

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LARISSA DE CARLI BORGES

**AVALIAÇÃO DE FLUXO DE CO₂ A PARTIR DA IMPLANTAÇÃO DA
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA E DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EM
ÁREA COMERCIAL**

**Ilha Solteira - SP
2024**

LARISSA DE CARLI BORGES

**AVALIAÇÃO DE FLUXO DE CO₂ A PARTIR DA IMPLANTAÇÃO DA
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA E DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO EM
ÁREA COMERCIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira -
UNESP como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheira Agrônoma.

Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez
Orientador

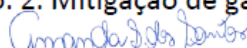
Borges, Larissa de Carli.
B732a Avaliação de fluxo de CO2 em sistemas de integração lavoura-pecuária e de irrigação em área comercial / Larissa de Carli Borges. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
44 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2024

Orientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez

Inclui bibliografia

1. Evapotranspiração. 2. Mitigação de gases do efeito estufa. 3. Irrigação.


Amanda Sertori dos Santos

Bibliotecária - CRB/8-8061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA
ATA DA DEFESA - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

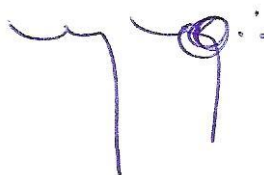
TÍTULO: Avaliação de fluxo de CO₂ a partir da implantação da integração lavoura-pecuária e de sistemas de irrigação em área comercial

ALUNO: *Larissa de Carli Borges* RA: 182053903

ORIENTADOR: Fernando Braz Tangerino Hernandez

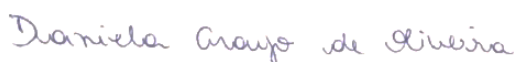
Aprovado (X) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 10,0 (dez)

Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

Presidente (Orientador)



Profa. Me. Daniela Araújo de Oliveira



Profa. Dra. Keila Rêgo Mendes



Larissa de Carli Borges

Ilha Solteira, 03 de janeiro de 2024.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu irmão Luis Henrique de Carli Borges que finalizou sua jornada antes da conclusão da minha Graduação, foi ele um dos meus maiores incentivadores, ele quem vibrou comigo com a aprovação e a realização do meu maior sonho. Aos meus pais por serem sempre fortaleza, mesmo diante da difícil perda e da distância me apoiaram para que eu pudesse realizar meu sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Sandra e Gilmar, que apesar das longas distâncias sempre foram base de incentivo e apoio, eles juntamente com meus primos, primas, tios e tias sempre me passaram segurança, conforto e nunca me deixaram desistir. À República Só Fadinhas, que foi minha casa durante 5 anos, a todas as moradoras que me acolheram e se fizeram presentes durante a minha caminhada, em especial à Angela e Giovanna, que se tornaram mais do que companheiras de casa. Um agradecimento especial à Gabriela, que esteve comigo desde o princípio enfrentando as dificuldades de morar longe da família e a lidar com as perdas que houveram durante o período. Aos meus amigos(as) Isabela, Leonardo, Letícia e Vinicius por todo apoio durante o decorrer do curso.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP por ter proporcionado uma excelente base de aprendizado, a qual possibilitou meu ingresso no mercado de trabalho juntamente com o bom desempenho de atividades práticas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez que sempre apresentou muito zelo com os orientados a fim de contribuir com a formação destes acarretando na construção de ótimos profissionais, também ao tempo investido por ele no intuito de atender as frequentes dúvidas. À toda equipe da Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP, em especial a Daniela Araújo de Oliveira, sempre disposta a contribuir com o enriquecimento do aprendizado.

Ao CNPq, que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho por meio do financiamento pela Bolsa PIBIC - Iniciação Científica e também pelo financiamento do projeto 404.229/2013-1 (Geotecnologias para quantificação de variáveis hídricas em bacias hidrográficas com mudanças de uso da terra), sob coordenação do Dr. Antonio Heriberto de Castro Teixeira, que possibilitou a aquisição do sistema Eddy Covariance.

Por último, mas não menos importante, à Deus, que me proporcionou saúde, sabedoria e disposição para desempenhar com excelência as atividades desenvolvidas.

“Todo aquele que pede, recebe; quem procura, acha; e a quem bate, a porta será aberta”. Lc 11, 10.

RESUMO

O termo “sequestro de carbono” vem sendo bastante discutido em diversas áreas de conhecimento, devido ao fato de apresentar estratégias relevantes para a redução da emissão dos gases do efeito estufa (GEE). Áreas irrigadas convertem o cenário de cultivos degradados além de garantirem o suprimento de alimentos em momentos que o clima apresenta constantes mudanças. O trabalho teve como objetivo identificar diferentes áreas de usos do solo de uma fazenda comercial e do seu entorno a fim de obter, através de sensoriamento remoto e o Eddy Covariance o fluxo de CO₂ de áreas onde não é possível a instalação de equipamentos, avaliar o comportamento das variáveis agroclimáticas: temperatura do ar, umidade relativa do ar (RH) e déficit de pressão de vapor (VPD) e a variável de sustentabilidade, o fluxo de CO₂ (net ecosystem exchange of carbon dioxide - NEE), observando a variação durante as diferentes fases fenológicas das culturas instaladas soja e milho. Estudo conduzido em área comercial, no Município de Cassilândia - MS, que passou a adotar a partir de novembro de 2020 a integração lavoura pecuária e outras práticas ambientais, como o reflorestamento, com o conceito de agropecuária integral, no período de 2021 e 2022, onde foi cultivado na área, respectivamente, soja e milho. A área comercial estudada que é composta por aproximadamente 1.322 mil hectares no total, dentro desta 147 hectares são irrigados por pivô central, em conjunto com integração lavoura-pecuária. Durante o cultivo da soja foi possível observar a dinâmica de NEE durante o período analisado, e para a soja este se aproximou do chamado carbono neutro, com um balanço de -0,567 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, próximo da equivalência 0. Já o milho na relação final atingiu 149% a mais de sequestro de carbono quando comparado os valores de emissão e absorção, isso porque durante este período ocorreu maior absorção de CO₂ com uma menor respiração do ecossistema, com um balanço de -119,580 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Tendo ambas as culturas com benefícios em relação ao CO₂, sendo este foi proveitoso para o desenvolvimento e principalmente para o meio ambiente, visto que as taxas de NEE são altas, mesmo quando ficam próximas do neutro.

Palavras-chave: Evapotranspiração; mitigação dos gases do efeito estufa; irrigação.

ABSTRACT

The term "carbon sequestration" has been widely discussed in various fields of knowledge due to its presentation of relevant strategies for reducing greenhouse gas (GHG) emissions. Irrigated areas not only transform the landscape of degraded crops but also ensure food supply during moments of constant climate changes. The objective of this study was to identify different land use areas within a commercial farm and its surroundings, using remote sensing and Eddy Covariance to measure the CO₂ flux in areas where equipment installation is not feasible. The study aimed to evaluate the behavior of agroclimatic variables, such as air temperature, relative humidity (RH), vapor pressure deficit (VPD), and the sustainability variable, CO₂ flux (net ecosystem exchange of carbon dioxide - NEE), observing variations during different phenological phases of cultivated soybeans and corn. The research was conducted in a commercial area in the municipality of Cassilândia - MS, which adopted integrated crop-livestock practices and other environmental practices, such as reforestation, starting in November 2020, following the concept of integral agriculture in the years 2021 and 2022. Soybeans and corn were cultivated in the area during these periods. The studied commercial area comprises approximately 1,322 thousand hectares in total, with 147 hectares irrigated by central pivots in conjunction with crop-livestock integration. During soybean cultivation, the NEE dynamics were observed during the analyzed period, and for soybeans, it approached the so-called carbon-neutral, with a balance of $-0.567 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, close to the equivalence of zero. In the final assessment, corn achieved 149% more carbon sequestration compared to the emission and absorption values. This was because there was greater CO₂ absorption and less ecosystem respiration during this period, resulting in a balance of $-119.580 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Both crops demonstrated benefits regarding CO₂, proving advantageous for development and, especially, the environment, as NEE rates remained high, even when close to neutral.

Keywords: Evapotranspiration; mitigation of greenhouse gases; irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Ciclo do Carbono.....	16
Figura 2	- Pivô da fazenda comercial contornado por áreas de pastagens.....	21
Figura 3	- Área de pastagem próxima à fazenda comercial.....	22
Figura 4	- Pivô da fazenda comercial.....	22
Figura 5	- Pivô da fazenda comercial.....	23
Figura 6	- Montagem da torre e instalação dos sensores de leituras micrometeorológicas.....	25
Figura 7	- Torre de sensores micrometeorológicos montada.....	25
Figura 8	- Anemômetro sônico tridimensional IRGASON.....	26
Figura 9	- Montagem do EC100.....	26
Figura 10	- Mapa de uso e ocupação do solo fazenda comercial.....	29
Figura 11	- Mapa de uso e ocupação do solo do entorno da fazenda comercial....	29
Figura 12	- Regressão linear entre NEE e Eta obtida pelo Safer para fazenda comercial.....	32
Figura 13	- Regressão linear entre NEE e Eta, ambos obtidos pelo Eddy Covariance para fazenda comercial.....	33
Figura 14	- Médias diárias das variáveis agrometeorológicas: temperatura do ar, umidade relativa do ar (RH) e déficit de pressão de vapor (VPD) - Soja e Milho.....	34
Figura 15	- Interação entre as variáveis agroclimatológicas e de sustentabilidade.	36
Figura 16	- Variável de sustentabilidade - troca líquida de CO ₂ (NEE).....	37
Figura 17	- Troca líquida de CO ₂ (NEE) na cultura da soja.....	38
Figura 18	- Troca líquida de CO ₂ (NEE) na cultura da milho.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Soma das áreas de acordo com a classificação da fazenda.....	30
Tabela 2	- Soma das áreas de acordo com a classificação do entorno da fazenda....	31
Tabela 3	- Dados de NEE e Eta obtidos pelo Eddy Covariance e pelo algoritmo SAFER para a fazenda comercial.....	32
Tabela 4	- Dados de Eta obtidos pelo algoritmo SAFER para o entorno da fazenda comercial.....	33
Tabela 5	- Médias mensais das variáveis durante o período - Soja e Milho.....	35
Tabela 6	- CO ₂ absorvido no intervalo das 7:00 às 15:00 horas durante o ciclo da soja e do milho.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Efeito estufa e aquecimento global	15
2.2	Ciclo do Carbono	15
2.3	Estratégias para o sequestro de CO ₂	16
2.4	Irrigação	17
2.5	Sensoriamento Remoto.....	18
2.6	Evapotranspiração	18
2.7	Eddy Covariance	19
2	OBJETIVO GERAL	19
2.1	Objetivos específico	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	Área de estudo.....	20
3.2	Uso e ocupação do solo.....	21
3.3	Algoritmo SAFER e obtenção da Eta	23
3.4	Método de Covariância dos Vórtices Turbulentos.....	25
3.5	Indicadores agroclimatológicos e de sustentabilidade ambiental	28
3.6	Análise de dados.....	28
4	RESULTADO E DISCUSSÃO	29
4.1	Uso e ocupação do solo.....	29
4.2	Correlação NEE e ETa (SAFER) do ciclo da soja.....	32
4.3	Variáveis agroclimáticas.....	34
4.4	Indicador de sustentabilidade e avaliação do fluxo de CO ₂ nas diferentes fases fenológicas das culturas.....	37
5	CONCLUSÃO	40
6	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

No Brasil a área ocupada por pastagens corresponde a 21% do território nacional compreendendo uma área de aproximadamente 170 milhões de hectares e destes cerca de 44,3 milhões de hectares apresentam degradação severa (SANTOS; MESQUITA; PARENTE, 2020). Para reverter o cenário das pastagens degradadas e promover a renovação do solo tem-se a opção de fazer o uso da integração Lavoura-Pecuária (ILP), a qual consiste na rotação lavoura/pecuária resultando em maior eficiência produtiva. A ILP promove o uso eficiente da terra proporcionando agregação de valores, redução de custos de produção em relação ao controle de pragas, doenças e plantas invasoras e a recuperação das propriedades produtivas do solo (GALHARTE; CRESTANA, 2010). Com isso a ILP é uma das diversas técnicas que contribui com a melhoria da sustentabilidade na agropecuária brasileira.

A agricultura e agropecuária sustentável são conceitos que em discussões, tanto em áreas de conhecimentos como na sociedade em geral, vem sendo amplamente difundidos e tem ganhado um espaço significativo. Portanto, para a realização destas práticas é necessário que ocorra o benefício entre questões sociais, energéticas e econômicas, em conjunto com a preservação do meio ambiente sem que ocorra comprometimento dos recursos naturais para as futuras gerações. Perante esta perspectiva alguns sistemas integrados se destacam como: integração lavoura-pecuária e pecuária-floresta (ILPF) (BORGES; CALONEGO; ROSOLEM, 2019; SOGLIO; KUBO, 2016).

Os adotantes de ILP são produtores que possuem mais tempo de experiência com atividades agrícolas, recebem mais visitas de orientação técnica, apresentam de forma mais frequente o uso de mecanismos de gestão do risco climático e econômico, o acesso ao crédito rural, propriedades mais extensas e estrutura robusta de máquinas e implementos agrícolas. Os que consideram ILPF contam com outra fonte de renda, conferindo maior flexibilidade (VINHOLIS *et al.*, 2020).

De acordo com Szakács (2003) existe uma boa relação entre o manejo do pasto e o estoque de carbono do mesmo, concluindo então a existência da potencialidade de maior estoque de carbono do solo quando se adota um melhor manejo. As práticas agrícolas que promovem a redução de emissão dos gases de efeito estufa (GEE) são várias como: recuperação de pastagens, ILP, reflorestamento, fixação biológica de nitrogênio, tratamento de dejetos animais, adaptação às mudanças climáticas e ampliação de área com plantio direto (BUNGENSTAB *et al.*, 2019).

O setor agrícola e as mudanças no uso do solo contribuem respectivamente com 22% e 51% de emissões estimadas de GEE no Brasil. Houve uma redução de 2% de emissões líquidas de GEE, a qual passou de 1,43 GtCO₂eq em 1990 e chegou em 1,40 GtCO₂eq em 2015, isso devido a remoção de CO₂ da atmosfera por meio de alterações do uso da terra. O “sequestro de carbono” é um termo que representa as estratégias relevantes para a redução da emissão dos GEE, um destes processos é a captura do CO₂ pelas plantas e a transformação do mesmo por meio da fotossíntese, após a incorporação pelas plantas este elemento passa a desempenhar inúmeras funções na formação da biomassa e no metabolismo vegetal, compondo compostos orgânicos como: carboidratos, proteínas, lipídeos, aminoácidos, ácidos orgânicos, entre outros. (BUNGENSTAB *et al.*, 2019).

Além dos benefícios promovidos pela ILP, quando associada ao sistema de plantio direto ocasiona ainda mais melhoras. No sistema de plantio direto o plantio é feito sobre os resíduos de colheita que são deixados no solo, estes resíduos contribuem para a conservação de água no solo pois geram uma menor evapotranspiração, além disso contribui na redução na emissão de CO₂ suavizando os gases do efeito estufa e armazenando mais carbono no solo (CHI *et al.*, 2016). Conforme o estudo realizado por Pires (2021) tem-se a recomendação da prática da ILP, no Cerrado do leste maranhense, pois caracterizou-se como sistema de manejo do solo que teve maior acúmulo de C no solo, sendo de 0,35 e de 0,38 MG de C ha⁻¹ ano⁻¹, quando coparado com o sistema de plantio convencional de soja, o qual apresentou perda de 0,20 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹. Segundo um estudo feito por Alves (2017), durante o ano de 2016, a troca líquida do ecossistema (NEE) em pastagem natural variou de -30 a 15 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, sendo esta variável diretamente influenciada pelo aumento da temperatura do ar, e tendo este ecossistema uma caracterização como sumidouro de carbono.

A estiagem pode provocar impactos nas plantas, as quais diminuem a produção devido ao estresse hídrico. Para contornar situações de déficit hídrico, a irrigação é uma excelente ferramenta pois fornece água para a cultura na quantidade e momento certo. Assim como em diferentes culturas a necessidade de água para pastagens é dependente da espécie da planta, do estágio de desenvolvimento, das características do solo e da atmosfera e a ocorrência de estiagem prolongada pode gerar a redução ou paralização seguida da morte da planta (SILVEIRA; TRENTIN, 2019). Segundo Oliveira *et al.* (2021) a evapotranspiração é maior em áreas irrigadas, decorrente de mais processos de respiração da planta, portanto maior também a frequência de fotossíntese em ambientes irrigados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Efeito estufa e aquecimento global

O efeito estufa é um fenômeno natural e fundamental para a vida na Terra. Certos gases na atmosfera, como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e vapor d'água, permitem a passagem da luz solar, mas retêm o calor emitido pela superfície da Terra, ou seja, ocorre a passagem da radiação vinda do sol e absorvem aquela emitida pela Terra, reemitindo-a nos dois sentidos, para baixo e para cima. A parte que é reemitida para baixo é novamente absorvida pela superfície e reemitida para a atmosfera, tendo então a repetição do processo. Esse “aprisionamento” de energia faz com que a temperatura aumente e que seja criada uma temperatura média global adequada para a vida (COSTA; PITTOL; MOTTA, 2021).

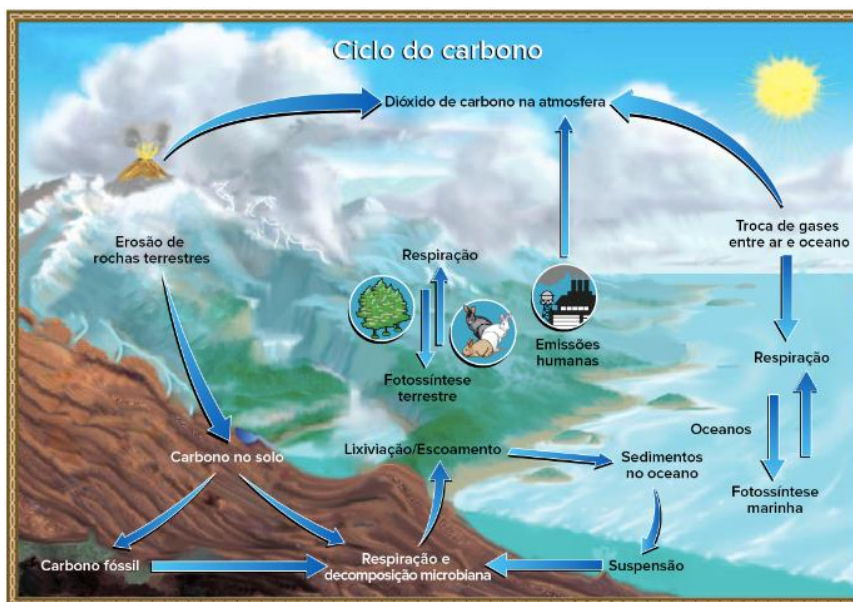
O aquecimento global é decorrência das grandes concentrações de gases de efeito estufa que aumentam gradualmente a temperatura média da superfície da Terra, além do aumento de temperaturas é possível observar mais evidências acarretadas por esta atividade como o derretimento de gelo e neve que ocorre em regiões polares com a diminuição do tamanho das geleiras e o aumento do nível do mar que é resultado do derretimento das calotas polares, tendo a expansão térmica dos oceanos e dos contribuintes para o aumento do nível do mar. A alteração climática gera uma série de efeitos graves, que são alertados por cientistas, além dos citados anteriormente tem-se a mudança nos padrões de chuva, secas, migração de áreas agrícolas, estes refletem diretamente na diminuição da produção de alimentos (LOOSE; MORAES, 2018). Neste contexto, destaca-se a urgência em reduzir as emissões dos gases de efeito estufa, promovendo esta ação por meio de práticas sustentáveis e o desenvolvimento de estratégias de adaptações para lidar com os impactos inevitáveis das mudanças climáticas.

2.2 Ciclo do Carbono

O carbono é de extrema importância para a manutenção da vida na Terra visto que o mesmo compõe moléculas orgânicas como os carboidratos, lipídeos e proteínas. O ciclo desse elemento consiste na movimentação deste entre componentes atmosféricos, geosféricos (rochas), hidrosféricos (água) e biosféricos (organismos vivos), envolvendo processos físicos, químicos e biológicos como mostra a Figura 1.

Ocorre a fixação do carbono quando durante a fotossíntese as plantas convertem o dióxido de carbono (CO_2) e água em glicose e oxigênio usando a energia solar, ao consumirem as plantas estes organismos consumidores obtêm o carbono, o mesmo ocorre quando organismos consumidores se alimentam de outros organismos consumidora, sendo esta a transferência de carbono na cadeia alimentar. Na respiração o CO_2 é liberado de volta para atmosfera, ocorrendo em organismos que realizam a respiração celular e consomem oxigênio para obter energia, outra forma de liberação de CO_2 é através da decomposição, onde bactérias e fungos decompositores decompõem matéria orgânica morta, liberando CO_2 de volta para o solo ou para a água, tem-se também o processo de combustão que consiste na queima de materiais orgânicos, como a madeira, liberando CO_2 na atmosfera.

Figura 1 - Ciclo do carbono.



Fonte: OpenStax, ciclos biogeoquímicos.

2.3 Estratégias para o sequestro de CO_2

A alta demanda por alimentos é decorrência do crescimento global, contudo existe uma pressão sobre os recursos terrestre e hídricos do nosso planeta (ROSA et al., 2020). Para converter este cenário os cultivos irrigados tem grande influencia, visto que garantem o suprimento de alimentos em momentos que o clima apresenta constantes mudanças. Com o objetivo de expandir e desenvolver sistemas sustentáveis de cultivos irrigados, o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) que conduz a Política Nacional de Irrigação, no Brasil, implantou o Programa Nacional de Agricultura Irrigada 2019-2029, que se estruturou em

cinco eixos estratégicos sendo eles: incentivo à agricultura irrigada (1), polos de agricultura irrigada (2), melhoria da gestão dos projetos públicos de irrigação (3), implantação de unidades de referência para o desenvolvimento da agricultura irrigada (4) e a Câmara Setorial de Irrigação (5) (BOLETIM AGRICULTURA IRRIGADA, 2019).

Três premissas foram desenvolvidas como estratégias para sequestrar carbono em áreas irrigadas, a primeira consiste em através da mudança no uso do solo alterar os ciclos de carbono e de outros elementos, assim, em escala global, melhorar as consequências ambientais. A segunda premissa teve como base o fato da dependência da ciclagem do carbono na produtividade primária dos sistemas, tendo o solo funcionando como um microbioma que depende da taxa de adição e decaimento de carbono para a ocorrência de mineralização por exemplo, que depende da ciclagem de carbono, neste processo os nutrientes são liberados para que as plantas completem o seu ciclo. A terceira premissa, é de que mesmo ocorrendo uma variação do tipo de solo, clima, taxa de decaimento pré-existente, manejo do solo e das culturas e práticas conservacionistas, que alteram o tempo de ocorrência desse caso, o solo armazena carbono adicional ao seu equilíbrio (GIONGO; ANGELOTTI, 2022).

2.4 Irrigação

A quantidade de água exigida para um cultivo vai de acordo com a necessidade de cada cultura, em conjunto com cada fase de desenvolvimento, ou seja, na mesma cultura a quantidade de água necessária varia, assim a irrigação visa suplementar a necessidade da planta, complementando portanto o que é fornecido pelas outras fontes, sendo elas solo e chuva (ANA, 2019).

O ato de irrigar ocorre por meio de equipamentos que permitem essa atividade, existem sistemas específicos de irrigação, contudo, no geral, os sistemas são compostos por uma estação de bombeamento, um sistema de transporte, um sistema de distribuição, um sistema de aplicação de campo e um sistema de drenagem (FAO, 2016). Tem-se portanto, diversas maneiras de realizar um cultivo irrigado, seja por meio da superfície, pela irrigação localizada ou por meio da aspersão, nesse caso tendo a aspersão convencional e o sistema de pivô central.

A irrigação é um suplemento tecnológico que é capaz de proporcionar a aplicação adequada de água, na quantidade certa e no momento exato, contudo apresenta alto custo, assim a aplicação indiscriminada de água sem base técnica acarreta além do desperdício de água mas também de energia, originando gastos desnecessários (COELHO *et al.*, 1982).

2.5 Sensoriamento Remoto

Um algoritmo considerado de simples aplicação e que tem tido destaque devido ao fato de apresentar bons resultados na estimativa da ET é o *Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving* - SAFER, este foi desenvolvido com base na equação de Penman-Monteith e para a aplicação são necessários dados diários de evapotranspiração de referência (ET_0), radiação global (R_s) e temperatura média do ar (T_a) que são obtidos por meio de estações agrometeorológicas, para que chegue ao balanço de energia, juntamente com os parâmetros obtidos por sensoriamento remoto, assim ao definir a relação ET_a/ET_0 é possível obter individualmente a ET_a que é uma ferramenta no auxílio do manejo da irrigação (TEIXEIRA *et al.*, 2013; TEIXEIRA, 2010).

Importantes gargalos agrícolas podem ser solucionados ao aliar ferramentas de sensoriamento remoto com dados meteorológicos, como por exemplo na cultura do amendoim, um dos principais gargalos é a indicação do momento ideal do arranquio, sendo esta uma informação fundamental, a qual tradicionalmente tem um método de identificação moroso, a utilização do *Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving* - SAFER nesta situação é vantajosa, uma vez que faz a utilização de imagens ao longo do ciclo da cultura (ALMEIDA, 2022).

2.6 Evapotranspiração

O requerimento de água pela cultura é determinado por meio de medidas diretas de alguns parâmetros agroclimáticos de superfície e de plantas, esses parâmetros consistem num processo combinado de transpiração da planta e da evaporação direta das superfícies do solo e das plantas, ou seja, a Evapotranspiração (ET). Realizar as medições desses parâmetros de forma automática e em tempo real facilita a obtenção da ET, que pode ser medida tanto por meio de lisímetros ou estimada por equações sustentadas em dados climatológicos. Obtendo os valores da Evapotranspiração de Referência (E_{to}) juntamente com os coeficientes de cultura pode-se determinar a ET (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008).

A Evapotranspiração de Referência é a taxa de evapotranspiração tida por meio de uma superfície de referência sem restrições hídricas, essa superfície tem como cultura de referência a grama que deve se manter em uma altura uniforme. Ela pode ser determinada com a utilização de diversos métodos, contudo o entendido como mais preciso é o da equação

de Penman-Monteith constante do Boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1998), está equação tem como base a radiação global, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica, os sensores agrometeorológicos que coletam essas informações ficam sobre uma cobertura vegetal, sem restrições hídricas e que apresente as mesmas características de estagio ao longo do ano (ALLEN et al., 1998). A Evapotranspiração Atual (ETa) pode ser determinada aplicando diferentes algoritmos em imagens de satélites, ela consiste na evapotranspiração da cultura, com ou sem déficit hídrico, no momento da passagem no satélite (OLIVEIRA, 2020).

O coeficiente de cultura (K_c) é descrito e tabelado por Allen et al. (1998), a variação deste coeficiente expressa as mudanças na vegetação e no grau de cobertura do solo (ALLEN et al., 1998).

2.7 Eddy Covariance

O Eddy Covariance é um método de Covariância dos Vórtices Turbulentos que vem sendo amplamente utilizada para realizar a medição de fluxos de energia, vapor de água e de CO_2 em diversos ecossistemas, assim acarretando no melhor entendimento dos processos biofísicos responsáveis pela dinâmica dos fluxos e a variação espacial e temporal dos mesmos (BALDOCCHI, 2003)

Este método fornece uma medida direta da densidade de fluxo por meio da interface atmosfera-ecossistema, sem afetar o meio, como a vegetação e o solo, sendo este um método que mede as trocas gasosas de uma área, para realizar a medição o sistema é equipado com um anemômetro sônico tridimensional (3-D), o qual realiza a medição da velocidade do vento e temperatura, um infravermelho de resposta rápida, que é um analisador de H_2O , medindo as concentrações ou densidades de CO_2 e H_2O , esses dados são obtidos numa frequência de 10 a 20 Hz (ZHOU et al., 2022)

2 OBJETIVO GERAL

Objetiva-se com esse trabalho estimar os indicadores agroclimatológicos e de sustentabilidade ambiental a partir da implantação das técnicas de ILP e uso de sistema de irrigação com foco nas trocas de CO_2 na área comercial, de novembro de 2021 à agosto de 2022. Os indicadores foram obtidos pela combinação de dados de estações

agrometeorológicas, sistema de covariância turbulentas (*Eddy covariance*) e sensoriamento remoto.

2.1 Objetivos específico

Construir um mapa de uso e ocupação do solo, a fim de classificar e dividir a área estudada de acordo com cada tipo de uso do solo.

Avaliar as variáveis agroclimáticas sendo: temperatura do ar, umidade relativa (RH) e déficit de pressão de vapor (VPD), a fim de observar as interações entre estas.

Estimar a evapotranspiração atual (ETa) durante o ciclo da soja para a área de estudo, na fazenda e no entorno da mesma, através do algoritmo SAFER, utilizando dados climáticos obtidos das estações meteorológicas do INMET e imagens de satélites.

Obter uma correlação entre a ETa e a troca líquida de CO₂ (net ecosystem exchange of carbon dioxide - NEE).

Avaliar o comportamento do fluxo de CO₂ nas diferentes culturas avaliadas, comparando as diferentes fases fenológicas da soja e do milho implantados na área.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em área comercial, com solo classificado como um Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2006) localizada em uma altitude de 574 m, no Município de Cassilândia - MS, com coordenadas geográficas de Latitude 18° 53' 2" S e Longitude 52° 10' 54" W, que passou a adotar a partir de novembro de 2020 a integração lavoura pecuária e outras práticas ambientais, como o reflorestamento, com o conceito de agropecuária integral.

Nos anos de 2021 e 2022 foi cultivado na área, respectivamente, soja e milho. A soja implantada foi a cultivar Soy Tech 797 (ST 797), licenciada pela BASF (BASF, 2023), tem grupo de maturação 7,9 e apresenta rusticidade, a semeadura ocorreu no dia 18/11/2021 e a colheita no dia 19/03/2022. O híbrido cultivado foi o KWS 9960, híbrido precoce, e teve semeadura em 07/04/2022 e colheita em 12/08/2022

A área total avaliada apresenta 67.526 mil hectares, dentro desta área encontra-se a área comercial estudada que é composta por aproximadamente 1.322 mil hectares no total,

dentro desta 147 hectares são irrigados por pivô central, em conjunto com integração lavoura-pecuária. A região apresenta um clima definido como tropical úmido, ou seja, uma estação seca no inverno e chuvosa no verão (CARDOSO, 2012). O município de Cassilândia - MS apresenta um histórico de meses com deficiência hídrica de abril à outubro, tendo como mais críticos os meses de junho e julho, de maneira geral, valor anual de acumulado histórico de chuvas de 1.202 mm de precipitação, o qual na região é inferior a evapotranspiração de referência, que historicamente apresenta um acumulo anual de 1.464 mm, o que acarreta a ocorrência de déficits hídricos (BORGES; HERNANDEZ; FAUVEL, 2021; DONÁ; HERNANDEZ; FAUVEL, 2021)

3.2 Uso e ocupação do solo

Para atingir o objetivo de mapear os diferentes usos do solo, da fazenda comercial e do entorno da mesma, foram utilizadas imagens, no período de novembro de 2021 até agosto de 2022, do satélite Landsat 8 (LDCM - Landsat Data Continuity Mission), órbita 223 e ponto 073, e o software Qgis para a confecção dos mapas.

Inicialmente foram coletadas informações sobre a fazenda e a região por meio de visitas ao local, o que resultou em um banco de imagens que contribuíram para melhor e mais assertiva a classificação dos diferentes usos do solo, como apresentam as Figuras 2, 3, 4 e 5. Na área comercial as divisões das classes de uso foram em área do pivô, vegetação nativa, eucalipto, pastagem zuri, pastagem brachiaria, reflorestamento, confinamento, silo, piquetes, pátio e casa de bombas, já na região que contorna a área comercial os usos foram nomeados em cultura perene, cultura anual, pastagem, solo exposto, vegetação nativa e área de pivô central.

Figura 2 - Pivô da fazenda comercial contornado por áreas de pastagens.



Fonte: Google Earth, 2021.

Figura 3 - Área de pastagem próxima à fazenda comercial.



Fonte: Elaboração da própria autora, 2021.

Figura 4 - Pivô da fazenda comercial.



Fonte: Irrigaterra, Dia da Agropecuária irrigada, 2021.

Figura 5 - Pivô da fazenda comercial.



Fonte: Irrigaterra, Dia da Agropecuária irrigada, 2021.

Após a classificação dos diferentes usos do solo foram extraídas dos mapas informações das áreas totais de cada identificação, estes mesmos mapas foram utilizados para a extração dos valores médios da Eta no período da cultura da soja para cada local classificado.

3.3 Algoritmo SAFER e obtenção da Eta

O algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) é uma metodologia descrita por Teixeira et al. (2010) que permite obter a evapotranspiração atual a partir da razão entre a evapotranspiração atual e a evapotranspiração de referência. Para a obtenção dos parâmetros obtidos por sensoriamento remoto como: a reflectância de cada banda, albedo planetário, albedo de superfície (α_0), saldo de radiação, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível, fluxo de calor no solo, temperatura de brilho das bandas 10 e 11, radiação solar global incidente, radiação de onda longa emitida pela superfície terrestre, radiação de onda longa emitida pela atmosfera, temperatura de superfície (T_0) e índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), foi aplicada a metodologia descrita por Teixeira et al. (2013).

No cálculo da evapotranspiração atual - ET_a , foram utilizados os dados de albedo de superfície (α_0), temperatura de superfície (T_0) e NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), os quais foram destinados para o cálculo dos valores instantâneos da relação ET_a/ET_0 (Equação 1), para o coeficiente “a” foi utilizado o valor 1,0 (HERNANDEZ et al., 2014) e para o coeficiente “b” -0,008 (TEIXEIRA et al., 2010)

$$\frac{ET_a}{ET_0} = \exp \left[a + b \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (1)$$

Em seguida os valores instantâneos dessa relação foram multiplicados pelos valores diários da ET_0 , chegando assim à ET_a , conforme a Equação 2:

$$ET_a = ET_0 \times \frac{ET_a}{ET_0} \quad (2)$$

As variáveis agrometeorológicas temperatura e umidade do ar, velocidade do vento, radiação global, radiação líquida, necessárias para a aplicação do SAFER foram obtidas por meio do Banco de Dados Meteorológicos do INMET, coletados das unidades de Cassilândia e Água Clara, para enfim obter a evapotranspiração de referência (ET_0) em base diária, que foi estimada pela equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) e a evapotranspiração atual, bem como a relação ET_a/ET_0 e as demais relações obtidas através do modelo SAFER.

As imagens coletadas para a obtenção da ET_a foram selecionadas do satélite Sentinel 2, selecionando imagens com ausência de nuvens, tendo portando 4 imagens, uma para cada dia: 26/12/2021, 24/02/2022, 06/03/2022 e 16/03/2022. Todo o processamento foi realizado nos

softwares ILWIS Academic, posteriormente foi preciso extrair os dados obtidos no processamento para cada região classificada nos mapas de uso e ocupação do solo, esta etapa foi realizada utilizando o software Qgis.

3.4 Método de Covariância dos Vórtices Turbulentos

O método de correlações turbulentas (Eddy Covariance) foi utilizado para medir o fluxo de CO_2 , para isso foi instalada na área de estudo uma torre com instrumentos que realizam a leitura de dados micrometeorológicos, conforme mostram as Figuras 6 e 7.

A torre foi instalada com altura de 2 mestros e foi composta por 2 registradores de dados, um deles sendo o CR3000 (Campbell Scientific Instruments, Utah, EUA), que registra dados de um anemômetro sônico tridimensional IRGASON (Campbell Scientific, Logan, Utah, USA), Figura 8, tendo este sido posicionado levando em consideração a direção do vento predominante do local, o EC100 que controla a medição dos dados do IRGASON, apresentado na figura 9, o CNR4 (Kipp & Zonen, Delft, Netherlands) que é um sensor de radiação líquida, este consiste em realizar a medição de ondas longas e ondas curtas, também um sensor de fluxo de calor o HFP01-L (Campbell Scientific Instruments, Utah, EUA).

Figura 6 - Montagem da torre e instalação dos instrumentos de leituras micrometeorológicas.



Fonte: Elaboração da própria autora, 2021.

Figura 7 - Torre de instrumentos micrometeorológicos montada.



Fonte: Elaboração da própria autora, 2021.

Figura 8 - Anemômetro sônico tridimensional IRGASON.



Fonte: Elaboração da própria autora, 2021.

Figura 9 - Montagem do EC100.



Fonte: Elaboração da própria autora, 2021.

O IRGASON é um analisador de absorção de infravermelho médio, e está integrado ao anemômetro sônico tridimensional, dentre as medições que este analisador fornece tem-se a de dióxido de carbono, já o anemômetro sônico mede os componentes ortogonais do vento.

O outro registrador de dados é o CR 1000 (Campbell Scientific Instruments, Utah, EUA), que registra os dados de um piranômetro (LI -200 LI-COR SENSOR), um barômetro CS-160 (Vaisala), um sensor de direção de velocidade do vento (03001), um pluviômetro CS700-L (Hydrological Services Pty. Ltd., Sidney, Austrália), uma sonda que monitora o potencial matricial do solo e consequentemente o conteúdo de água volumétrica nele presente (Sentek, modelo Drill & Drop) e um sensor o Quantum Sensor LI-190R (LI-COR) um sensor que mede a radiação fotossinteticamente ativa.

Controle de qualidade de dados e detecção de outliers. O pós-processamento dos dados foi realizado em três etapas: (i) dados avaliação da qualidade, rejeitando dados de baixa qualidade, dados associados ao mau funcionamento dos sensores e dados visivelmente inconsistentes; (ii) os dados foram submetidos a um algoritmo robusto de detecção de outliers, conforme proposto na literatura⁷³; (iii) devido às condições de baixa turbulência durante a noite, todos os dados de fux noturno foram rejeitados se a velocidade de atrito (u^*) ficou abaixo de um limite crítico (de 0,18 a 0,34ms⁻¹) (CAMPOS *et al.*, 2019; PAPALE *et al.*, 2006).

Fatores bióticos podem interferir na coleta dos dados, um exemplo são insetos e aves que podem circular com facilidade pelo sensor e construir ninhos acarretando em resultados errôneos, portando os dados obtidos através do IRGASON foram processados e pós-processados, garantindo veracidade com a eliminação de dados errôneos que estavam presentes e interferiam na análise.

Dentro da área de interesse a região que tem a melhor contribuição para a coleta de dados pelo analisador IRGASON, o denominado *footprint*, fica entre 4 metros e 60 metros à frente do equipamento, ou seja, é a distância que tem melhor contribuição para os resultados dos fluxos.

3.5 Indicadores agroclimatológicos e de sustentabilidade ambiental

A compreensão do sequestro de carbono é de grande importância para a agricultura, visto que os ecossistemas agrícolas têm grande potencial para mitigar as emissões de GEE das terras agrícolas, por meio do “sequestro de carbono” realizado pela fotossíntese (BUNGENSTAB *et al.*, 2019). Em 2020, a área comercial que foi analisada, contava com grandes áreas de pastagens degradadas as quais passaram a ter mais atenção em 2021 e 2022 a partir da adoção da ILP, do reflorestamento de alguns piquetes e principalmente da agricultura irrigada, portanto com a otimização do uso do solo nesta área segue para um caminho onde as terras de cultivo podendo funcionar como sumidouros de carbono.

O Eddy Covariance forneceu os dados de fluxo de CO₂ da área comercial que consiste na troca líquida de carbono (net ecosystem exchange of carbon dioxide - NEE), ou seja, a troca líquida de carbono no sistema o qual compreende um indicador de sustentabilidade ambiental, também foram obtidos dados de fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H), velocidade de atrito do vento (u_{star}), temperatura do ar (Tc), umidade relativa (RH), déficit de pressão de vapor (VPD) e temperatura do solo (Ts), que são os indicadores agroclimáticos.

3.6 Análise de dados

Após o processamento e pós-processamento dos dados obtidos por meio do Eddy Covariance estes foram separados em tabelas, uma para cada cultura, considerando o ciclo de

cada uma. As variáveis de indicadores agroclimáticos e de sustentabilidade foram compiladas para médias horárias e diárias.

A NEE foi comparada com os indicadores agroclimáticos a fim de observar a interação deste com o ambiente ao longo das mudanças nos usos do solo local.

Foi realizada uma regressão linear entre a média diária da NEE e a Eta obtida por imagens de satélite que foram processadas com o algoritmo SAFER para então obter uma equação que simplifica encontrar a NEE em áreas distintas nas quais teremos a ausência de sensor de medição de fluxo de CO₂ mas a presença da Eta.

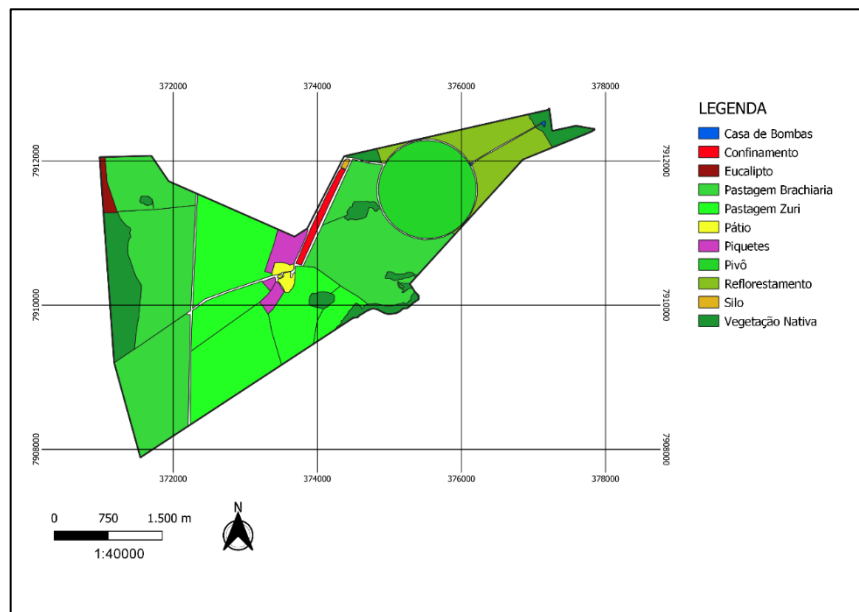
A NEE também foi avaliada de acordo com as fases fenológicas de cada cultura a fim de observar a interação das plantas com o meio ambiente em seus diferentes estágios de desenvolvimento.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Uso e ocupação do solo

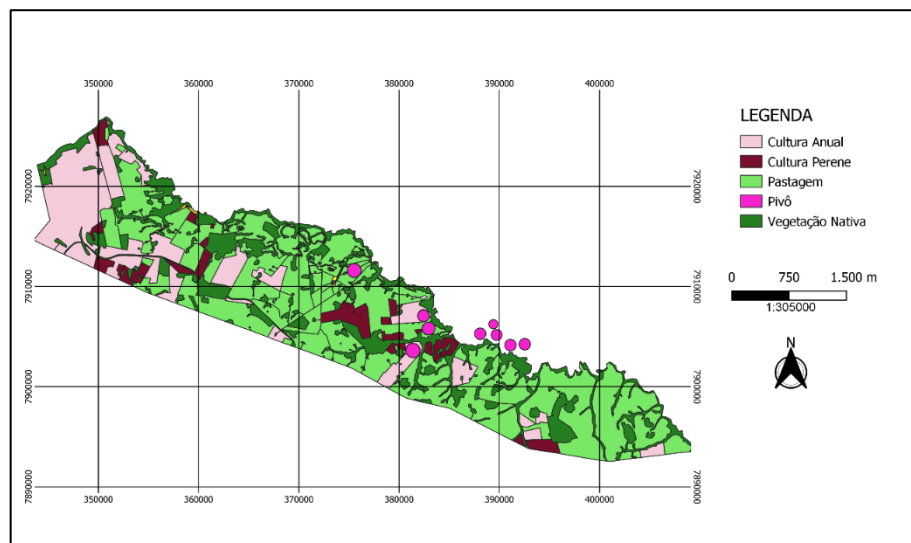
Os dois mapas confeccionados estão representados nas Figuras 10 e 11, da fazenda comercial e o seu entorno respectivamente. A fazenda estudada apresenta uma política ambiental que visa a sustentabilidade, a chamada agropecuária integral, sendo este um conceito que compreende na extensão do desenvolvimento da agropecuária e da agricultura sustentável. Com a definição de agricultura sustentável apresentado por MASCARENHAS *et al.* (2020), tem-se este sistema como um que se contrapõe ao sistema convencional e tem como foco uma agricultura que busca através do manejo reduzir práticas intensivas nos agroecossistemas produtivos.

Figura 10 - Mapa de uso e ocupação do solo fazenda comercial.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 11 - Mapa de uso e ocupação do solo do entorno da fazenda comercial.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Com a confecção o mapa de uso e ocupação do solo da fazenda comercial (Figura 10), foi possível observar a diversidade de usos do solo na área estudada, tendo dentro de uma mesmo ambiente atividades de agricultura, pecuária, reservas com a presença de vegetações nativas, áreas de reflorestamento, ambientes destinados a construções para uso próprio, sendo elas: casa de bombas que asseguram os equipamentos componentes do sistema de irrigação,

pátio para armazenagem dos implementos agrícolas, piquetes reservados aos animais, confinamento de gado e silo para armazenagem da produção agrícola da propriedade.

Além de implementar inovações tecnológicas nas suas atividades o local estudado apresenta áreas naturais, ou seja, as áreas nativas que são extremamente conservadas e zeladas pelos presentes. Cerca de 68% da área total é destinada à atividade de pecuária, são elas de pastagens, o que pode ser observado na Figura 10 e na Tabela 1. O sistema de irrigação via pivô central ocupa 11% da área total da fazenda, um total de 147 hectares, 7 % a atividade do reflorestamento e 9% de vegetação nativa. A casa de bombas e o silo destacados na Figura 10 não foram representados na Tabela 1 pois a área em comparação com o todo não foi representativa, sendo menos de 1% da área total.

Tabela 1 - Soma das áreas de acordo com a classificação da fazenda

Classificações	Somatório		
	m ²	hectare (ha)	%
Confinamento	123.947,32	12,39	1%
Eucalipto	86.938,06	8,69	1%
Pastagem	9.000.099,55	900,01	68%
Pátio	83.748,38	8,37	1%
Piquetes	269.886,56	26,99	2%
Pivô	1.446.393,32	147,00	11%
Reflorestamento	943.191,36	94,32	7%
Vegetação Nativa	1.232.657,83	123,27	9%
Soma	13.186.862,36	1.321,05	100%

Fonte: Elaboração da própria autora.

O entorno estudado da fazenda compreende em uma área de 67.526 hectares, com uma diversidade em ocupação, o que é possível compreender na Figura 11, contudo a dominância é da utilização do solo como pastagem, sendo de 52% da área total, o que pode ser observado na Tabela 2. Em contrapartida a segunda área em maior quantidade dentro da região estudada é a de vegetação nativa, com 22% da área total avaliada, 25% portanto são solos utilizados para a prática da agricultura, sendo 6% culturas perenes e 19% culturas anuais.

Tabela 2 - Soma das áreas de acordo com a classificação do entorno da fazenda.

Classificações	Somatório		
	m ²	hectare	%
Cultura Perene	37.152.165,61	3.715,22	6%
Cultura Anual	127.550.177,19	12.755,02	19%
Pastagem	351.965.167,89	35.196,52	52%
Vegetação Nativa	147.617.428,88	14.761,74	22%
Pivô Central	10.049.797,21	1.004,98	1%
Soma	674.334.736,77	67.433,47	100%

Fonte: Elaboração da própria autora.

A região estudada tem muito influência no setor da pecuária, segundo o IBGE (2023) a utilização de terras para lavouras no Mato Grosso do Sul é de 3.629.534 hectares, incluindo lavouras permanentes, temporárias e de cultivo de flores, já as terras destinadas a pastagens consiste em 18.439.835 hectares, sendo que 4.913.017 hectares são pastagens naturais, 13.065.924 hectares estão em boas condições e 460.894 hectares estão em más condições

4.2 Correlação NEE e ETa (SAFER) do ciclo da soja

Após a coleta das imagens de satélite foram utilizadas as que não tivessem interferência de nuvens para a análises, e então estas foram processadas com o algoritmo SAFER utilizando o software ILWIS Academic, e posteriormente para enfim obter a ETa para cada classificação de cada mapa foi utilizado o software Qgis para a extração, tendo como filtro cada mapa confeccionado, o da fazenda comercial e o do entorno.

Na Tabela 3 estão representados os dados da ETa obtidas nas áreas da fazenda comercial, juntamente com a troca líquida de CO₂ (NEE). A NEE é resultado das leituras fornecidas pelo Eddy Covariance, que foram filtradas a fim de retirar dados empíricos.

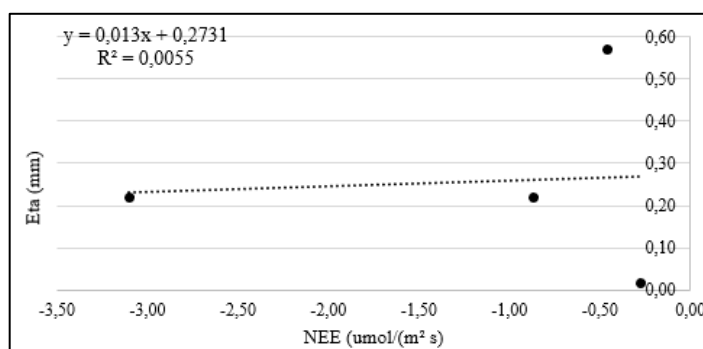
Os dados da Tabela 3 foram correlacionados por meio de uma regressão linear, a fim de obter através de uma linha de tendência a equação da correlação e o R², apresentados na Figura 12.

Tabela 3 - Dados de NEE, obtido através do Eddy Covariance, e Eta obtida pelo algoritmo SAFER para a fazenda comercial.

Data da imagem	Satélite	Fazenda Comercial	
		NEE	ETa
		($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)	(mm/dia)
Pivô da Fazenda			
26/12/2021	Sentinel 2	-0,87	0,22
24/02/2022	Sentinel 2	-0,46	0,57
06/03/2022	Sentinel 2	-3,10	0,22
16/03/2022	Sentinel 2	-0,28	0,02

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 12 - Regressão linear entre NEE e Eta obtida pelo Safer para fazenda comercial.



Fonte: Elaboração da própria autora.

O objetivo de encontrar a equação da regressão linear entre a Eta e a NEE era de utilizá-la para a obtenção da NEE em áreas onde não fosse possível ou rentável ter um equipamento para a leitura dos fluxos, como o Eddy Covariance, sendo este o cenário do entorno da fazenda comercial.

A ETa obtida para a área de análise do entorno da fazenda comercial está presente na Tabela 4, contudo não foi possível prosseguir com o planejado, pois durante o ciclo da soja feito no verão, período chuvoso, a maior parte das imagens de satélites apresentaram nuvens acarretando na impossível utilização destas, assim, a análise ficou com uma limitação de dados acarretando em resultados não significativos, como apresentado na Figura 12 pelo R^2 da regressão linear realizada, que foi de 0,0055, compreendendo, portanto, que para uma análise de fluxos é preciso um longo período de coleta de dados.

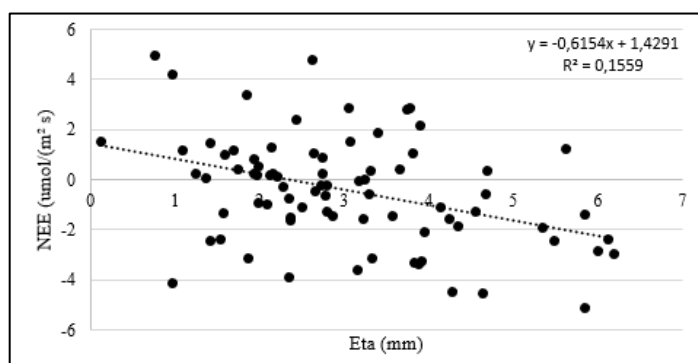
Tabela 4 - Dados de Eta obtidos pelo algoritmo SAFER para o entorno da fazenda comercial.

Data da imagem	Satélite	Entorno da fazenda comercial					
		ETa (mm/dia)					
		Pivôs	Cultura Perene	Cultura Anual	Pastagem	Solo Exposto	Vegetação Nativa
26/12/2021	Sentinel 2	1,85	0,98	1,57	0,99	0,42	1,40
24/02/2022	Sentinel 2	0,64	0,28	0,50	0,30	0,08	0,38
06/03/2022	Sentinel 2	0,52	0,33	0,52	0,34	0,10	0,44
16/03/2022	Sentinel 2	0,25	0,27	0,43	0,25	0,09	0,36

Fonte: Elaboração da própria autora.

Para encontrar a equação que representa o cenário também foi utilizada a opção de correlacionar os dados de Eta obtidos pelo Eddy Covariance que com a NEE, neste caso o intervalo de dados é mais extenso, o que pode ser observado na Figura 13, contudo mesmo com uma análise mais extensa que a anterior ainda não foi suficiente, resultando em valores não significativos, sendo o do R^2 de 0,1559.

Figura 13 - Regressão linear entre NEE e ETa, ambos obtidos pelo Eddy Covariance para fazenda comercial.



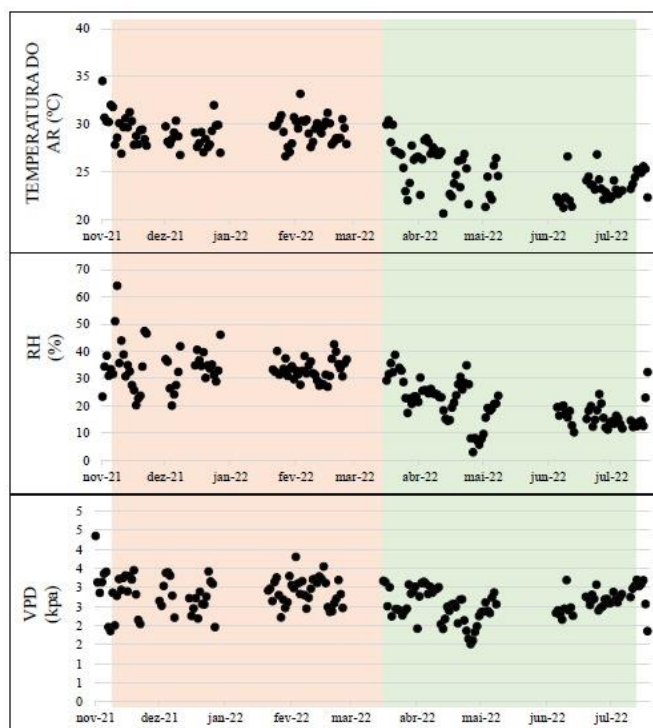
Fonte: Elaboração da própria autora.

4.3 Variáveis agroclimáticas

As variáveis agroclimáticas obtidas através das leituras do anemômetro sônico tridimensional IRGASON, instalados na torre, após a compilação para médias diárias são apresentadas na Figura 14, onde as cores rosa e verde representam o ciclo das culturas soja e milho, respectivamente, safra 2021/2022 e safrinha 2022/2022.

Grande parte das áreas do estado do Mato Grosso do Sul estão definidas como Aw na classificação de Köppen, ou seja, áreas de clima tropical, que apresentam um inverno seco com verão chuvoso bem definidos, onde a média do mês com temperaturas mais amenas é superior a 18°C (VIANELLO, 2000; EMBRAPA, 2023). A classificação Aw condiz com os dados coletados na região estudada, onde a maior temperatura do ar diária em todo o período foi de 34,5°C, registrada no dia 23/11/2021, durante o verão, já a menor temperatura diária foi registrada na época da safrinha no dia 18/05/2022 com o valor de 13,1°C. Foi no verão que ocorreram as maiores médias mensais de temperatura, o mês que apresentou a menor média de temperatura não ultrapassou 18,0°C como citado anteriormente, sendo de 21,8°C que foi registrado para o mês de junho de 2022.

Figura 14 - Médias diárias das variáveis agrometeorológicas: temperatura do ar, umidade relativa do ar (RH) e déficit de pressão de vapor (VPD) - Soja e Milho.



* A área em destaque cor de rosa representa a safra da soja e a de destaque verde a safrinha do milho.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Tendo durante o período de cultivo da soja 2021/2022, uma média de temperatura do ar de 29°C, já na época de cultivo do milho 2022/2022 a temperatura do ar teve uma média de 23°C.

A umidade relativa do ar (RH) segue a mesma padrão da temperatura do ar, como pode ser observado na tabela 5, durante o verão na época das águas foram registradas maiores porcentagens de RH ao contrário do período de seca, onde a RH foi menor, o mês com maior média mensal de RH foi novembro de 2021 com 38,5%, com a maior RH registrada no dia 30/11/2021 que foi de 64,16%, em contrapartida o mês com menor média mensal de RH foi julho de 2022, com 25,51%. Houve um período de estiagem durante as avaliações, onde foi obtida a menor média diária de RH, no dia 18/05/2022, que apresentou valores entre 3% e 12%. A baixa RH quando associada com altas temperaturas pode acentuar estresse hídrico nas culturas por conta da maior perda de água pela planta, o que pode ser amenizado com a irrigação garantindo o rendimento na colheita (DAMATTA *et al.*, 2018).

Tabela 5 - Médias mensais das variáveis durante o período - Soja e Milho

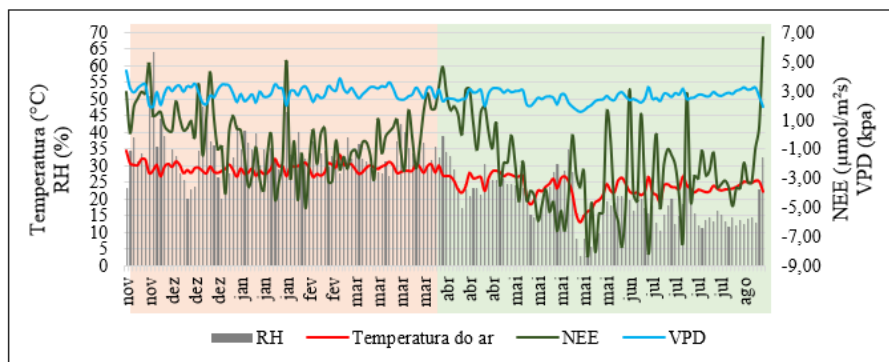
	Médias mensais		
	Temperatura do ar (°C)	RH (%)	VPD (KPa)
Novembro - 2021	30,72	38,50	3,01
Dezembro - 2021	28,94	32,38	2,89
Janeiro - 2022	28,66	35,43	2,67
Fevereiro - 2022	29,64	33,25	2,94
Março - 2022	29,13	33,15	2,88
Abril - 2022	26,77	27,11	2,74
Maio - 2022	22,18	18,74	2,33
Junho - 2022	21,83	19,00	2,29
Julho - 2022	23,14	15,51	2,65
Agosto - 2022	24,40	16,66	2,85

Fonte: Elaboração da própria autora.

Em situações de baixas extremas na temperatura a atividade metabólica é reduzida gerando um atraso no crescimento da planta, o que foi observado no dia 18/05/2022, onde obtiveram menores valores de temperatura do ar e de RH, respectivamente 13,13°C e 3%, e também ao menor valor de déficit de pressão de vapor (VPD) diário, sendo de 1,51 kpa. É

possível observar a relação das variáveis agroclimáticas juntamente com a variável indicadora de sustentabilidade NEE na Figura 15, sendo notório que ao diminuir a temperatura do ar a troca líquida de CO₂ consequentemente aumenta, e neste caso o valor de VPD diminui.

Figura 15 - Interação entre as variáveis agroclimatológicas e de sustentabilidade.



* A área em destaque cor de rosa representa a safra da soja e a de destaque verde a safrinha do milho.
Fonte: Elaboração da própria autora.

O VPD é a diferença entre a saturação de pressão de vapor na folha e a pressão de vapor real de água exterior à folha, quando maior o valor desta variável mais água sai da folha, neste caso as plantas regulam a abertura dos estômatos a fim de evitar a desidratação, uma variável diretamente ligada a atividade estomática e com atividade similar a temperatura do ar, quando tem-se altas temperaturas é obtido maiores valores do VPD e o oposto acontece com baixas temperaturas (PACHECO *et al.*, 2021).

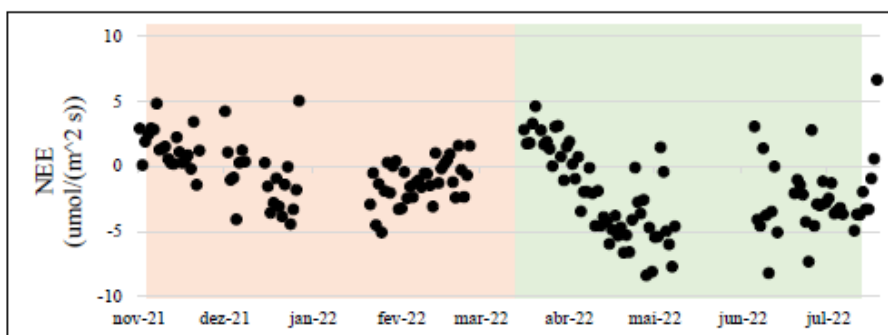
4.4 Indicador de sustentabilidade e avaliação do fluxo de CO₂ nas diferentes fases fenológicas das culturas

O trabalho foi conduzido em área de solo com textura arenosa que havia tido uma recente transição de pastagem conduzida no sequeiro para a prática de irrigação, juntamente com a agricultura. Estudos comprovam que terras agrícolas arenosas irrigadas reestabelecem o estoque de carbono do solo a níveis observados em locais de áreas nativas, além de continuarem capturam carbono a uma taxa significativa, contudo, caso ocorram limitações hídricas ou econômicas que impossibilite a manutenção da irrigação pode ocasionar a diminuição rápida do carbono orgânico do solo (CAMPOS; PIRES; COSTA, 2020).

As trocas líquidas de CO₂ (NEE) obtida através das leituras de dados do anemômetro sônico tridimensional IRGASON pela técnica da Covariância dos Vórtices Turbulentos

apresenta uma relação entre a atmosfera e o ecossistema, por isso são indicativos de sustentabilidade, devido a ligação direta com a eliminação do CO₂ da atmosfera, sendo este um dos gases que provoca o efeito estufa. Os valores positivos de NEE indicam os fluxos de carbono da vegetação para a atmosfera, já os valores negativos são o inverso, os fluxos de carbono da atmosfera para a vegetação, estes fluxos são resultados da atividade fotossintética e estão representados na Figura 16.

Figura 16 - Variável de sustentabilidade - troca líquida de CO₂ (NEE).



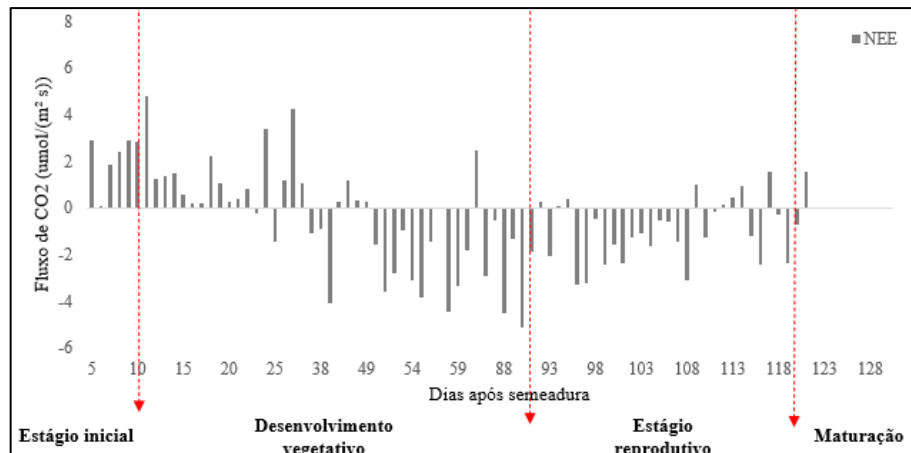
* A área em destaque cor de rosa representa a safra da soja e a de destaque verde a safra do milho.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Da Figura 16 tem-se que a cultura do milho apresentou mais sequestro de carbono quando comparada com a cultura da soja, o principal fator que representa estes resultados é o fato do milho ser uma planta com metabolismo C₄, onde 90% da matéria seca é obtida por meio da fixação de CO₂ através da fotossíntese. No metabolismo de uma planta C₄ a razão CO₂/O₂ é elevada, isso porque existe uma afinidade da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase) pelo CO₂, o qual fixa o dióxido de carbono por meio da formação do ácido oxalacético e leva este produto de quatro carbonos para as células da bainha do feixe vascular, onde este vai ser descaboxilado, posteriormente o CO₂ é refixado pela rubisco e eleva sua concentração no meio fazendo com que a Rubisco opere no limite da sua taxa máxima de saturação de CO₂, inibindo sua atividade de oxigenase e eliminando a fotorrespiração. Devido a concentração de CO₂ provocar uma saturação no mesmo sítio que a Rubisco a planta não vai saturar por radiação solar (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

Nas Figuras 17 e 18 é possível avaliar as variações do NEE dentre as fases fenológicas das culturas soja e milho.

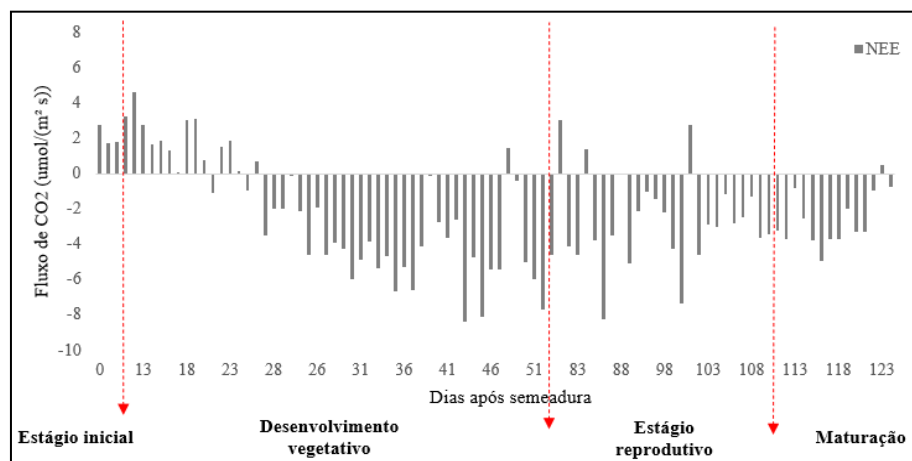
Figura 17 - Troca líquida de CO₂ (NEE) na cultura da soja.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Na cultura da soja o balanço final de NEE foi de $-0,567 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, ou seja, a quantidade de CO₂ liberada para a atmosfera, que foi de $81,727 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ quase se igualou com o que foi sequestrado pelas plantas, que foi de $-82,293 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Já para o milho a dinâmica foi de $80,031 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ liberado para a atmosfera e $-199,612 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ sequestrados pela vegetação resultando em uma diferença de $-119,580 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, neste caso a taxa de absorção de CO₂ foi acima da taxa de liberação de CO₂.

Figura 18 - Troca líquida de CO₂ (NEE) na cultura do milho.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Durante o cultivo da soja foi possível observar uma maior taxa negativa durante estágio reprodutivo (Figura 17), portanto a dinâmica de NEE para esta cultura durante o período analisado se aproximou do chamado carbono neutro, isso ocorre quando os valores

positivos (de emissão) e negativos (de sequestro) se igualam e o que foi obtido na análise foi de $-0,567 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, próximo da equivalência 0. Já o milho teve sua maior taxa de sequestro durante o desenvolvimento vegetativo (Figura 18) e na relação final atingiu 149% a mais de sequestro de carbono quando comparado os valores de emissão e absorção, isso porque a durante este período ocorreu maior absorção de CO_2 com uma menor respiração do ecossistema.

O partir das médias horárias dos dados de NEE coletados a cada 30 minutos foi feita a soma dos fluxos no intervalo entre as 7:00 e 15:00 horas, o qual corresponde ao período em que as plantas efetivamente realizam maiores absorções de CO_2 , nesta situação foi possível obter o valor total acumulado em toneladas de CO_2 absorvidos durante o ciclo analisado, nas culturas da soja, com dados de 79 dias, e do milho, com dados de 92 dias (Tabela 6).

Segundo Dionízio *et al* (2020), uma opção para aumentar o estoque de carbono no solo é a substituição das pastagens degradadas e da agricultura de sequeiro pela agricultura irrigada, essa transição pode acarretar em impactos econômicos, contudo, terras agrícolas irrigadas podem ocasionar melhorar nas condições de qualidade do solo, aumentando o estoque de carbono no solo, sendo importante lembrar de fazer o uso correto da água para esta atividade, essa situação além de aumentar o estoque de carbono no solo que é resultado de um melhor ambiente de desenvolvimento para as plantas, o qual otimiza as atividades metabólicas, consequentemente fará com que as plantas tenham mais atividades benéficas ao sequestro do carbono que está presente na atmosfera, assim a irrigação participa de forma indireta na redução dos gases do efeito estufa, neste caso do CO_2

Tabela 6 - CO_2 absorvido no intervalo das 7:00 às 15:00 horas durante o ciclo da soja e do milho.

	Absorção de CO_2 (toneladas de CO_2 /hectare)
Soja	-23,680
Milho	-68,188

Fonte: Elaboração da própria autora.

5 CONCLUSÃO

Dentre as diversas atividades e diversidades de uso do solo na Região do Mato Grosso do Sul foi possível reafirmar que a principal delas é o uso do solo como pastagens,

principalmente para a produção de gado de corte, o que foi observado na fazenda e no seu entorno. Na fazenda comercial há predominância de áreas para usos de pecuária, contudo a mesma apresenta atividades que contribuem com o meio ambiente, dentre elas a proteção de áreas nativas e a realização de reflorestamento de pastagens degradadas, além de investir em tecnologias que garantem segurança nas produções, dentre elas a irrigação.

Não foi possível obter uma correlação entre a ETa e a NEE, tanto a ETa obtida através do algoritmo SAFER quanto a ETa obtida pelo Eddy Covariance, tendo como principal fator limitante a pouca quantidade de dados, isso porque as análises de fluxos precisam ser feitas coletando dados de um longo período para que assim fiquem mais assertivas.

As variáveis agroclimáticas analisadas apresentam uma relação, onde foi possível notar altas temperaturas no período do verão, durante a cultura da soja e temperaturas mais amenas durante o cultivo do milho, na época das secas. Houve durante o cultivo do milho um período de estiagem, onde o dia 18/05/2021 foi destaque pois obteve menor temperatura do ar e umidade relativa durante o período analisado, mostrando também a interação destas variáveis com o déficit de pressão de vapor que se comporta principalmente com a influência da temperatura, este também tendo o menor valor obtido no mesmo dia.

Ambas as culturas tiveram benefícios com o CO₂, este foi proveitoso para o desenvolvimento principalmente para o meio ambiente, visto que as taxas de NEE são altas, mesmo quando ficam próximas do neutro, ou seja, os valores de fonte e emissão se igualam, como ocorreu com a cultura da soja. Já a cultura do milho teve o melhor desempenho, isso porque sequestrou 149% a mais do que foi emitido.

6 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P.E.P.; DURÃES, F.O.M. Uso e manejo da irrigação. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 528 p.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, p.297, 1998.
- ALMEIDA, S.L.H. Sensoriamento remoto aplicado ao modelo Safer na estimativa de parâmetros biofísicos de cultivos. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal. 2022.
- ALVES, J.D.N. Partição do fluxo de CO₂ e eficiência do uso da água em pastagem natural. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Viçosa. 2017.

ANA - Agência Nacional de Águas. 2019. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_coeficientes_agricultura_irrigada_vf.pdf>. Acesso em: 06 de jan. de 2024.

BALDOCCHI, D. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biology*, Oxford, v. 9, n. 4, p.479-492, 2003.

BASF. SoyTech™- Sementes de Soja - BASF Agro Brasil. Disponível em: <<https://agriculture.basf.com/br/pt/protecao-de-cultivos-e-sementes/produtos/soytech/SoyTech/ST-797-IPRO.html>>. Acesso em: 08 ago. 2023.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. O milho e o clima. Porto Alegre, Emater/RS Ascar, p.84, 2014

BUNGENSTAB, D.J.; ALMEIDA, R.G.; LAURA, V. A.; BALBINO, L.C.; FERREIRA, A.D. (Ed.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa. Cap. 11, p. 153-167. 2019.

BOLETIM AGRICULTURA IRRIGADA. Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasília, DF, v. 1, set. 2019. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Boletim_Agricultura-Irrigada_Primeira-Edio_-Setembro-de-2019.pdf. Acesso em: 07 dez. 2023.

BORGES, L.C.; HERNANDEZ, F.B.T.; FAUVEL, J.M.P. Balanço hídrico como ferramenta para o planejamento da irrigação em Cassilândia - MS. 2021. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidadeengenhariaruralesolos715/irrigacao5868/inovagri_2021_borges_b_hidrico_cassilandia.pdf. Acesso em: 16 dez. 2023.

BORGES, W.L.B.; CALONEGO, J.C.; ROSOLEN, C.A. Impact of crop-livestockforest integration on soil quality. *Agroforestry Systems*, p. 1-9, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0329-0>.

CAMPOS, R.; PIRES, G.F.; COSTA, M.H. Soil Carbon Sequestration in Rainfed and Irrigated Production Systems in a New Brazilian Agricultural Frontier. *Agriculture*. 10 (5), 156. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/5/156>. Acesso em: 07 dez. 2023.

CAMPOS, S.; MENDES, K.R.; SILVA, L.L.; MUTTI, P.R.; MEDEIROS, S.S.; AMORIM, L.B.; SANTOS, C.A.C.; PEREZ-MARIN, A.M.; RAMOS, T.M.; MARQUES, T.V.; LUCIO, P.S.; COSTA, G.B.; SANTOS E SILVA, C.M.; BEZERRA, B.G. Closure and partitioning of the energy balance in a preserved area of a Brazilian seasonally dry tropical forest. *Agricultural and Forest Meteorology*. v. 271, p. 398-412. 2019.

CARDOSO, M. Classificação climática de Köppen do Mundo e do Brasil. Disponível em: <<https://blogmurilocardoso.wordpress.com/2012/01/20/mapas-classificacao-climatica-de-koppen-do-mundo-e-do-brasil/>>. Acesso em: 09 ago. 2023.

CHI, J.; WALDO, S.; PRESSLEY, S.; O'KEEFFE, P.; HUGGINS, D.; STOCKLE, C.; PAN, E.L.; BROOKS, E.; LAMB, B. Assessing carbon and water dynamics of no-till and

conventional tillage cropping systems in the inland Pacific Northwest US using the eddy covariance method. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 218-219, p. 37-49. 2016.

COELHO, E.F.; OLIVEIRA, A.S.; NETTO, A.O.; TEIXEIRA, A.H.C.; ARAUJO, E.C.E.; BASSOI, L.H. A cultura da Mangueira: Irrigação. Embrapa. 1982.

COSTA, E.; PITTOL, M.; MOTTA, A.S. Os efeitos do aquecimento global na produção de alimentos. Trabalho de conclusão de curso. Instituto de Ciências Básicas da Saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2021.

DAMATTA, F.M.; AVILA, R.T.; CARDOSO, A.A.; MARTINS, S.C.; RAMALHO, J.C. Physiological and Agronomic Performance of the Coffee Crop in the Context of Climate Change and Global Warming: A Review. *J. Agric. Food Chem.* v. 66, p. 5264–5274, 2018.

DIONÍZIO, E.A.; PIMENTA, F.M.; LIMA, L.B.; COSTA, M.H. Carbon stocks and dynamics of different land uses on the Cerrado agricultural frontier. *Plos One*. 2020. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0241637>. Acesso em: 07 dez. 2023.

DONÁ, M.M.; HERNANDEZ, F.B.T.; FAUVEL, J.M.P. Caracterização agroclimática do município de Cassilândia - MS como ferramenta de planejamento agrícola. 2021. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidadeengenhariaruralesolos715/irrigacao5868/caracterizacao_agroclimatica_dona_trabalho_completo.pdf. Acesso em: 16 dez. 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Clima. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>. Acesso em: 22 out. 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mapa de solos do Brasil. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil_solos_5m_20201104. Acesso em: 08 ago. 2023.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Land and Water prospects. Rome: Land and Water Development Division. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i1688e/i1688e00.pdf>. Acesso em: 06 de jan. de 2024.

GALHARTE, C.A.; CRESTANA, S. Avaliação do impacto ambiental da integração lavoura-pecuária: Aspecto conservação ambiental no cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG, v.14, n.11, p.1202-1209. 2010.

GIONGO, V.; ANGELOTTI, F. Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas: experiência brasileira. Embrapa. Brasília, DF. 2022.

HERNANDEZ, F.B.T.; NEALE, C.M.U.; TEIXEIRA, A.H.; TAGHVAEIAN, S. Determining large scale actual evapotranspiration using agro-meteorological and remote sensing data in the northwest of Sao Paulo State, Brazil. *Acta Horticulturae*, v. 1038, p. 263-270, 2014.

IBGE. Características dos estabelecimentos no Mato Grosso do Sul: utilização das terras. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/pesquisa/24/75511>>. Acesso em: 17 out. 2023.

LOOSE, E.; MORAES, C. Jornalismo ambiental: teoria e prática (Mudanças do clima e de pauta). Porto Alegre, p.113-124. 2018.

MASCARENHAS, N.M.H.; FURTADO, D.A.; CAVALCANTE, C.R.; COSTA A.N. L.; SOUZA M.A.; GONÇALVES, M.G.; OLIVEIRA, A.G.; BRITO, A.N.S.L.; SILVA, L.P.F.R.; NOGUEIRA, L.P.S.; DORNELAS, K.C.; RODRIGUES R.C.M.; MEDEIROS NETO, M.S.; PAIVA, F.J.S.; SILVA S.N. Modelos de agricultura sustentável: biodinâmica e sistema silvipastoril. Revista de Ciências Agrárias, p. 363-371. 2020.

PACHECO, F.V.; LAZZARINI, L.E.S.; ALVARENGA, I.C. Metabolismo relacionado com a fisiologia dos estômatos. Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer - Jandaia - GO, v 18 n36, p. 186. 2021.

PAPALE, D.; REICHSTEIN, M.; AUBINET, M.; CANFORA, E.; BERNHOFER, C.; KUTSCH, W.; LONGDOZ, B.; RAMBAL, S.; VALENTINI, R.; VESALA, T.; YAKIR, D. Towards a standardized processing of Net Ecosystem Exchange measured with eddy covariance technique: algorithms and uncertainty estimation. Biogeosciences. v. 3, p. 571-583. 2006

PIRES, I.C.G. Fluxo dos gases do efeito estufa em áreas convertidas para a produção de soja no Cerrado maranhense. Tese (Doutorado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura a Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2021

ROSA, L.; CHIARELLI, D.D.; RULLI, M.C.; ANGELO, J.D.; ODORICO, P.D. Global agricultural economic water scarcity. Science Advances, v. 6, n. 18, p. 1-10, Apr. 2020. DOI: 10.1126/sciadv.aaz6031.

SANTOS, C.O.; MESQUITA, V.V.; PARENTE, L.L. Dinâmica das pastagens Brasileiras: Ocupação de áreas e indícios de degradação - 2010 a 2018. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/estudo-mostra-reducao-de-26-8-milhoes-de-hectares-de-pastagens-degradadas-em-areas-que-adotaram-o-plano-abc/Relatorio_Mapal.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.

SILVA, B.B.; LOPES, G.M.; AZEVEDO, P.A. determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. Revista Brasileira de Agrometeorologia. Sete Lagoas - MG, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005.

SILVEIRA, M.C.T.; TRENTIN, G. Manejo para pastagens irrigadas: fundamentos e recomendações práticas. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2019.

SZAKÁCS, G.G.J. Seqüestro de carbono nos solos: avaliação das potencialidades dos solos arenosos sob pastagens, Anhembi - Piracicaba/SP. 2003. 102 p. Dissertação (Mestrado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2003. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/7800/83ca0e2c610776c631f6f15677a4ba444511.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2021.

TEIXEIRA, A.H.C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing an Penman-Monteith equation. *Remote Sensing*, New York, v. 2, n. 5, p. 1287-1319, 2010.

TEIXEIRA, A.H.C.; HERNANDEZ, F.B.T.; LOPES, H.L.; SHERER-WARREN, M.; BASSOI, L.H. Modelagem espaço temporal dos componentes dos balanços de energia e de água no Semiárido brasileiro. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. (Documentos, 99).

OLIVEIRA, D.A.; HERNANDEZ, F.B.T.; BISPO, R.C.; TEIXEIRA, A.H.C. Distribuição espaço-temporal da evapotranspiração no Noroeste Paulista. *Irriga*, Botucatu, v. 26, n. 3, p. 584-604, julho-setembro, 2021.

OLIVEIRA, D.A. Evolução da expansão da agricultura irrigada por pivô central e da evapotranspiração incremental no Noroeste Paulista. 2020. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, Ilha Solteira, 2020. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidadeengenhariaruralesolos715/irrigacao5868/dissertacao_daniela_oliveira.pdf. Acesso em: 06 jan. 2024.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R.A. Meteorologia Básica e Aplicações. Viçosa-MG, UFV, 385p., 200.

VINHOLIS, M.M.B.; FILHO, H.M.S.; CARRER, M.J.; JÚNIOR, W.B.; BERNARDO, R.; CASACA, A.A.; ROJAS, D.C.; TOKUDA, F.S.; PELINSON, G.J.B.; JUNIOR, H.A.S.; JÚNIOR, I.D.G.; ANDRAUS, J.T.K.; JUSTO, J.S.; MARTINES, L.; GUERREIRO, M.F.; FADEL, S.A.O.; BORGES, W.L.B. Adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em São Paulo. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, (Embrapa Pecuária Sudeste. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 47), p. 56. 2020.

ZHOU, X.; GAO, T.; ZHENG, N.; YANG, B.; LI, Y.; YU, F.; AWADA, T.; ZHU, J. Accuracies of field CO₂-H₂O data from open-path eddy-covariance flux systems: assessment based on atmospheric physics and biological environment. *Geoscientific Instrumentation Methods and Data Systems*, 11, 335-357. 2022.