicador Ferroin. Por fim, as amostras foram tituladas com solução de sulfato ferroso amoniacal ( $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2.H_2O - 0,1 \text{ mol}^{-1}$ ).

A obtenção do teor de carbono foi calculada pela diferença entre a quantidade total de dicromato de potássio (reductor) e a quantidade restante depois da oxidação da MO. A Equação 1 é dada pela fórmula:

$$C \left( \frac{dag}{kg} \right) = \frac{A * \text{Molaridade Sulfato Ferroso} * 3 * 100}{\text{massa da amostra (mg)}} \quad (1)$$

Onde, 
$$A = \frac{(Vba - Vam) * (Vbn - Vba)}{Vbn} + (Vba - Vam)^2 \quad (2)$$

### 5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores das diferentes variáveis foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade. Na análise dos dados foi utilizado o pacote estatístico AgroEstat versão 1 (BARBOSA e MALDONADO JÚNIOR, 2009).

---

<sup>1</sup> (3) é o resultado de relação entre o número de mols de  $Cr_2O_7^{2-}$  que reage com  $Fe^{2+}$  (16), multiplicando pelo número de mols de  $Cr_2O_7^{2-}$ , que reage com o C (32), multiplicado pela massa atômica de C (12). (100) é o fator de conversão de unidade (mgmg para dagkg).

<sup>2</sup>  $Vba$ = volume gasto na titulação do branco controle com aquecimento;  $Vbn$ = volume gasto na titulação do branco controle sem aquecimento;  $Vam$ = volume gasto na titulação da amostra.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos métodos descritos foram realizadas as análises para carbono orgânico presente no solo. A partir dos resultados obtidos foi determinado o teor de carbono no solo, pela Equação 1 e foi mensurado o potencial de sequestro de carbono. A avaliação do solo de acordo com a cobertura vegetal servirá para verificar as diferenças entre as situações de cada caso, oferecendo uma melhor visão do que ocorre no contexto local. Portanto, a Tabela 2 apresenta os 14 pontos e suas peculiaridades.

Tabela 2 - Propriedades, coordenadas geográficas, culturas e elevação do solo.

Ponto de coleta	Latitude	Longitude	Uso do solo <sup>3</sup>	Elevação do terreno
1	29°42'35.77" S	55° 5'45.39" O	AR	141,46m
2	29°42'36.17" S	55° 5'31.99" O	AR	137,06m
3	29°42'37.22" S	55° 5'17.34" O	AR	124,15m
4	29°42'44.78" S	55° 5'46.82" O	PSA	123,84m
5	29°42'45.07" S	55° 5'30.37" O	AR	141,57m
6	29°42'46.08" S	55° 5'17.80" O	BN	114,13m
7	29°42'54.50" S	55° 5'52.50" O	PSA	110,95m
8	29°42'55.57" S	55° 5'41.32" O	PSA	141,01m
9	29°42'55.29" S	55° 5'26.82" O	BN	109,5m
10	29°43'9.43" S	55° 5'53.47" O	MN	109,26m
11	29°43'9.63" S	55° 5'46.57" O	MN	111,32m
12	29°43'7.91" S	55° 5'27.26" O	BN	100,56m
13	29°43'21.58" S	55° 5'58.46" O	BN	90,16m
14	29°43'21.37" S	55° 5'43.58" O	BN	91,98m

Fonte: Autor, 2022.

Portanto, foram determinados teores de carbono orgânico em função do uso do solo e da profundidade a partir da Equação 1, que estão apresentados na Tabela 2. Como anteriormente previsto, houve tendência de maior concentração do CO nas camadas de 0 a 10 cm, independentemente da cobertura vegetal.

A partir da obtenção dos dados relativos ao Carbono Orgânico do solo, fez-se as considerações estatísticas com base no método de Scott-Knott. Foram utilizados

<sup>3</sup> PSA = cultivo de soja e aveia, AR = área de recuperação, BN = banhado e MN = mata nativa.

12 médias de resultados, três para cada uso de solo, para realizar a metodologia, logo, obteve-se os seguintes resultados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios de Carbono com base na Profundidade e uso do solo em  $\frac{dag}{kg}$ .

	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 30 cm
Área de recuperação	1,16 ± 0,27	0,89 ± 0,14	0,71 ± 0,18
Plantação soja e aveia	0,71 ± 0,13	0,63 ± 0,19	0,56 ± 0,20
Banhado	5,20 ± 1,19	3,93 ± 0,97	3,08 ± 1,16
Mata nativa	4,05 ± 1,27	2,37 ± 0,63	1,12 ± 0,25

Fonte: Autor, 2022.

Com o intuito de avaliar estatisticamente as médias obtidas sob uma ótica mais abrangente foram considerados dois fatores: Uso do solo e a profundidade da coleta. Logo, foi analisada a diferença significativa entre os fatores, para cada situação estudada, podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Conteúdo de carbono das profundidades sob diferentes coberturas vegetais.

Profundidade	AR	PSA	BN	MN
0 - 10 cm	1,16 <sup>b</sup> ± 0,27	0,71 <sup>b</sup> ± 0,13	5,20 <sup>a</sup> ± 1,19	4,05 <sup>a</sup> ± 1,27
10 - 20 cm	0,89 <sup>c</sup> ± 0,14	0,63 <sup>c</sup> ± 0,19	3,93 <sup>a</sup> ± 0,97	2,37 <sup>b</sup> ± 0,63
20 - 30 cm	0,71 <sup>b</sup> ± 0,18	0,56 <sup>b</sup> ± 0,20	3,08 <sup>a</sup> ± 1,16	1,12 <sup>b</sup> ± 0,25

A média com letras iguais sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo Teste de Scott-Knott (P>0,05). Fonte: Autor, 2022.

Não houve diferença significativa entre a área de recuperação e plantação de soja e aveia em todas as profundidades comparadas. Contudo, entre o banhado e a mata nativa não houve diferença significativa de 0 - 10 cm de profundidade, somente existiu uma diferença nas profundidades de 10 – 20 cm e 20 – 30 cm. Além disso, é preciso ressaltar que a mata nativa, para profundidade de 20 – 30 cm, não possui diferença significativa entre área de recuperação e plantação de soja e aveia.

Tabela 5 – Conteúdo de carbono de coberturas vegetais sob profundidades distintas.

Uso do Solo	0 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm
AR	1,16 <sup>a</sup> ± 0,27	0,89 <sup>a</sup> ± 0,14	0,71 <sup>a</sup> ± 0,18
PSA	0,71 <sup>a</sup> ± 0,13	0,63 <sup>a</sup> ± 0,19	0,56 <sup>a</sup> ± 0,20
BN	5,20 <sup>a</sup> ± 1,19	3,93 <sup>b</sup> ± 0,97	3,08 <sup>b</sup> ± 1,16
MN	4,05 <sup>a</sup> ± 1,27	2,37 <sup>b</sup> ± 0,63	1,12 <sup>c</sup> ± 0,25

A média com letras iguais sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo Teste de Scott-Knott (P>0,05). Fonte: Autor, 2022.

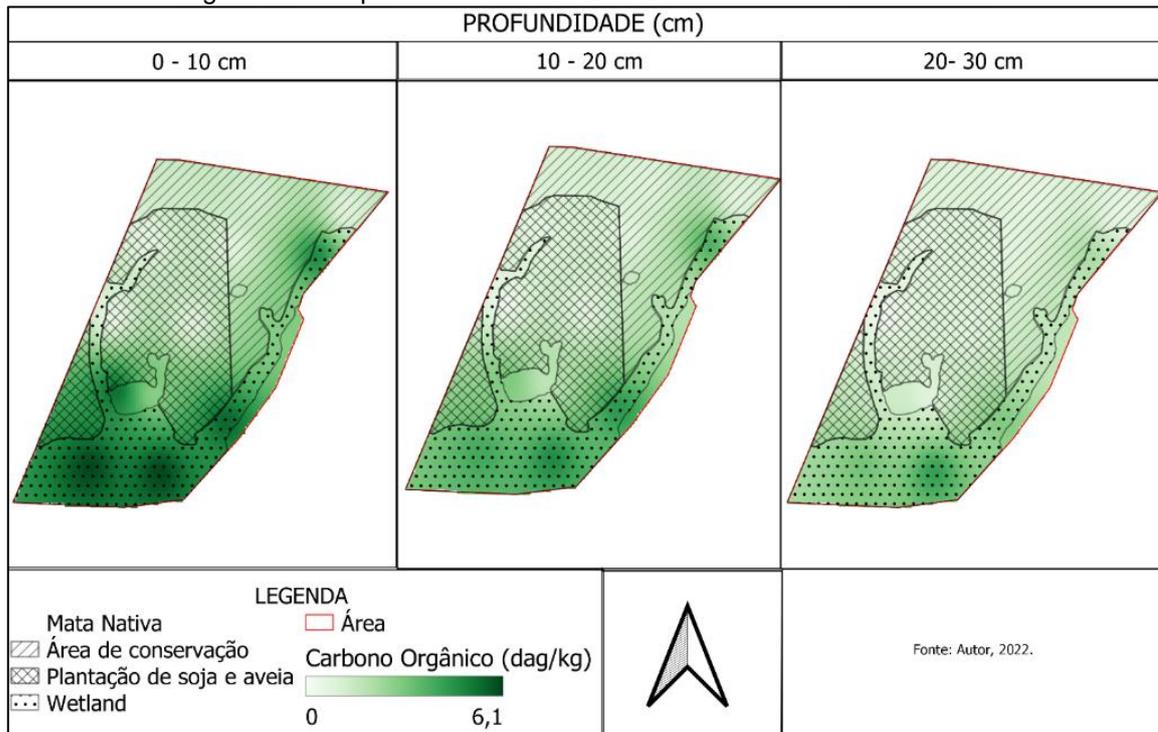
Ademais, não se obteve uma diferença significativa em relação à profundidade de 0 – 10 cm dos fatores banhado e mata nativa, entretanto, para as medidas

correspondentes à 10 – 20 cm e à 20 – 30 cm somente o fator banhado produziu diferenciações significativas. Portanto, a diferença mínima das médias de cultivo de soja e aveia e área de recuperação em todas profundidades não é significativa.

O estudo aponta que apesar da profundidade ser um fator que determine e diferencie o teor de carbono contido, os diferentes usos apresentados contribuem de forma mais incisiva no teor de carbono orgânico presente nos solos. Logo, ao comparar os resultados obtidos entre as diferenças mínimas significativas, o fator que maior apresenta impactos na concentração de carbono do solo é a cobertura vegetal. Entretanto, estudos que envolvam outros fatores, como o tipo do solo, pluviometria, mineralogia, matéria orgânica e conteúdo de água no solo, devem ser conduzidos com o objetivo de melhorar a visualização do que ocorre no meio ambiente e os impactos causados pelas ações dos seres humanos.

Com a finalidade de averiguar a distribuição espacial dos valores de carbono orgânico, foi realizada a Interpolação dos pontos de coleta e as profundidades de cada um. As camadas de solo estudadas foram distribuídas e separadas as áreas de uso de solo conforme o estudo apresentado, portanto, observou-se o resultado de acordo com a Figura 11. O valor máximo de carbono obtido foi calculado para as amostras 13 e 14 (banhado), em 0 – 10 centímetros de profundidade, de 6,024 dag/kg ou 60,24 gCO/kg solo. Além disso, os menores valores foram obtidos para a profundidade de 20 – 30 centímetros de cultivo de soja e aveia, na amostra 7, igual a 0,346 dag/kg ou 3,46 gCO/kg solo.

Figura 11 – Mapa da área de estudo com os conteúdos de carbono.



Fonte: Autor, 2022.

Ao se comparar a recuperação de área após extenso período de cultivo e degradação com a plantação atual de soja e aveia. Evidencia-se que apesar das diferenças do teor de carbono não serem significativas, estatisticamente, existe uma evolução no teor de carbono retido no solo. Portanto, a intervenção do meio ambiente para recuperar seus parâmetros de qualidade aumentam com o passar do tempo. Entretanto, o monitoramento periódico e intervenções mais contundentes ao tange medidas de sequestro de carbono atmosférico devem ser promovidas com o intuito de serem observadas diferenças significativas estatisticamente. Por exemplo, a redução do uso de agrotóxicos para o cultivo e rotação de culturas são ações que colaboram com a qualidade ambiental.

Conforme Cerri et al. (2008) à medida que as alterações nos sistemas naturais ocorrem, devido às ações antrópicas, onde o equilíbrio do meio ambiente é afetado. Conseqüentemente, o teor de CO é alterado no meio ambiente e, na maioria dos casos, o conteúdo de carbono orgânico presente no solo se torna menor do que o original.

Por conseguinte, os teores de carbono do banhado e mata nativa apresentaram os maiores valores, sem diferenças significativas. No entanto, o banhado manteve seus teores mais elevados ao decorrer da profundidade, o que pode ser explicado

pelo maior conteúdo de Matéria Orgânica no solo. Pois, a atividade microbiana do solo é responsável pelo armazenamento do carbono atmosférico nas camadas do solo. Segundo Goñi (2016), as reações químicas presentes em zonas úmidas ocorrem por um complexo intercâmbio entre as fases líquida, sólida e gasosa do solo e, majoritariamente, as interações são mediadas pelos processos biológicos. Logo, nessas áreas existe um acúmulo de matéria orgânica, o que serve como instrumento delimitador dos teores de carbono orgânico.

Dessa maneira, devido a todos os aspectos supracitados os banhados devem ter suas integridades preservadas, pois possuem grande potencial de sequestro de carbono atmosférico. É importante ressaltar que os banhados são protegidos pela Lei nº 11.520, de 03 de agosto de 2000, que institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências e descreve que os banhados são Áreas de Proteção Permanentes no estado. Mesmo que a mata nativa apresente um valor inferior aos dos banhados para concentração de carbono, os resultados não são significativamente diferentes. Logo, a constante permanência de redutos onde a fauna e flora local encontrem refúgio para prosperarem, devem ser mantidas.

## **7 CONCLUSÃO**

Diante do exposto, a compreensão e mensuração dos processos que controlam a drenagem e o armazenamento de Carbono, requer o entendimento dos fatores apresentados no estudo, tanto quanto outros fatores que amplificam as variáveis ambientais. Logo, pode-se avaliar o efeito do carbono orgânico no solo e sua importância para o meio ambiente, no que tange os usos, profundidades e clima do local abordado.

De modo geral, os resultados evidenciam que a recuperação dos solos degradados promove o aumento do estoque de carbono no solo. Todos os pontos de coleta apresentam maior teor de carbono nas suas camadas mais superficiais e decrescem conforme a profundidade aumenta. O fator que mais interfere na concentração de carbono orgânico, no estudo, foi o seu uso do solo, além disso, o banhado foi a cobertura vegetal que possui maior concentração de carbono e o cultivo agrícola aquele que menos possui, para a área em questão.

A abordagem de trabalhos futuros deve conter um período mais prolongado de análises, onde possa ser verificado o teor de carbono armazenado ao longo das estações e anos. Pois, necessita-se a verificação de quais métodos apresentam maior impacto na melhoria do sequestro de carbono para os solos degradados. Além disso, outras variáveis ambientais devem ser levadas em consideração, como: tipo de solo, umidade, nitrogênio, porosidade e matéria orgânica.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMOROSI, A. et al. **La pianura geologia, suoli e ambienti in Emilia-Romagna**. Bologna: Pendragon, 2009.
- ARPA-ER. **Qualità del Suolo**. Regione Emilia-Romagna, 2009.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. AgroEstat versão 1.0 - Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Universidade Estadual Paulista. Campus de Jaboticabal, SP, 2009.
- BATIONO, A.; et al. **Soil Carbon and Agricultural Productivity: Perspectives from Sub-Saharan Africa**. Soil Carbon: Science, Management and Policy for Multiple Benefits. 2015. P. 132-141
- BANWART, S.A.; et al. The **Global Challenge for Soil Carbon**. In Soil Carbon: Science, Management and Policy for Multiple Benefits. CAB International: Wallingford, UK, 2015; pp. 1–9.
- BOLDRINI, I. I.; et al. **Bioma Pampa: Diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre, Pallotti. 64p. 2010.
- BUNKER, D.E.; DECLERCK, F.; BRADFORD, J.C, COLWELL R.K, PERFECTO I, PHILLIPS O.L, SANKARAN M, NAEEM S. **Species loss and aboveground carbon storage in a tropical forest**. *Science*. v. 310, p. 1029–1031, 2005.
- CARVALHO, J. L. N. et al. **Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2010, v. 34. n. 2, pp. 277-290.
- CERRI, C. E. P. et al. **Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia**. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. de O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 325-358.
- CESCHIA, E.; et al. **Management effects on net ecosystem carbon and GHG budgets at European crop sites**. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2010.
- COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J.; MAFRA, A. L.; SILVA, F. R. **Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração lavoura-pecuária**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.235-244, 2009.
- COUTINHO, H.L.C. et al. **Impacts of Land-use Change on Carbon Stocks and Dynamics in Central-southern South American Biomes: Cerrado, Atlantic Forest and Southern Grasslands**. Soil Carbon: Science, Management and Policy for Multiple Benefits. 2015. v. 71 p. 243-265.
- DENARDIN, R.B.N. et al. **Estoque de carbono no solo sob diferentes formações florestais, Chapecó - SC**. Ciência Florestal. 2014, v. 24, n. 1, pp. 59-69.

DENEFF, K.; et al. **Carbon Sequestration in Microaggregates of No-Tillage Soils With Different Clay Mineralogy**. Soil Science Society of America. 2004.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. revisada. Rio de Janeiro: EMBRAPA.CNPq, 2011.

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

FERREIRA, E. A. B. **Dinâmica e longo prazo do carbono do solo em sistemas de manejo no cerrado**. Tese de doutorado. UnB, Brasília. 2013.

GATTO, A. **Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33. p. 735-740, 2009.

GRAINGER, A. **Modeling the anthropogenic degradation of drylands and the potential to mitigate global climate change**. 1995. pp. 193–199.

GOÑI, B. Marcelo. **Caracterização e delineamento de banhados: estudo de caso no Banhado do Taim**. UFPEL. Pelotas, 2016.

NZIGUHEBA, G.; et al. **Soil Carbon: a Critical Natural Resource – Wide-scale Goals, Urgent Actions**. Soil Carbon: Science, Management and Policy for Multiple Benefits. 2015. v. 71. p.10-25.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change; **Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment**, Cambridge University Press: Cambridge, 1992.

IPCC. *Intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press; Cambridge, UK: 2001. **Climate change 2001: the scientific basis**.

KERR, R. A. **Vital Details of Global Warming Are Eluding Forecasters**. *Science*, v. 334, p. 173-174, 2011.

LAL, R. et al. **Achieving soil carbon sequestration in the United States: a challenge to the policy makers**. *Soil Science*. v.168 p. 827–845, 2003.

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

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

LAL, R. **Carbon sequestration**. The Royal Society. v. 363. 2007.

LAL, R. **Managing Soil Carbon for Food and Climate**. Presented at the US-UK Scientific Forum on Sustainable Agriculture with National Academy of Sciences (NAS),

Washington, D.C., USA. 5 de março de 2020. Disponível em: <https://youtu.be/uL5OihhgXWc>

LIPINSKI, V.M., SANTOS, T.G **Estrutura e organização espacial de duas comunidades de anuros do bioma Pampa**. Iheringia Série Zoologia 104(4): 462–469. 2014.

MACHADO, P. L. O. de A. **Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global**. Química Nova, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Coordenação-Geral de Mudanças Globais do Clima. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília, 2010.

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

PAUSTIAN, K.; COLE, C. V.; SAUERBECK, D.; SAMPSON, N. **CO<sub>2</sub> mitigation by agriculture: An overview**. Climatic Change. v. 40, p. 135-162, 1998.

RAMANKUTTY, N.J.A. et al. **The global distribution of cultivable lands: current patterns and sensitivity to possible climate change**. Global Ecology and Biogeography, v.11, p. 377-392, 2002.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendência e tipologia**, Porto Alegre, UFRGS/PPGEA, Tese, 240p., 2011.

SATO, M. N.; MIRANDA, H. S. **Mortalidade e recrutamento de plantas lenhosas submetidas a duas queimadas**. In: Simpósio sobre Ecologia do Cerrado: Biodiversidade e Perspectivas para o Século XXI, 2002, Brasília. Simpósio sobre Ecologia do Cerrado: Biodiversidade e Perspectivas para o Século XXI, 2002.

SMITH, P.; et al. **Climate Change and Soil Carbon Impacts**. CAB International 2015. Soil Carbon: Science, Management and Policy for Multiple Benefits.

SOUSA, C. A. de; et al. Avaliação de testes estatísticos de comparações múltiplas de médias. Revista Ceres [online]. 2012, v. 59, n. 3. pp. 350-354.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER-RS/UFRGS, 2002.

STÜRMER, S. L. K. et al. **Variações nos teores de carbono orgânico em função do desmatamento e revegetação natural do solo**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 241-250, 2011.

TEDESCO et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, 1995. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

THENG, B. K. G. **Soil Structure and Aggregate Stability**. Seminar Proceedings. Institute of Irrigation and Salinity Research: Tatura, Australia, 1987.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.213-223, 2011.

WEST, T.O, POST., W.M. **Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis**. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2002.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil**. Communications in Soil Science & Plant Analysis, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

## APÊNDICE A

Relação de imagens da área onde as amostras foram retiradas.













