

APLICAÇÃO DA AGRICULTURA REGENERATIVA NO BRASIL: ESTUDO DE CASO NO OESTE CATARINENSE¹

Marco Antonio Machado²
Anderson Clayton Rhoden³

RESUMO

Esse estudo consiste em comparar o método de cultivo de soja em uma lavoura que aplica a agricultura regenerativa e outra com plantio direto, ambas localizadas na cidade de Faxinal dos Guedes, no Oeste Catarinense. Para isso foram realizadas coletas *in situ* e encaminhadas para laboratório, onde foram identificadas as características físicas e químicas das duas lavouras, além do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Os resultados demonstraram que o solo possui uma textura argilosa nas duas áreas, sendo essa característica comum na região. Em relação ao pH, o solo mais ácido ocorreu na área com agricultura regenerativa, uma vez que esta não recebe calcário há mais de 10 anos, sendo inclusive sugerido correções em alguns trechos. As concentrações de fósforo, potássio, alumínio, matéria orgânica e infiltração de água no solo também foram investigadas, resultando em valores mais altos para a área manejada com agricultura regenerativa, enquanto a densidade do solo nesta área apresentou menores valores. Para a área com plantio direto, os resultados de cálcio e magnésio foram os que demonstraram valores mais altos. As análises NDVI indicaram que a agricultura regenerativa possibilita um solo com maiores índices de vegetação, com composição de nutrientes mais diversificados, com potencial contribuição na produtividade das culturas. Por fim, foi possível concluir que o método de agricultura regenerativa apresenta maiores benefícios para a lavoura, pois devido à maior infiltração de água no solo, menor densidade do solo e maiores teores de fósforo e potássio, promove um ambiente mais estável de produção em anos com condições climáticas críticas.

Palavras-chave: Agricultura regenerativa. Plantio direto. Soja.

1 INTRODUÇÃO

O termo "agricultura regenerativa" foi criado na década de 80 por Robert Rodale (fundador do Instituto Rodale), com o objetivo de melhorar a qualidade dos solos utilizando técnicas orgânicas. Segundo Rodale (2014), a agricultura regenerativa melhora os recursos ao invés de destruí-los ou esgotá-los, incentivando a inovação contínua na lavoura, com foco no bem-estar ambiental, social e econômico.

A agricultura regenerativa é descrita por Rhodes (2017) como um processo que melhora a saúde do solo e restaura um ambiente altamente degradado, contribuindo para sua

¹ Pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

² UCEFF Faculdades. Acadêmico do Curso de Agronomia. E-mail: machadoribas2012@gmail.com

³ UCEFF Faculdades. Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciências do Solo e Doutor em Agronomia. E-mail: rhoden@uceff.edu.br

produtividade. Dessa forma, evita-se o esgotamento de recursos naturais (solo e água), criando um ambiente sustentável para o cultivo de alimentos.

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*) defende a prática da agricultura regenerativa, uma vez que esse sistema de princípios agrícolas reabilita todo o ecossistema e aprimora os recursos naturais. Ademais, afirma que há uma abordagem agroecossistêmica inclusiva para conservar a terra, o solo e a biodiversidade em todos os níveis, ao mesmo tempo em que melhora a eficiência do uso de insumos e os serviços dos sistemas agrícolas. Sendo assim, essa abordagem ajuda a alcançar a segurança alimentar e nutricional com opções economicamente viáveis e ecologicamente sustentáveis (PEARSON, 2007).

De acordo com LaCanne e Lundgren (2018), há cinco práticas que estão consideravelmente associadas à agricultura regenerativa: (1) Minimização do preparo do solo; (2) Eliminação do solo nu; (3) Promoção da diversidade de culturas; (4) Incentivo à infiltração de água no solo; e (5) Integração entre as operações de pecuária e cultivo. Essas práticas conservacionistas têm potencial de acumular carbono orgânico no solo, aumentando a capacidade de retenção de água e nutrientes e, portanto, contribuem potencialmente para o sequestro de carbono atmosférico por meios naturais.

Savory e Duncan (2016) e LaCanne e Lundgren (2018) também explicaram que o baixo nível de preparo do solo causa redução na oxidação do carbono, e que a eliminação do solo nu ajuda a reduzir a erosão e aumentar a produção de matéria seca por meio de plantas de cobertura. Além disso, destacaram que evitar monoculturas também aumenta a produção de matéria seca devido à complementaridade do uso de luz, água e nutrientes por diferentes culturas.

A produção agrícola pode ser limitada pela água em muitas regiões, portanto, o aumento da quantidade de água percolada no solo torna-se um dos fatores mais importantes decorrentes da agricultura regenerativa (LACANNE; LUNDGREN, 2018). Por fim, a integração entre a pecuária e as operações de cultivo pode minimizar a utilização de insumos sintéticos, uma vez que os dejetos do gado ajudam a manter os níveis de nutrientes no solo como nitrogênio, fósforo e potássio; contribuindo para melhorar sua fisiologia e aumentar a produtividade das culturas (SAVORY; DUNCAN, 2016).

A agricultura regenerativa também consiste em reduzir ou, até mesmo, eliminar produtos químicos biocidas, atingir ciclos fechados de nutrientes com maior colheita e diversidade biológica, tratar recursos naturais e incluir compromissos com o bem-estar animal

e social (GILLER *et al.*, 2021). Apesar disso, ainda é pouco estudada e difundida no Brasil, requerendo pesquisas e análises mais aprofundadas sobre o tema em questão.

O presente estudo analisou a produtividade de uma lavoura com implementação da prática da agricultura regenerativa e comparar com uma situação de plantio direto. Desse modo, o estudo estará contribuindo com o estado da arte relacionado ao termo “Agricultura Regenerativa” e demonstrará fatores que indicam a necessidade e as vantagens de implementar essa prática sustentável em todo o país.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA AGRICULTURA REGENERATIVA

A sustentabilidade agrícola vem sendo um dos temas mais discutidos em todo o mundo devido à crescente demanda de alimentos, concomitante ao alto impacto ambiental. Com isso, a agricultura se tornou um dos principais assuntos, uma vez que a necessidade global por alimentos causou desmatamento de áreas florestais para a produção de safras, assim como, o uso intensificado de pesticidas e componentes químicos (TILMAN *et al.*, 2011).

A inevitabilidade de minimizar os impactos ambientais causados pela produção agrícola tem se mostrado urgente nos últimos 50 anos (PRETTY *et al.*, 2018). Sendo assim, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS) implementaram metas relacionadas à pobreza zero (Meta 1), à fome zero (Meta 2), à ação climática (Meta 13) e à vida na Terra (Meta 15), com o objetivo de fornecer uma estrutura abrangente que auxilie tomadores de decisão e governos a equilibrar os desafios sociais, econômicos e ambientais até 2030 (ONU, 2015).

Em todo o planeta, a intensificação da demanda agrícola necessita de uma abordagem mais sustentável, de modo a aumentar a produção de alimentos, causando um menor impacto ambiental. Sendo assim, a agricultura regenerativa se mostra como um dos processos mais viáveis ao integrar plantio, meio ambiente e sustentabilidade, apesar de ainda não ser amplamente difundido mundialmente (FENSTER *et al.*, 2021).

Grant (2017) definiu a agricultura regenerativa como toda forma de prática agrícola que restaura ativamente a qualidade do solo, a saúde dos ecossistemas, a biodiversidade e a qualidade da água, enquanto produz culturas de alta qualidade nutricional. Adicionalmente, D'Souza *et al.* (1993) destacaram que a agricultura regenerativa é uma prática agrícola capaz

de aumentar a biodiversidade, uma vez que enriquece os solos, melhora a saúde das bacias hidrográficas, sequestra mais carbono do que libera e melhora os serviços do ecossistema.

Para melhorar a compreensão e promover a aplicação em larga escala da agricultura regenerativa, Soto *et al.* (2020) desenvolveram uma estrutura para a identificação e seleção de indicadores locais e técnicos de qualidade do solo. Esse sistema consiste em monitorar os impactos da técnica de plantio regenerativo.

Os indicadores analisados no estudo de Soto *et al.* (2020) foram: regulação da água, controle da erosão, fertilidade do solo, desempenho da cultura, estabilidade de agregados, nutrientes do solo, biomassa e atividade microbiana e nutrientes foliares. Os autores descreveram que o sistema para monitoramento da qualidade do solo se mostrou uma ferramenta prática, capaz de melhorar a troca de conhecimento e aprendizagem, e apoiar a implementação da agricultura regenerativa em diferentes regiões.

Soto *et al.* (2021) realizaram um trabalho de monitoramento em fazendas de amêndoas no sudeste da Espanha, aplicando diferentes práticas de agricultura regenerativa, e envolvendo agricultores locais. Para avaliar os efeitos dessa prática, consideraram (1) cultivo mínimo com adubo verde, (2) cultivo mínimo com adubos orgânicos, (3) cultivo mínimo com adubo verde e orgânico, e (4) plantio direto com coberturas naturais permanentes e aditivos orgânicos. Sendo assim, evidenciaram que a agricultura regenerativa apresenta forte potencial para restaurar a qualidade física, química e biológica dos solos, sem comprometer o seu estado nutricional.

Mpanga *et al.* (2021) investigaram o uso da terra e práticas agrícolas regenerativa entre pequenos produtores no centro-norte do Arizona, nos Estados Unidos. A descoberta revelou que 52% das pequenas propriedades são operações familiares com práticas regenerativas e sustentáveis dominantes (27% de cultivo de cobertura, 26% de composto, 23% de rotação de safra, 22% de adubo verde e animal, 21% de plantio direto e 18% de redução cultivo) com menos interesse nas práticas convencionais (5% de cultivo intensivo e 13% de fertilizantes sintéticos).

Ademais, o estudo de Mpanga *et al.* (2021) demonstrou que 95% dos produtores usavam práticas biológicas, culturais ou mecânicas para controle de ervas daninhas, pragas e doenças, enquanto apenas 5% usavam produtos químicos sintéticos convencionais. Para o uso da água, 78% dos produtores usaram práticas de irrigação que economizassem água (gotejamento, subsuperfície e aspersores), enquanto 11% usaram irrigação de inundação aberta. Dessa forma, os autores concluíram que os produtores de pequena escala têm grande potencial para promover

práticas regenerativas e ecologicamente corretas para a produção local, prezando pela sustentabilidade e pela gestão ambiental.

De acordo com Ngo *et al.* (2020), a dimensão econômica é o fator mais crucial que contribui para práticas agrícolas sustentáveis globais, seguido pela dimensão socioterritorial e agroecologia. Os produtores de pequena escala geralmente vendem seus produtos agrícolas para a comunidade local, os quais possuem consciência ambiental sobre a origem e cultivo dos alimentos. Sendo assim, os consumidores influenciam a tomada de decisão dos produtores sobre o uso de práticas sustentáveis (MPANGA *et al.*, 2020).

D'Souza *et al.* (1993) também relataram que o capital financeiro afeta as decisões dos agricultores sobre práticas agrícolas sustentáveis e que os consumidores, os extremos climáticos e o capital humano são alguns dos principais motivadores para a aplicação da agricultura regenerativa.

2.2 USO E BENEFÍCIOS DA AGRICULTURA REGENERATIVA

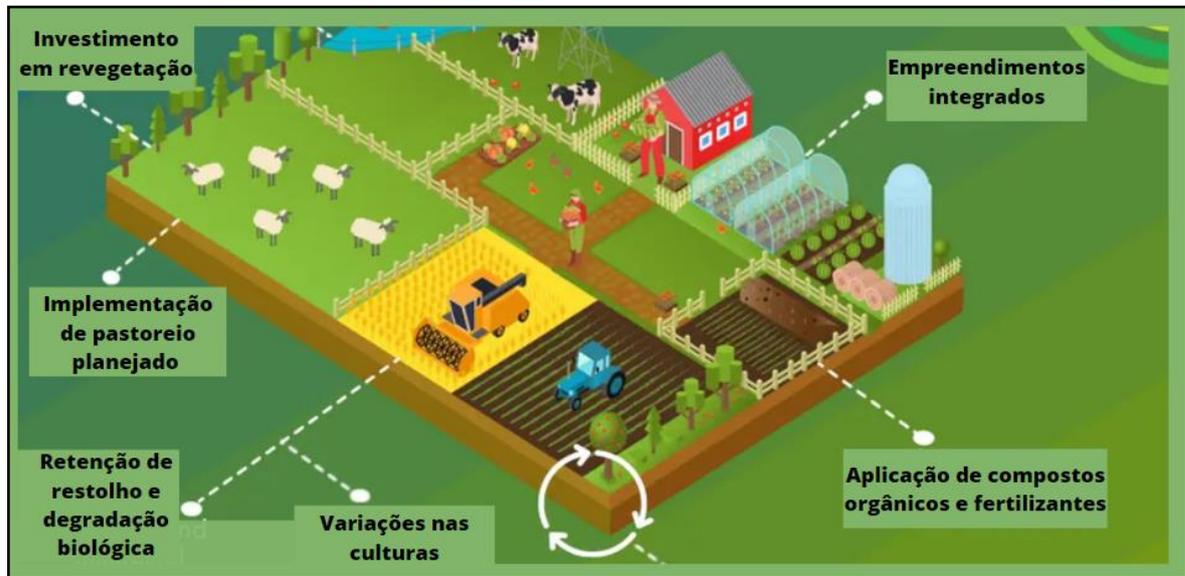
Apesar de ser ainda pouco discutida no Brasil, a agricultura regenerativa apresenta diversos benefícios, podendo tornar-se uma das principais práticas de plantio futuramente. Os efeitos das mudanças climáticas sobre a produtividade e o potencial de sequestro de carbono serão fatores decisivos para a agricultura a longo prazo (LOBATO, 2019).

A Figura 01 destaca os principais fatores envolvidos na agricultura regenerativa, incluindo a aplicação de compostos orgânicos, fertilizantes e bioaditivos, a implementação de pastejo planejado controlado por tempo, a retenção de restolho ou execução de desagregação biológica de restolho, o investimento na revegetação, a interação entre empresas e a alteração de culturas. Além desses, é possível destacar, segundo Savory (1998), o que segue:

- Contribuição para ciclos biológicos naturais e transferência de nutrientes;
- Gerenciamento holístico;
- Aplicação de manejo de pastagem e impacto animal como ferramentas de desenvolvimento da fazenda e do ecossistema;
- Construção de intervenções na paisagem ou cursos d'água para desacelerar ou capturar o fluxo de água;
- Cultivo de pastagem;
- Cultivo com semeadura direta;
- Incorporação de adubo verde ou sub-semeadura de leguminosas;

- Gerenciamento para aumento da diversidade de espécies;
- Redução ou interrupção da aplicação de produtos químicos sintéticos.

Figura 1 – Ilustração sobre os principais fatores relacionados à agricultura regenerativa



Fonte: Adaptado de *Soils for Life* (2021).

Portanto, a agricultura regenerativa, com suas práticas e técnicas sustentáveis, apresentará ainda mais destaque para o pequeno, médio e grande agricultor. Savory (1998) relatou as seguintes vantagens desse método de cultivo:

- Aumento da produtividade agrícola, resultando em maiores lucros;
- Melhora na saúde e biodiversidade do solo, conforme suas propriedades estruturais, químicas e biológicas;
- Impacto positivo ao meio ambiente através da diversificação da vegetação e maiores taxas de sequestro de carbono da atmosfera;
- Retenção de mais água no solo, possibilitando maior absorção por plantas e animais;
- Técnica de plantio e produção sustentável;
- Produção de vegetação e gado mais saudáveis e ricos em nutrientes;
- Regeneração dos recursos naturais, sem causar degradação;
- Construção de uma paisagem mais resiliente, principalmente aos extremos climáticos como inundações, secas e incêndios;
- Redução de custos com insumos agrícolas;
- Minimização no preparo do solo.

3 METODOLOGIA

Para avaliação das características físicas e químicas do solo foram realizadas coletas de amostras de solo em diferentes pontos localizados no município de Faxinal dos Guedes, em Santa Catarina, na Região Sul do Brasil. Duas coletas foram realizadas na Área 1 (cor vermelha na Figura 02), representando uma lavoura com aplicação da agricultura regenerativa, e as outras duas na Área 2 (cor amarela na Figura 02), onde utiliza-se o plantio direto.

Figura 2 - Localização da área de estudo - Município de Faxinal dos Guedes, com a marcação dos pontos de coleta (em vermelho: Área 1; em amarelo: Área 2)



Fonte: Adaptadas de Google Earth (2021).

Os pontos 1 e 2 da Área 1 estão localizados, respectivamente, nas coordenadas $26^{\circ}53'52,5''S$ $52^{\circ}11'57,8''O$ e $26^{\circ}53'52,6''S$ $52^{\circ}11'59,8''O$, enquanto os pontos 1 e 2 da Área 2 estão em $26^{\circ}53'43,8''S$ $52^{\circ}11'56,7''O$ e $26^{\circ}53'43,9''S$ $52^{\circ}11'54,4''O$. Nos devidos locais foram retiradas dez amostras de solo, as quais foram encaminhadas para os testes de laboratório e, em seguida, calculado a média para os seguintes parâmetros: porcentagem de argila e de matéria orgânica (MO), pH em água, concentrações de fósforo (P), potássio (K), alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Também, foram determinados a densidade do solo e a velocidade de infiltração de água no solo. Outro parâmetro estudado foi o índice de vegetação do solo comparando os cenários entre as duas áreas, com dados das safras dos três últimos anos (2018 a 2020).

3.1 DENSIDADE DO SOLO

Para analisar a densidade do solo foi realizado o Método do Cilindro Volumétrico. Este método consiste em medir a densidade média das amostras de solo, devido à sua relação com a composição mineralógica e orgânica do solo, além da porosidade total.

A determinação da densidade do solo envolve duas etapas: (1) obtenção da massa da amostra por pesagem e (2) determinação do volume. Após secagem na estufa e pesagem da amostra, a massa de solo seco foi obtida, já o volume de solo foi estimado através do cálculo do volume do anel utilizado na coleta do solo.

As amostras de solo foram coletadas com o uso de cilindro metálico, havendo a devida atenção para evitar a compactação do solo no interior do cilindro. As coletas foram realizadas nas camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 15 cm de profundidade do solo, de modo a validar a amostragem.

Após a realização da coleta, todo o solo contido no anel volumétrico foi armazenado na estufa a 105°C, por 24 horas. Após, pesou-se a massa seca e o seguinte cálculo para obtenção da densidade das amostras de solo foi realizado:

$$D_s = \frac{m_a}{V}$$

onde: D_s é a densidade do solo (g/cm^3);

m_a é a massa da amostra de solo seco a 105°C (g);

V é o volume do cilindro (cm^3).

3.2 INFILTRAÇÃO NO SOLO

Para determinar a infiltração de água no solo foi utilizado o Método do Infiltrômetro de Anel. Para isso, foram utilizados dois anéis, ambos de 25 cm de altura, sendo um de 50 cm diâmetro e outro de 25 cm, os quais foram cravados no solo a uma profundidade de 10 cm, posicionados um dentro do outro.

A partir disso, colocou-se uma lâmina de água em aproximadamente 14 cm e foi registrado o tempo em que a água foi sendo absorvida pelo solo. Inicialmente, as anotações

foram realizadas de 2 em 2 minutos e, após a infiltração ficar mais lenta, registrou-se a cada 5 minutos.

Por fim, com uma régua para medir a altura da lâmina d'água, obteve-se o dado de infiltração em função do tempo. Essa análise foi realizada pelo período de 1 hora e 30 minutos em 2 pontos de cada área com manejos diferentes, totalizando 4 amostragens.

3.3 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

O NDVI, significado de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*), é um parâmetro que permite a visualização da vegetação através de imagens de sensoriamento remoto. Este índice consiste em auxiliar no monitoramento de lavouras e na escolha sobre o manejo das culturas, além de realizar estimativas e mapeamentos (ROUSE, 1973).

A formação de uma imagem de NDVI ocorre através do cálculo da energia absorvida e refletida pela cultura, conforme a incidência dos raios solares que atingem a lavoura. Devido à ação de pragas, doenças, deficiências nutricionais, entre outros, podem ocorrer alterações no desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, a planta altera a absorção e refletância da luz solar. Desse modo, o NDVI é calculado com base nas bandas espectrais captadas por sensores que consideram espectros infravermelhos visível (região de grande absorção) e próximo (reflete a estrutura celular das plantas), fornecendo uma relação com a sanidade da cultura (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2008).

As imagens de NDVI também auxiliam nas tomadas de decisões em uma propriedade, sendo considerados importantes métodos de análise. Esta tecnologia permite maior agilidade na identificação de problemas e na prevenção de adversidades, reduzindo riscos e custos da perda de produtividade (OROZCO FILHO, 2013).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

As análises médias realizadas estão apresentadas no Quadro 1, onde é possível fazer uma comparação entre a Área 1 (agricultura regenerativa) e a Área 2 (plantio direto). Os parâmetros analisados no solo foram: porcentagem de argila e de matéria orgânica (MO), pH em água, concentrações de fósforo (P), potássio (K), alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Quadro 1 - Análises realizadas na Área 1 (Agricultura Regenerativa) e na Área 2 (Plantio Direto), considerando a média de 10 amostras de solo

	Argila (%)	pH (água)	P (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	MO (%)	Al (cmolc/dm ³)	Ca (cmolc/dm ³)	Mg (cmolc/dm ³)
Agricultura Regenerativa	46,43	4,57	10,24	117,76	5,56	2,31	4,47	1,99
Plantio Direto	46,29	5,43	7,00	93,00	4,77	0,67	8,83	2,39

Fonte: Do autor (2021).

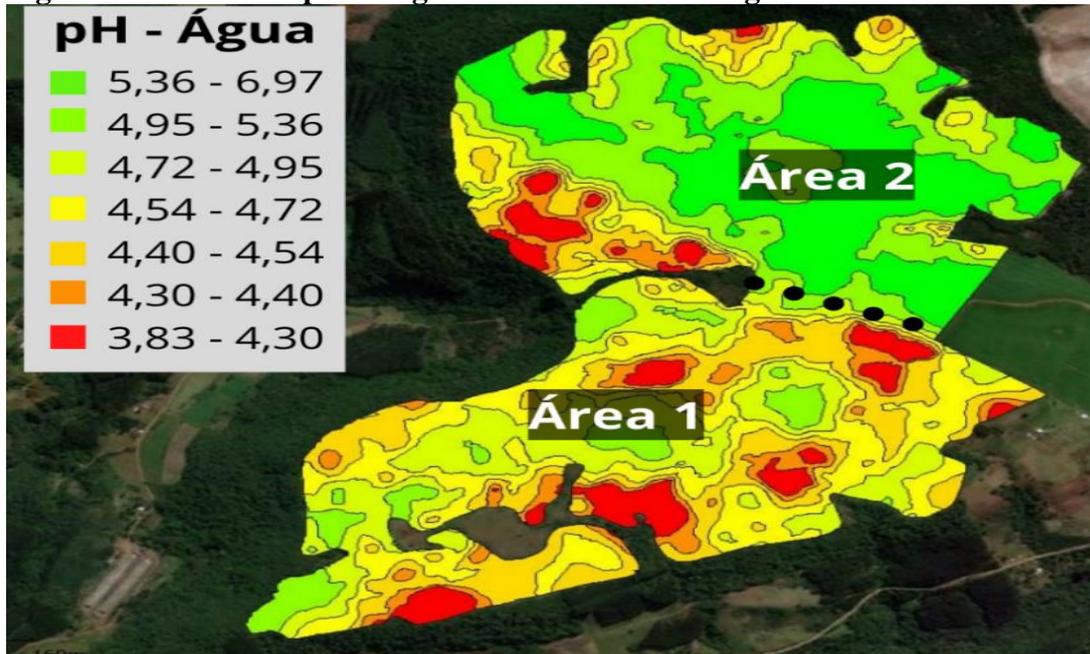
Conforme demonstrado no Quadro 1, as duas áreas apresentam porcentagens de argila semelhantes indicando, desta forma, que o teor de argila não apresenta diferença entre as áreas. Isso ocorre porque os fatores e processos de formação do solo são iguais nas duas áreas, o que confere textura semelhante aos solos.

De maneira geral, os solos da Região Oeste de Santa Catarina possuem textura variando de média a muito argilosa. Nas duas áreas estudadas evidencia-se textura semelhante, indicado solos de Classe 2, caracterizando-os como solos semelhantes em função da textura.

Em relação ao pH do solo, pode-se verificar que o solo da Área 2 apresentou maior valor 5,43 em relação ao 4,57 da Área 1. Essa diferença no pH é devido ao uso de calcário na Área 2, o que promoveu o aumento do pH e uma condição melhor quando comparado à Área 1.

Para facilitar o entendimento sobre a interpretação do pH do solo, foi construído um mapa de distribuição dos pH's dos solos avaliados na área de estudo (Figura 3). Desse modo, pode-se verificar que os valores variaram de 3,83, com caráter muito ácido, a valores de 6,97, próximo da neutralidade.

Figura 3 - Análise do pH na água do solo em toda a região de estudo



Fonte: Do autor (2021).

A Figura 3 também demonstra que a Área 2 possui melhores resultados para o pH, em comparação com a Área 1. Ademais, pode-se verificar que no setor onde é implementada a agricultura regenerativa (Área 1) ocorrem áreas críticas, com valores de pH muito baixos, próximos a 3,83. Em função disso, deve-se atentar para a necessidade de aplicação de corretivos de pH do solo em ambas as áreas, todavia, de maneira mais rápida na Área 1 onde se desenvolve a agricultura de caráter regenerativo.

Outros parâmetros apresentados no Quadro 1 foram o fósforo (P), o potássio (K) e a matéria orgânica (MO) do solo. Nessas três análises a área com implementação da agricultura regenerativa apresentou os melhores resultados, com valores de 10,24 mg/dm³, 117,76 mg/dm³ e 5,56%, respectivamente, uma vez que ocorre um manejo biológico considerável nessa situação, permitindo a conservação do solo com qualidade e com isso incremento no teor de matéria orgânica, o que é fundamental, indicando que esse tipo de agricultura promove sequestro de carbono.

O fósforo (P) é considerado por Pereira (2009) como um nutriente de baixa mobilidade no solo, uma vez que seu comportamento é atribuído à sua fixação pelos minerais argilosos. Normalmente, cerca de 25% do fósforo utilizado como fertilizante é aproveitado pelas culturas anuais em solos tropicais, sendo geralmente necessária a aplicação de quantidades superiores às extrações dessas culturas (SOUSA; LOBATO, 2002).

No caso do sistema da agricultura regenerativa, onde o manejo é realizado de modo que preserve os resíduos de plantas sobre o solo, ocorre o aumento da matéria orgânica (MO). Com isso, segundo Lopes *et al.* (2004), a MO, que possui uma mineralização lenta e gradual, possibilita a ocorrência de fósforo orgânico, o qual é menos suscetível às reações de adsorção. Além disso, a MO tem beneficiado a eficiência da adubação potássica, principalmente em função da sua reciclagem pelas plantas de interesse econômico e de cobertura do solo (PEREIRA, 2009).

De acordo com Salton *et al.* (1998), o aumento da matéria orgânica impacta diretamente na disponibilidade de nutrientes às plantas, uma vez que é fonte de energia para os microrganismos, o que induz na melhoria da produtividade das culturas em sistema de rotação. Com isso, os atributos físico-químicos e biológicos do solo também sofrem influência direta.

Outro parâmetro analisado foi o alumínio (Al) que, conforme esperado, resultou no valor de 2,31 cmolc/dm³ para a Área 1, que se refere a uma zona com pH menor, e de 0,67 cmolc/dm³ para a Área 2. O alumínio, presente em solos ácidos, é um dos principais fatores limitantes para o crescimento das plantas, resultando em baixa produtividade das culturas (MIGUEL *et al.*, 2010).

Solos com pH inferior a 5,5 tendem a apresentar formas tóxicas de Al, o que pode comprometer o desenvolvimento de plantas (MIGUEL, 2010). Portanto, a aplicação do calcário, conforme descrito anteriormente, torna-se uma alternativa para contornar esse problema e corrigir a acidez do solo.

Os resultados de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), apresentados no Quadro 1, demonstraram valores mais altos para a Área 2, atingindo 8,83 cmolc/dm³ e 2,39 cmolc/dm³, respectivamente. Esse resultado já era esperado, uma vez que nessa lavoura ocorre uma correção química periódica, com um manejo mais simplório, sem rotação de culturas, mas com aplicação de insumos.

A maior concentração de Ca e Mg na Área 2 está relacionado a calagem realizada nesta área, pois o calcário dolomítico, além de aumentar o pH do solo, adiciona os nutrientes Ca e Mg, melhorando a qualidade química do solo. Segundo Machado *et al.* (2019), maiores concentrações de Ca e Mg contribuem no aumento da produtividade da lavoura de soja. Sendo assim, o cultivo é controlado para que os nutrientes essenciais para a cultura estejam disponíveis.

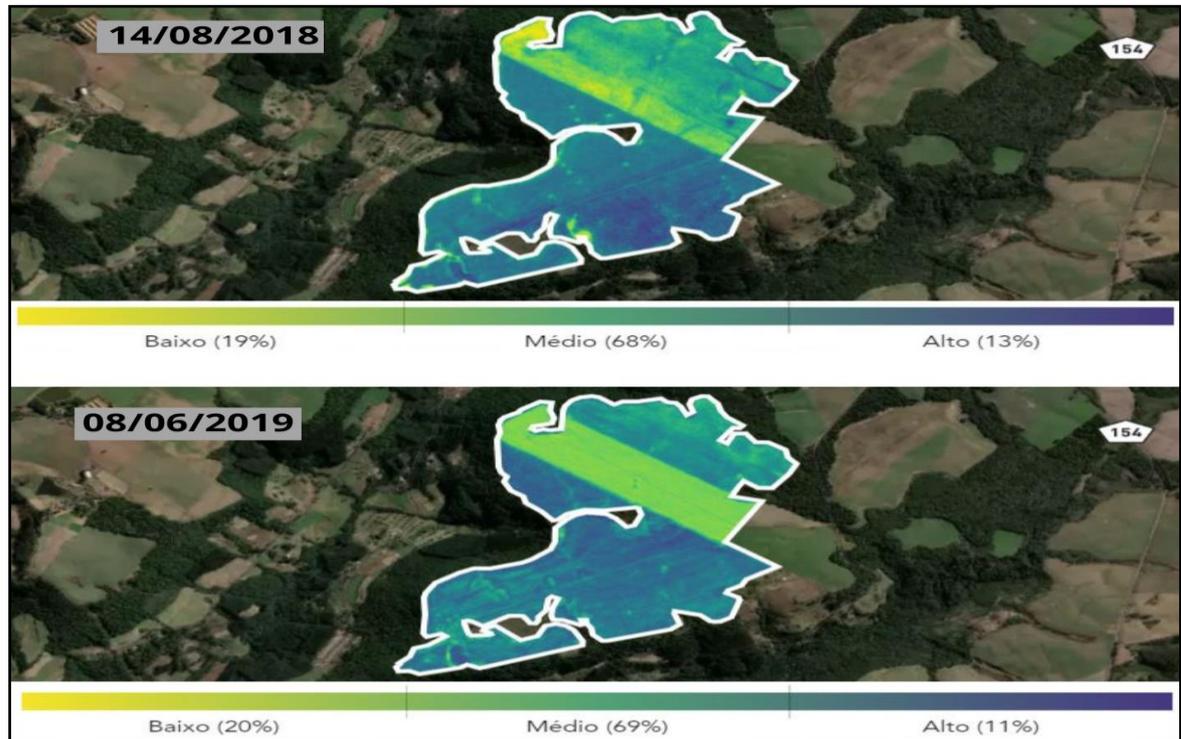
Também foram identificadas as diferenças de rotatividade das culturas nos dois métodos de plantio, com a verificação da presença de coquetéis vegetais através de informações fornecidas pelos proprietários das lavouras.

No caso da agricultura regenerativa (Área 1), observou-se uma alta variabilidade de plantas devido à rotatividade de culturas, o que minimiza os problemas de infestação de pragas, plantas daninhas ou doenças, bem como os custos em insumos agrícolas. Com a rotação de culturas é possível quebrar o ciclo de várias pragas e doenças, diminuindo os riscos de incidência desses organismos na lavoura, o que induz a um equilíbrio ambiental na microbiota (SALTON *et al.*, 1998).

Por outro lado, na lavoura com sistema de plantio direto (Área 2), o baixo índice de rotatividade de culturas, associada à intensa aplicação de insumos, causa um desbalanço em toda a cadeia alimentar dos microrganismos. Nessa situação, todas as doenças causadas por parasitas necrotróficos (como os agentes causais de manchas foliares e de podridões radiculares, por exemplo) aumentam de intensidade (SALTON *et al.*, 1998).

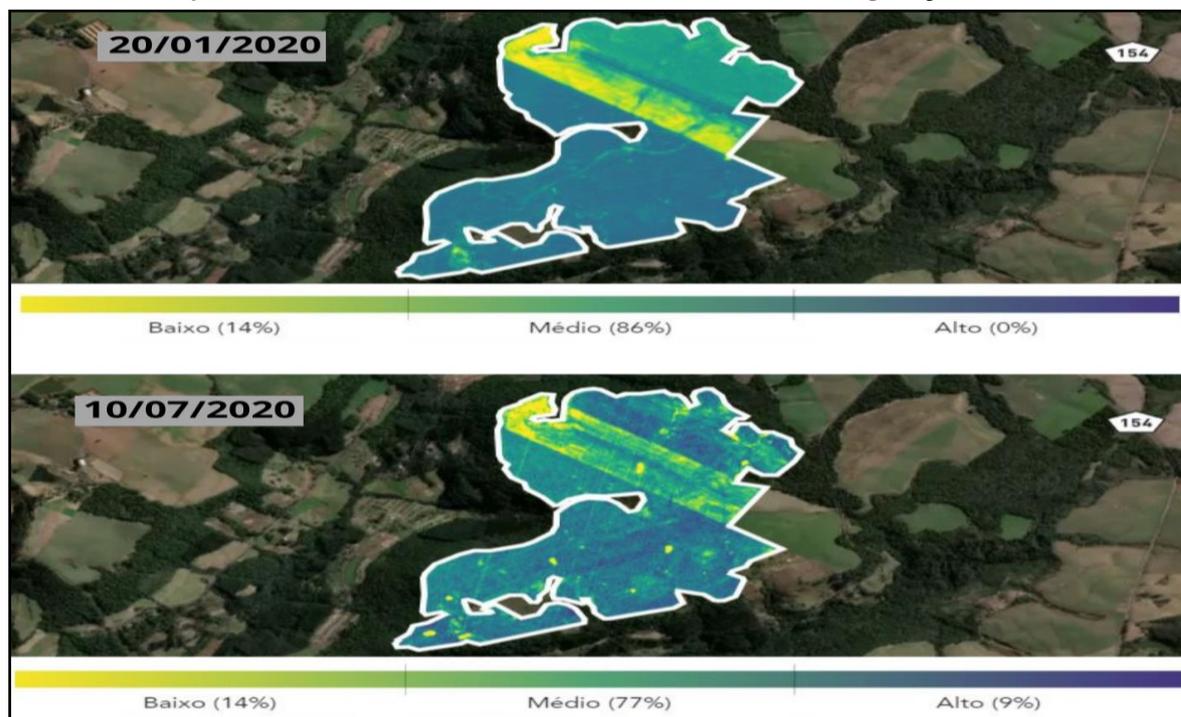
Com o objetivo de aprofundar as investigações a respeito de uma lavoura com aplicação da cultura regenerativa e outra que envolve o plantio direto, foram realizadas análises através de imagens NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), com o uso do sensoriamento remoto. Desse modo, foram verificados 4 cenários diferentes na região de estudo, considerando os dias 14 de agosto de 2018 e 08 de junho de 2019 (Figura 4) e os dias 20 de janeiro e 1º de julho de 2020 (Figuras 4 e 5).

Figura 4 - Imagens NDVI da região de estudo em 14 de agosto de 2018 (acima) e em 08 de junho de 2019 (embaixo), indicando o índice de vegetação (%)



Fonte: Do autor (2021).

Figura 5 - Imagens NDVI da região de estudo em 20 de janeiro de 2020 (acima) e em 1º de julho de 2020 (embaixo), indicando o índice de vegetação (%)



Fonte: Do autor (2021).

As Figuras 4 e 5 apresentam as culturas de cobertura nas safras dos três últimos anos, entre agosto de 2018 e julho de 2020. É importante destacar que as culturas de cobertura são plantas cultivadas com a finalidade de criar uma camada de proteção no solo, melhorando a infiltração de água (CARLOS *et al.*, 2006). Dessa forma, caracteriza o plantio direto, fornecendo maior umidade e menores taxas de erosão na lavoura.

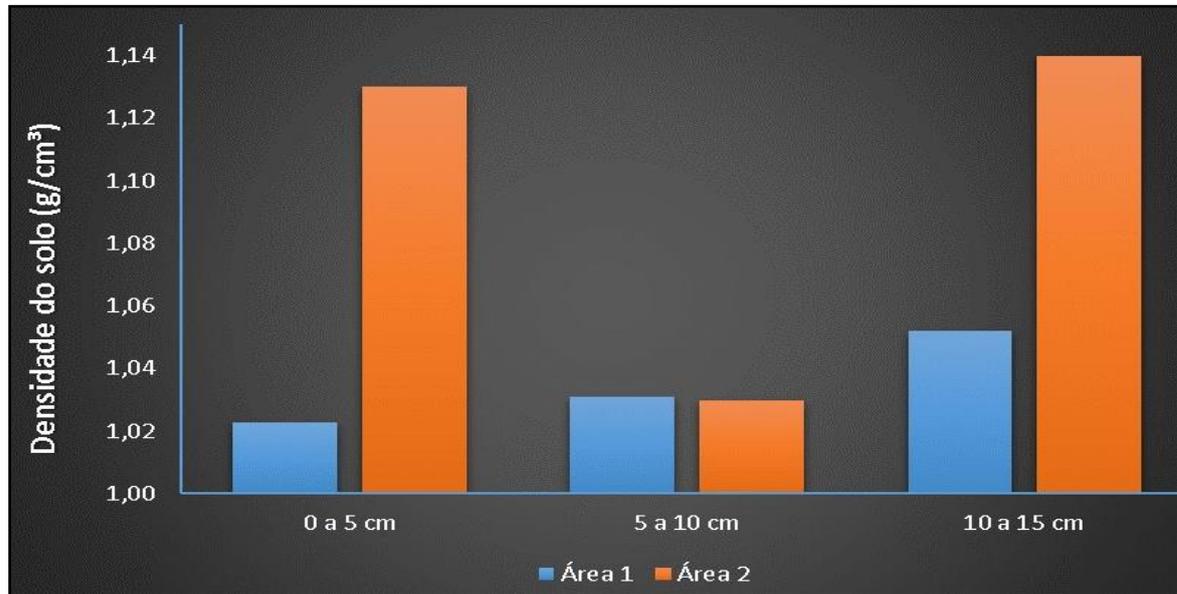
É possível verificar, através das imagens de NDVI, que a Área 1 possui um solo com maiores índices de vegetação em relação à Área 2, apresentando um coquetel vegetal bem definido, que é uma alternativa de manejo que contribui para aumentar a biodiversidade. Enquanto a Área 2 apresenta menor densidade vegetal, principalmente nas últimas duas safras (ano de 2020), representada pela maior intensidade da cor amarela nas Figuras 4 e 5.

Dessa forma, é possível corroborar com o estudo de Silva *et al.* (2013) que afirmaram que as culturas plantadas em coquetel proporcionam maior exploração do solo, além de fornecer material orgânico com composição de nutrientes mais diversificadas, conforme indicado no sistema de agricultura regenerativa (Área 1).

Por fim, deve-se destacar que o coquetel vegetal não substitui a adubação das culturas comerciais, mas auxilia na sua complementação nutricional através da fitomassa produzida. Portanto, a Área 1 pode necessitar de correções em alguns setores da lavoura, uma vez que possui um perfil químico inferior à Área 2, conforme demonstrado nas avaliações supracitadas.

A densidade média do solo nas duas áreas também foi analisada, através da coleta de amostras no intervalo das profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 15 cm. Com os valores do peso das amostras coletadas em campo e analisadas com o Método do Cilindro Volumétrico em laboratório, foi possível calcular a densidade média dos solos na Área 1 e 2, para cada intervalo de profundidade. Os resultados estão apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Comparação entre a densidade média do solo na Área 1 (em azul) e da Área 2 (em laranja), para os intervalos de 0 a 5cm, 5 a 10cm e 10 a 15cm



Fonte: Do autor (2021).

Na Área 1, os resultados de densidade do solo foram de 1,02, 1,03 e 1,05 g/cm³ para as profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 15 cm, respectivamente. Enquanto na Área 2, os resultados foram maiores, atingindo 1,13, 1,03 e 1,14 g/cm³. Com isso, os valores médios de densidade do solo foram de 1,03 g/cm³ na Área 1 e 1,10 g/cm³ na Área 2.

Segundo Ferreira (2010), a diferença na densidade dos solos indica, de maneira geral, a estrutura, a textura e a porosidade do mesmo. Sendo assim, o solo da Área 1 tem menor densidade que na Área 2, e por isso apresenta maior porosidade total, o que favorece o crescimento de raízes, as trocas gasosas e a infiltração de água.

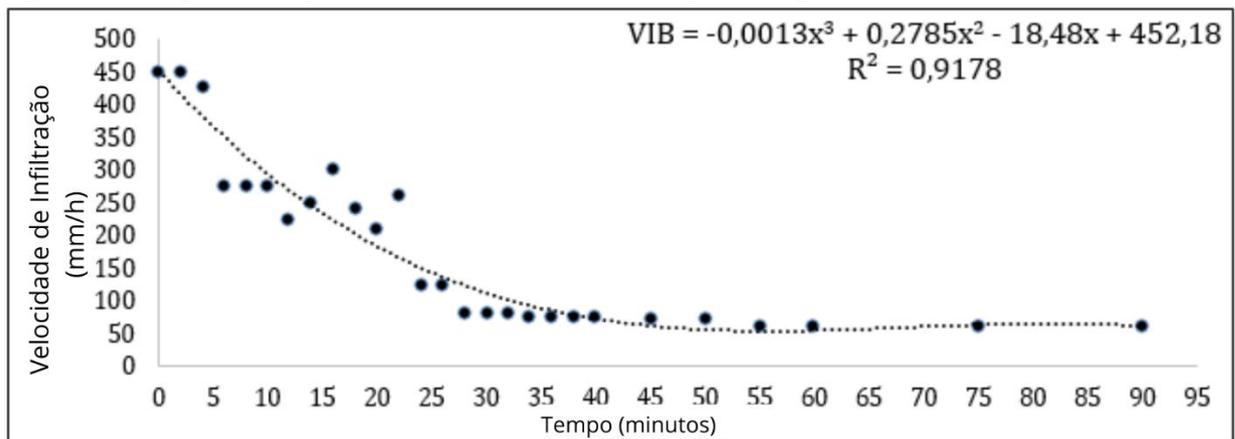
No estudo de Santana *et al.* (2018), os valores médios de densidade do solo no sistema plantio direto variaram de 1,00 a 1,10 g/cm³ na camada superficial (de 0 a 10 cm) e de 1,02 a 1,17 g/cm³ na camada subsuperficial (de 10 a 20 cm). Enquanto para Cherubin *et al.* (2015), que estudaram a densidade de solos argilosos sob sistema plantio direto, os resultados variaram de 1,40 a 1,51 g/cm³ na camada superficial e de 1,30 a 1,50 g/cm³ na camada subsuperficial.

Desse modo, os resultados obtidos nos sistemas de agricultura regenerativa e de plantio direto estão próximos aos níveis e padrões aceitáveis para um solo de textura argilosa, que normalmente varia de 0,90 a 1,25 g/cm³. É importante destacar que valores de densidade acima de 1,40 g/cm³, segundo Balin *et al.* (2017), são considerados restritivos para a maioria das culturas agrícolas em solos argilosos.

De acordo com Silva *et al.* (2017), os valores mais baixos de densidade do solo observados nas camadas superficiais estão relacionados às maiores concentrações de matéria orgânica e à presença de raízes nas camadas subsuperficiais, advindas das diferentes culturas agrícolas. Lepsch (2011) também descreveu que, normalmente, um solo mineral possui densidade maior que um orgânico, uma vez que um determinado volume de matéria orgânica pesa menos que o mesmo volume de material mineral.

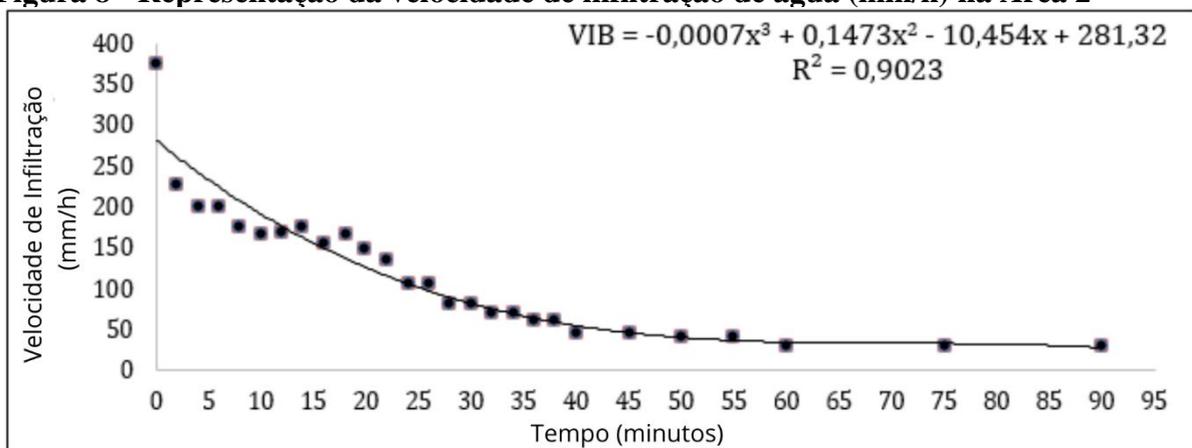
Outra análise realizada para comparar as características presentes na Área 1 e na Área 2, refere-se à velocidade de infiltração de água no solo (Figuras 7 e 8, respectivamente). Para isso, foi plotado no gráfico o cálculo da Velocidade de Infiltração Básica (VIB), com a verificação do Coeficiente de Determinação (R^2), conforme demonstrado a seguir.

Figura 7 – Representação da velocidade de infiltração de água (mm/h) na Área 1



Fonte: Do autor (2021).

Figura 8 - Representação da velocidade de infiltração de água (mm/h) na Área 2



Fonte: Do autor (2021).

Os resultados apresentados na Figura 7 indicam que a velocidade de infiltração de água no solo é maior na Área 1, chegando a 450 mm/h no momento inicial e diminuindo para a uma velocidade de 60 mm/h após 90 minutos de avaliação. Pode-se observar que a partir de 40 minutos de ensaio a velocidade de infiltração torna-se praticamente estável, atingindo a taxa de infiltração de água no solo.

Os resultados apresentados na Figura 8 indicam que a velocidade de infiltração de água no solo é menor na Área 2, chegando a 370 mm/h no momento inicial e diminuindo para a uma velocidade de 30 mm/h após 90 minutos de avaliação. Pode-se observar que a partir de 45 minutos de ensaio a velocidade de infiltração torna-se praticamente estável, atingindo a taxa de infiltração de água no solo.

O fato da área que aplica o método de agricultura regenerativa ter apresentado os maiores índices de infiltração já era esperado, uma vez que nesse método de cultivo ocorre muito manejo do solo, com presença de raízes e palhada. Segundo Klein e Klein (2014), o manejo do solo tem forte influência na infiltração, pois as raízes produzem canais para a descida da água e a palhada amortece o impacto da chuva. Desta forma, área com maior diversidade de raízes promovem maior diversidade de poros e melhor agregação do solo, o que favorece a infiltração de água.

Por outro lado, no sistema de plantio direto, Mancuso *et al.* (2014) afirmaram que ocorre muita compactação do solo, devido, principalmente, ao intenso tráfego de máquinas, o que causa a diminuição da infiltração de água. Desse modo, pode-se afirmar que a taxa de infiltração de água é um dos parâmetros primordiais para análise dos sistemas de cultivo, uma vez que auxilia na detecção de alterações no manejo do solo (VILARINHO *et al.*, 2013).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo consistiu em comparar o método de cultivo de soja de duas lavouras localizadas na cidade de Faxinal dos Guedes, no Oeste Catarinense, avaliando-se parâmetros químicos e físicos de solo e o índice de vegetação em uma área com agricultura regenerativa (Área 1) e uma área com plantio direto (Área 2).

Os resultados dos parâmetros físico-químico dos solos demonstraram que nas duas áreas as porcentagens de argila se aproximaram de 50%, indicando que o solo possui uma textura argilosa, sendo essa característica comum na região de estudo.

Outro parâmetro analisado em laboratório refere-se ao pH em água nas amostras, que resultou em um solo mais ácido para a área com agricultura regenerativa. Isso ocorre porque essa área não recebe calcário há mais de 10 anos, conforme informação do proprietário da lavoura, o que causa a diminuição da saturação de base do solo. Ademais, a área com sistema de plantio direto recebe insumos periodicamente, com aplicação de calcário a cada 3 anos, o que torna o pH mais elevado.

Os índices de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo também foram investigados, resultando em valores mais altos para a área com implementação da agricultura regenerativa. Isso ocorreu devido ao manejo biológico e a conservação do solo característicos desse método de cultivo.

Outro parâmetro analisado foi o alumínio que resultou em valores mais elevados para a área com sistema de agricultura regenerativa, que se refere a uma zona com pH menor. Esse resultado era esperado, uma vez que o alumínio está presente em solos mais ácidos.

Os resultados de cálcio e magnésio demonstraram valores mais altos para a área de plantio direto, uma vez que nesse método de cultivo há uma qualidade química superior em comparação à área com agricultura regenerativa. A maior concentração de cálcio e magnésio está relacionada à aplicação de calcário, que é um corretivo de solo que possui estes componentes químicos em sua composição.

As análises realizadas através das imagens de sensoriamento remoto, NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), nas safras dos últimos 3 anos, indicaram que a agricultura regenerativa possibilita um solo com maiores índices de vegetação, em comparação a uma situação de plantio direto. Tal característica fornece um material orgânico com composição de nutrientes mais diversificadas.

A densidade média do solo também foi analisada para as duas áreas, e os valores calculados resultaram em 1,03 g/cm³ na área com agricultura regenerativa e 1,10 g/cm³ na área com plantio direto. Desse modo, as menores densidades do solo, conforme esperado, foram observadas na área com agricultura regenerativa, que possui a maior concentração de matéria orgânica, enquanto na área com plantio direto, que se refere a um solo pouco manejado, os resultados foram maiores.

Outro ensaio realizado para comparação entre as duas áreas estudadas mediu a velocidade de infiltração de água no solo. Assim, observou-se maiores valores na área com agricultura regenerativa, que atingiu uma taxa de infiltração de água no solo de 60 mm/h; enquanto na área com plantio direto foi de 30 mm/h.

Portanto, a área com sistema de agricultura regenerativa apresentou os maiores índices de infiltração, caracterizado pelo intenso manejo de culturas que ocorre nesse solo. Ademais, deve-se destacar que o sistema de plantio direto causa uma maior compactação do solo e, portanto, a infiltração menor e mais lenta de água já era esperada.

Conforme os resultados de pH em água e de alumínio, pode-se afirmar que a área com agricultura regenerativa necessita de correções mais urgentes em relação à área com plantio direto. A aplicação do calcário seria uma alternativa interessante para contornar os problemas apresentados e corrigir a acidez do solo.

Em função da menor densidade do solo e maior velocidade de infiltração de água, pode-se destacar que a agricultura regenerativa pode favorecer o desenvolvimento de plantas, bem como a presença de água na lavoura e na bacia hidrográfica.

REFERÊNCIAS

- BALIN, N.M. *et al.* **Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso.** *Scientia Agraria*, v 18, n 3, 2017. doi:10.5380/rsa.v18i3.53114.
- CARLOS, J.A.D. *et al.* **Adubação verde: do conceito à prática.** Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca e Documentação, pp 32, 2006.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A. *et al.* **Classificação de Padrões de Savana usando assinaturas temporais NDVI do Sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros.** *Revista Brasileira Geofísica*, v 26 (4), pp 505-507, 2008.
- CHERUBIN, M.R. *et al.* **Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes.** *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v 39, n 2, 2015. doi:10.1590/01000683rbc20140462.
- D'SOUZA, G. *et al.* **Factors Affecting the Adoption of Sustainable Agricultural Practices.** *Agricultural and Resource Economics Review*, v 22, 1993. doi:10.1017/S1068280500004743.
- FENSTER, T.L.D. *et al.* **Defining and validating regenerative farm systems using a composite of ranked agricultural practices.** F1000Research, 2021.
- FERREIRA, M.M. **Caracterização física do solo.** In: LIER, Q.J. van. (Ed). *Física do solo.* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, pp 12-24, 2010.
- GILLER, K.E. *et al.* **Regenerative Agriculture: An agronomic perspective.** *Outlook on Agriculture*, v 50, n 1, pp 13-25, 2021. doi:10.1177/0030727021998063.
- GRANT, S. **Organizing alternative food futures in the peripheries of the industrial food system.** *The Journal of Sustainability Education*, v 14, pp 1-14, 2017.

KLEIN, C.; KLEIN, V.A. **Influência do manejo do solo na infiltração de água.** Revista Monografias Ambientais – REMOA, v 13, n 5, pp 3915-3925, 2014. doi:10.5902/2236130814989.

LACANNE, C.E.; LUNDGREN, J.G. **Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably.** PeerJ, 2018. doi:10.7717/peerj.4428.

LEPSCH, I.F. **Dezenove lições de pedologia.** São Paulo: Oficina de Textos, pp 456, 2011.

LOBATO, B. **Agricultura conservacionista: conheça os preceitos e práticas para o Cerrado.** 2019. Transferência de Tecnologia. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/48440960/agricultura-conservacionista-conheca-os-preceitos-e-praticas-para-o-cerrado>> . Acesso em nov de 2021.

LOPES, A.S. *et al.* **Sistema Plantio Direto: bases para o manejo da fertilidade do solo.** São Paulo: ANDA, v 1, n 1, 2004.

MACHADO, A.B. *et al.* **Efeito na produtividade e condição de solo no plantio de soja, sob diferentes dosagens de Óxido de Cálcio e Magnésio.** Anais da XII Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo: Xanxerê – SC, Brasil, 2019.

MANCUSO, M.A. *et al.* **Características da taxa de infiltração e densidade do solo em distintos tipos de cobertura de solo em zona urbana.** Revista Monografias Ambientais, Santa Maria, v 14, n 1, Edição Especial pp 2890–2998, 2014.

MIGUEL, P.S.B. *et al.* **Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos.** Juiz de Fora: CES Revista, v 24, pp 13-30, 2010.

MPANGA I.K. *et al.* **Needs Assessment for Commercial Horticulture and Small Acreage in North Central Arizona.** Cooperative Extension – The University of Arizona, 2020. doi:10.13140/RG.2.2.30091.11047.

MPANGA, I.K. *et al.* **Adaptation of resilient regenerative agricultural practices by small-scale growers towards sustainable food production in north-central Arizona.** Current Research in Environmental Sustainability, v 3, 2021. doi:10.1016/j.crsust.2021.100067.

NGO, T. *et al.* **Assessing the important factors of sustainable agriculture development: an Indicateurs de Durabilité des exploitations Agricoles-analytic hierarchy process study in the northern region of Vietnam.** Sustainable. Development, pp. 1-12, 2020. doi:10.1002/sd.2148.

ONU - Organização das Nações Unidas para o Brasil. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** UNIC Rio, 2015.

OROZCO FILHO, J.C. **Análise de imagens de séries temporais NDVI do sensor MODIS na Microrregião de Vilhena.** Monografia de final de curso, Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Humanas, Departamento de Geografia, DF, 2013.

PEARSON, C.J. **Regenerative, semiclosed systems: a priority for twenty-first-century agriculture.** *BioScience*, v 57, pp 409-418, 2007.

PEREIRA, H.S. **Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados.** *Visão agrícola*, n 9, pp 43-46, 2009.

PRETTY, J. *et al.* **Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification.** *Nature Sustainability*, v 1, pp 441-446, 2018. doi:10.1038/s41893-018-0114-0.

RHODES, C. **The Imperative for Regenerative Agriculture.** *Science Progress*, v 100, pp 80-129, 2017.

RODALE - INSTITUTE. **Regenerative Organic Agriculture and Climate Change: A Down-to-Earth Solution to Global Warming.** Kutztown, PA: Rodale Institute, 2014.

ROUSE, J.W. *et al.* **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation.** *Greenbelt: National Aerospace Spatial Administration*, pp 371, 1973.

SALTON, J.C. *et al.* **Sistema Plantio Direto: O produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília: Embrapa-SPI, v 1, pp 248, 1998.

SANTANA, J.S. *et al.* **Caracterização Física e Química de Solo em Sistemas de Manejo Plantio Direto e Convencional.** *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer: Goiânia*, v 15 n 27; pp 22, 2018.

SAVORY, A. **Holistic Management: A new framework for decision making.** Island Press, vol 2, pp 644, 1998.

SAVORY, A; DUNCAN, T. **Land Restoration: Reclaiming Landscapes for a Sustainable Future.** Cap. 4.4 - Regenerating agriculture to sustain civilization. Chabay I, Frick M, Helgeson J (Eds), pp 289-309. Academic Press, 2016.

SILVA, M.S.L. *et al.* **Coquetel vegetal: produção de fitomassa e teores de macro e micronutrientes de espécies para adubação verde e/ou cobertura do solo.** I Reunião Nordestina de Ciência do Solo. CC/UFPB – Areia/PB, pp 4, 2013.

SILVA, M.P. *et al.* **Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto.** *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v 12, n 1, pp 60-67, 2017. doi:10.5039/agraria.v12i1a5424.

SOTO, R.L. *et al.* **Participatory selection of soil quality indicators for monitoring the impacts of regenerative agriculture on ecosystem services.** *Ecosystem Services*, v 45, n 101157, 2020. doi:10.1016/j.ecoser.2020.101157.

SOTO, R.L. *et al.* **Restoring soil quality of woody agroecosystems in Mediterranean drylands through regenerative agriculture.** *Agriculture Ecosystems & Environment*, v 306, n 107191, 2021. doi:10.1016/j.agee.2020.107191.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002.

TILMAN, D. *et al.* **Global food demand and the sustainable intensification of agriculture**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v 108, n 50, pp 20260-20264, 2011. doi:10.1073/pnas.1116437108.

VILARINHO, N.K.C. *et al.* **Determinação da taxa de infiltração estável de água em solo de cerrado nativo**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. Fortaleza, v 7, n 1, pp 17-26, 2013.