

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Alterações na qualidade do solo induzidas pelo uso de ativador da
microbiota do solo em áreas cultivadas com soja e milho**

Gabriela Marques Cardoso

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas.

**Piracicaba
2022**

Gabriela Marques Cardoso
Engenheira Agrônoma

**Alterações na qualidade do solo induzidas pelo uso de ativador da microbiota do solo em
áreas cultivadas com soja e milho**

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **MAURÍCIO ROBERTO CHERUBIN**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas

Piracicaba
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Cardoso, Gabriela Marques

Alterações na qualidade do solo induzidas pelo uso de ativador da microbiota do solo em áreas cultivadas com soja e milho / Gabriela Marques Cardoso. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

66 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Condicionadores do solo 2. Saúde do solo 3. Indicadores 4. Rizosfera 5. SMAF I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação de mestrado a mim e a todos aqueles que acreditam na ciência e trabalham em prol dela.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP-ESALQ), ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas e a todos os seus professores por possibilitarem a realização desse mestrado. Sou grata pelo aprendizado, desenvolvimento pessoal e profissional adquiridos durante essa trajetória.

À Bluagri Indústria e Comércio Fertilizantes LTDA (projeto FEALQ #103955), pela parceria e provisão de recursos para execução do projeto. O presente trabalho também foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 (bolsa de mestrado - processo 88887.513559/2020-00).

Ao meu orientador Prof. Dr. Maurício Roberto Cherubin por sempre nos incentivar a sermos independentes e nos envolver em projetos excepcionais, além de ser um grande exemplo de pessoa e profissional para mim. Agradeço a oportunidade de fazer parte do seu grupo de pesquisa e por ter me auxiliado durante toda essa caminhada que culmina nessa dissertação.

Ao técnico do laboratório de Física do Solo Reginaldo Nogueira pelo ensino e auxílio nas análises físicas. Aos alunos do programa Me. Felipe Martins do Rêgo Barros, Me. Victor Lucas V. P. De Araujo, Me. Rafael Silva e à técnica do Laboratório de Matéria Orgânica Eleusa Cecilia Bassi pelo ensino e suporte durante as análises biológicas. Ao técnico do laboratório de microbiologia Fernando Luis Baldesin por disponibilizar as estufas durante a realização de análises.

Aos colegas do grupo Soil Health & Management Research Group (SOHMA), principalmente ao Felipe Bonini da Luz, Daniel Aquino de Borba, Matheus de Sá Altariugio, Maria Julia Grassi Cavassutti, Bruna Emanuele Schiebelbein e ao ex. Treinamento Técnico do grupo Marcos Bonini Pires, por se envolverem diretamente no meu projeto auxiliando nas coletas e/ou análises. Também aos estagiários João Victor Paixão e Gabriel que me auxiliaram no final de algumas análises. Gostaria de agradecer aos demais pós-graduandos e membros do grupo que me auxiliaram de alguma forma seja pelo ensino, apoio ou momentos felizes que passamos juntos. Foi e tem sido uma jornada e tanto.

Aos meus amigos Lis Campos, Cláudia Mendonça e Rafael Santana Mendonça que me trouxeram momentos de muita alegria aqui nessa cidade. Obrigada por me ouvirem e

estarem sempre comigo! Aos meus amigos Myckell Campos de Almeida e Lírian França de Oliveira que mesmo distantes se fizeram presentes de alguma forma.

Aos meus pais Nilvania e Mario Nelson por embarcarem nessa jornada comigo e me ajudarem sempre que precisei, sem vocês tudo isso não seria possível! À minha madrastra Thereza pela preocupação e cuidado, e aos meus irmãos Daniel, Mateus e Alice pelos bons tempos que passamos juntos.

Agradeço a Deus pelo sustento durante esse processo tanto nos momentos bons quanto nos ruins, também pelo desenvolvimento pessoal que me permitiu ter durante esses anos guiando meus passos e abençoando meu caminho.

EPÍGRAFE

*“It is our choices that show what we truly
are, far more than our abilities.”*

J. K. Rowling

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
2.1. Áreas de estudo.....	15
2.2. Tratamentos	16
2.3. Amostragem do solo.....	17
2.4. Indicadores da qualidade do solo analisados.....	18
2.4.1. Indicadores químicos.....	18
2.4.1.1. Disponibilidade de nutrientes	18
2.4.1.2. Indicadores de acidez.....	18
2.4.2. Indicadores físicos	19
2.4.2.1. Densidade e porosidade do solo	19
2.4.2.2. Resistência a penetração do solo	19
2.4.3. Indicadores biológicos.....	19
2.4.4. Índice de qualidade do solo	20
2.5. Análise dos dados	21
3. RESULTADOS	23
3.1. Indicadores químicos do solo	23
3.2. Indicadores físicos do solo	30
3.3. Indicadores biológicos do solo	32
3.4. Qualidade do solo	36
4. DISCUSSÃO.....	41
4.1. Indicadores químicos do solo	41
4.2. Indicadores físicos do solo	44
4.3. Indicadores biológicos do solo	47
5. CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS	55
APÊNDICES.....	65

RESUMO

Alterações na qualidade do solo induzidas pelo uso de ativador da microbiota em áreas cultivadas com soja e milho

A crescente necessidade de atingir maiores produtividades das culturas com sustentabilidade, associado com os avanços no conhecimento sobre a biologia do solo, fizeram com que o mercado de produtos biológicos na agricultura esteja vivenciando um cenário de desenvolvimento e crescimento tanto no número de produtos, quanto em sua utilização. A utilização de produtos biológicos na agricultura pode gerar uma série de benefícios à saúde do solo e à produtividade das culturas, no entanto estes efeitos necessitam ser melhor elucidados e validados nas diferentes regiões edafoclimáticas do Brasil. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar se o uso de produtos biológicos classificados como ativadores da microbiota do solo em áreas agrícolas estimularia a atividade dos organismos nativos do solo no curto prazo, impactando positivamente os indicadores químicos, físicos e biológicos do solo e consequentemente a qualidade do solo. Os experimentos foram conduzidos em 10 áreas localizadas nas regiões Sul, Centro-Oeste e Nordeste. Em cada área o experimento foi realizado em faixas experimentais com (C/A) e sem aplicação (S/A) dos ativadores da microbiota do solo em áreas produtoras de milho e soja. Em cada faixa experimental, foram alocados aleatoriamente quatro pontos amostrais e realizada as coletas de solo em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) e de solo rizosférico em cada um dos pontos, isto ao final do ciclo dos cultivos ou pós-colheita. Foram coletadas amostras indeformadas para avaliação da densidade e porosidade do solo, e deformadas para as análises laboratoriais de indicadores químicos, biológicos e textura do solo. As amostras de solo rizosférico passaram por análises químicas e biológicas. Os resultados demonstraram variações nas condições intrínsecas do solo nas diferentes regiões. De modo geral, a região Nordeste foi a única que não apresentou diferenças significativas em nenhum atributo químico. Os atributos que tiveram as alterações mais importantes foram MiP e MaP, contudo os valores de Pt não diferiram estatisticamente entre os tratamentos e dentro de cada profundidade. O solo rizosférico apresentou maior atividade de microrganismos (medido pela atividade da enzima betaglicosidase) do que o solo não rizosférico, porém não houve efeito do uso do ativador da microbiota. Portanto, foi possível concluir através desse estudo que o uso de ativadores da microbiota do solo praticamente não resultou em alterações detectáveis sob o ponto de vista químico, físico e biológico, e, portanto, não alterou a qualidade do solo no curto prazo em diferentes regiões do Brasil cultivadas com soja/milho. Recomenda-se que o monitoramento da qualidade do solo seja continuado nas próximas safras, para detectar eventuais alterações no mais longo prazo.

Palavras-chave: Condicionadores do solo, Saúde do solo, Indicadores, Rizosfera, SMAF

ABSTRACT

Changes in soil quality induced using soil microbiota activator in areas cultivated with soybean and corn

The growing need to achieve higher crop yields with sustainability, associated with advances in knowledge about soil biology, has meant that the market of biological products in agriculture is experiencing a scenario of development and growth in both number of products and their use. The use of biological products in agriculture can generate a series of benefits to soil health and crop productivity; however, these effects need to be better elucidated and validated in different soil and climate regions of Brazil. In light of this, our goal was to evaluate whether the use of biological products classified as soil microbiota activators in agricultural areas would stimulate the activity of native soil organisms in the short term, positively impacting the chemical, physical and biological soil indicators and consequently, soil quality. The experiments were conducted in 10 areas located in the South, Midwest and Northeast regions of the country. In each area, the experiment was conducted in experimental strips with (C/A) and without (S/A) application of soil microbiota activators in corn and soybean producing areas. In each experimental strip, four sampling points were randomly allocated and soil samples were collected at two soil depths (0-10 and 10-20 cm) and rhizospheric soil at each point, at the end of the crop cycle or post-harvest. Undisturbed samples were collected to evaluate bulk density and soil porosity, and disturbed samples for laboratory analysis of chemical and biological indicators and soil texture. The rhizospheric soil samples were subjected to chemical and biological analyses. Results showed there were variations in intrinsic soil characteristics in the different regions. In general, the Northeast region was the only one that did not show significant differences in any chemical attribute. The attributes that had the most important changes were MiP and MaP, however, Pt values did not differ statistically among treatments and within each depth. The rhizospheric soil showed higher microorganism activity (measured by the activity of the beta-glucosidase enzyme) than the non-rhizospheric soil, but there was no effect of the use of the microbiota activator. Therefore, it was possible to conclude through this study that the use of soil microbiota activators did not result in detectable changes from a chemical, physical, and biological perspective, and therefore did not change the soil quality in the short term in different regions of Brazil cultivated with soybean/maize. It is recommended that soil quality monitoring continues in the next crops in order to detect any changes in the longer term.

Keywords: Soil conditioner, Indicators, Soil health, Rhizosphere, SMAF

1. INTRODUÇÃO

A população mundial deve atingir a marca de 8,5 bilhões de pessoas em 2030 e de 9,7 bilhões, em 2050 (Nações Unidas, 2019). O crescimento populacional é um dos fatores que manterá o aumento da demanda global de alimentos nos próximos anos (Saath e Fachinello, 2018), no entanto atualmente o cenário agrícola é de restrita possibilidade de expansão de terras aráveis para produção de mais alimentos (EMBRAPA, 2006). Sendo assim, para suprir essa maior e crescente demanda é necessário aumentar a eficiência dos sistemas atuais, a partir do uso de boas práticas de manejo, insumos avançados e novas tecnologias que promovam a melhoria da qualidade do solo e a produtividade das culturas.

A qualidade do solo pode ser entendida como: "A capacidade de o solo funcionar, dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar, e apoiar a saúde dos seres humanos" (Karlen et al., 1997). A qualidade do solo é resultado da interação entre propriedades e processos físicos, químicos e biológicos, portanto, todo protocolo de avaliação de qualidade do solo necessita contemplar indicadores que representem estes três componentes do solo (Cherubin et al., 2016; Bünemann et al., 2018).

Os indicadores utilizados na avaliação da qualidade do solo devem preferencialmente atender alguns critérios básicos, como: ser conceitualmente relacionado com uma ou mais funções do solo; prático, de fácil acessibilidade, aplicável em campo e bom custo-benefício; sensível a ponto de responder às mudanças ambientais e de manejo; e de fácil interpretação (Doran e Parkin, 1994; Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020). Um conjunto mínimo de indicadores químicos, físicos e biológicos deve ser selecionado de acordo com o objetivo da avaliação, em sequência avaliados, quantificados e por fim integrados em um índice denominado Índice de Qualidade do Solo (IQS) (Karlen et al., 2001). Uma ferramenta de indexação muito utilizada na etapa de integração dos indicadores é a chamada Soil Management Assessment Framework (SMAF) desenvolvida por Andrews et al. (2004).

A sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola e a qualidade do solo podem progredir ou declinar com o passar dos anos de acordo com o manejo e uso da área (Cardoso et al., 2013). Segundo Doran e Parkin, (1994) o manejo aplicado em um local só pode ser considerado sustentável se mantiver ou melhorar a qualidade dos recursos naturais especialmente a qualidade do solo, água, ar e alimentos. Sendo assim, existem práticas de manejo como a utilização de plantas de cobertura, rotação de culturas, cultivo mínimo, plantio direto, uso de insumos, agricultura orgânica, entre outras, que podem ser utilizadas para

manter ou promover sistemas mais equilibrados e sustentáveis, e para reduzir os impactos negativos na qualidade do solo, mantendo-a ou, melhorando-a (Cardoso et al., 2013; Norris e Congreves, 2018; Pervaiz et al., 2020). A aplicação dessas técnicas é importante, pois de modo geral, solos saudáveis apresentam melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas, promovendo solos mais resistentes e resilientes favorecendo os ecossistemas, a qualidade de vida humana, gerando mais equilíbrio e sustentabilidade nos sistemas agrícolas (Stevens et al., 2018).

Durante muitos anos o foco da maioria dos índices de qualidade do solo e dos estudos da área foi dado aos indicadores químicos e físicos do solo, enquanto a proporção de indicadores biológicos utilizados era significativamente menor, o que ainda ocorre (Bünemann et al., 2018; Simon et al., 2022). Normalmente os agricultores consideram os atributos químicos e físicos como primordiais na avaliação da qualidade do solo (Bastida et al., 2008). Apesar disso, a crescente compreensão da importância da composição biológica do solo e o desenvolvimento tecnológico impulsionaram estudos sobre a biologia do solo e o papel destes organismos nos processos e funções do solo (Lemanceau et al., 2015).

Atualmente, o mercado de produtos biológicos na agricultura está vivenciando um cenário de crescimento tanto no número de produtos, quanto em sua utilização no campo. Empresas do ramo de agroquímicos têm buscado se inserir nesse crescente nicho, através da compra de outras empresas especializadas em controle biológico ou pela busca de novas tecnologias para produção de produtos biológicos (Halfeld-Vieira et al., 2016; Parra, 2014). De acordo com o Markets and Markets o valor estimado do mercado mundial de produtos biológicos é estimado em US\$ 12,9 bilhões em 2021 e poderá atingir uma taxa anual de crescimento de 13,7% até 2027, atingindo o valor de US\$ 24,6 bilhões.

Os produtos biológicos destinados à agricultura apresentam registros específicos conforme suas próprias normativas. Segundo o IBAMA (2020), os produtos de baixa periculosidade podem ser divididos em quatro categorias: i) agentes biológicos de controle, ii) agentes microbiológicos de controle, iii) semioquímicos e iv) produtos bioquímicos. Estas mesmas categorias, com exceção dos bioquímicos, também são previstas pela ANVISA. Essas normativas da legislação brasileira dão ênfase aos produtos biológicos destinados ao controle de pragas e doenças, os biodefensivos. Existem também legislações específicas para os inoculantes de uso agrícola com a descrição dos microrganismos que podem ser utilizados nestes produtos a Instrução Normativa SDA Nº 13, de 24 de março de 2011 (Jardim, 2011), para os produtos denominados condicionadores do solo a Instrução Normativa SDA Nº 35, de 4 de julho de 2006 (Maciel, 2006) , assim como para fertilizantes orgânicos e biofertilizantes,

Instrução Normativa Nº 61, de 08 de julho de 2020 (Leal, 2020). Sendo assim, com base na legislação brasileira e para fins didáticos os produtos biológicos podem ser classificados com base em suas funções e assim divididos em 4 grupos conforme mostra a figura 1.

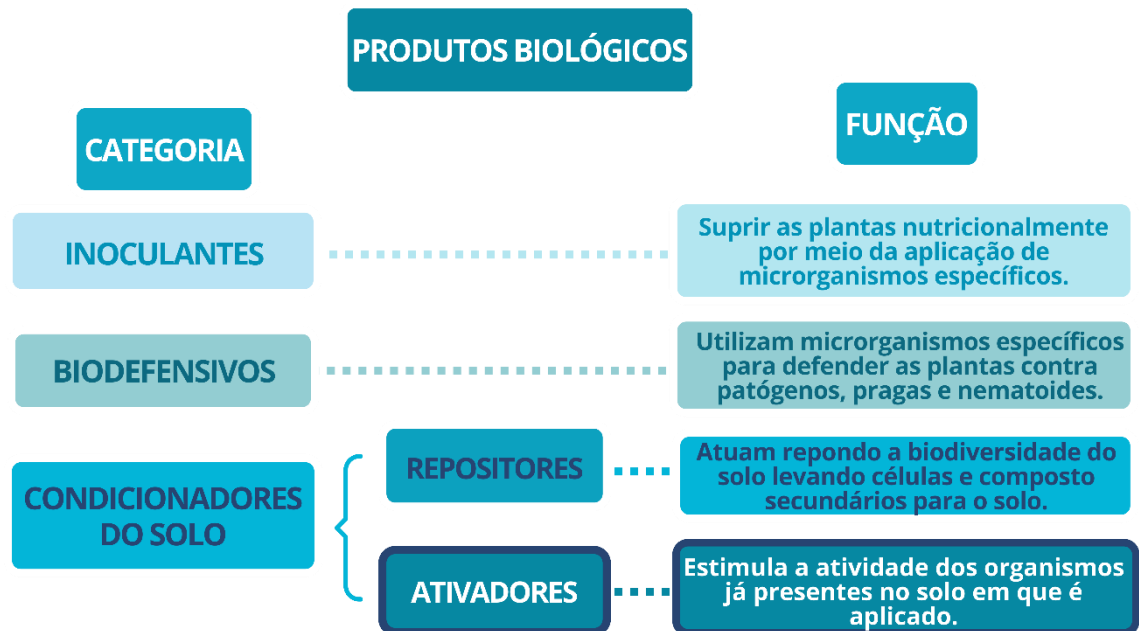


Figura 1. Classificação dos produtos biológicos com base na legislação brasileira, conforme a categoria e função do produto, com destaque para os ativadores da microbiota do solo que são objetos do nosso estudo. Fonte: Instrução Normativa Conjunta Nº 32, de 26 de outubro de 2005 (Maciel et al., 2005), Instrução Normativa Conjunta Nº 1, de 23 de janeiro de 2006 (Maciel et al., 2006b), Instrução Normativa Conjunta Nº 2, de 27 de setembro de 2006 (Maciel et al., 2006a), Instrução Normativa Conjunta Nº 03, de 10 de março de 2006 (Maciel et al., 2006), Instrução Normativa SDA Nº 35, de 4 de julho de 2006 (Maciel, 2006), Instrução Normativa SDA Nº 13, de 24 de março de 2011 (Jardim, 2011), Andreote (2022) comunicação pessoal.

O primeiro grupo é composto pelos inoculantes que são utilizados para suprir as plantas nutricionalmente por meio da aplicação de microrganismos específicos. Como exemplos, destacam-se os organismos fixadores de nitrogênio como *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*, bactérias e fungos solubilizadores de fósforo, fungos formadores de micorrizas, entre outros (Elliott et al., 2021; Estrada-Bonilla et al., 2021; Hamed et al., 2020). O segundo grupo é composto pelos biodefensivos, os quais também utilizam organismos específicos para defender as plantas contra patógenos, pragas e nematoides. Microrganismos como *Trichoderma*, *Metharizium* e *Pochonia* são utilizados com essa finalidade (Al-Farhani et al., 2021; Poveda, 2021; Zhuang et al., 2021). Existem também os chamados condicionadores biológicos que são divididos em dois grupos: os **ativadores** e repositores. Grupos ativadores estimulam os organismos já presentes no solo, enquanto os repositores atuam repondo a

biodiversidade do solo levando células e compostos secundários para o solo (Bueno et al., 2011; Li et al., 2021; Maris et al., 2021). Enquanto o uso dos repositores é mais complexo devido à manipulação de uma comunidade de organismos, há um crescimento no uso dos produtos ativadores da microbiota do solo, embora exista uma carência de dados científicos dos seus efeitos nos solos e plantas.

A Instrução Normativa SDA Nº 35, de 4 de julho de 2006 estabelece que um condicionador do solo é definido como um produto que promove a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou atividade biológica do solo, podendo recuperar solos degradados ou desequilibrados nutricionalmente. Neste sentido, a utilização dos ativadores da microbiota dos solos pode ser uma estratégia para promover a melhoria dos indicadores de qualidade do solo. Estudos realizados em outros países, como Itália e China em culturas como milho e trigo, têm demonstrado efeitos promissores do uso de condicionadores de solo para o crescimento e desenvolvimento de plantas, ciclagem de nutrientes, matéria orgânica do solo, capacidade de retenção de água, capacidade de troca de cátions, atividade biológica do solo, redução da adubação nitrogenada e também da emissão de gases do efeito estufa, como o óxido nitroso (Babla et al., 2022; Li et al., 2021; Maris et al., 2021; Ou et al., 2022). No Brasil, ainda são bastante escassos estudos avaliando a eficiência de ativadores da microbiota do solo. Por exemplo, Maia et al. (2018) reportaram efeitos positivos na qualidade física do solo por meio dos atributos densidade do solo, microporosidade e porosidade total.

Desta forma, apesar dos potenciais benefícios da aplicação de produtos biológicos no sistema solo-planta, ainda é necessário avaliar esses efeitos na qualidade do solo (propriedades químicas, físicas e biológicas) nas diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. Neste sentido, a hipótese testada foi que o uso de produtos biológicos classificados como ativadores da microbiota do solo em áreas agrícolas estimularia a atividade dos organismos nativos do solo no curto prazo, impactando positivamente nos indicadores químicos, físicos e biológicos do solo e conseqüentemente na qualidade do solo. Portanto, a realização desse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de ativadores da microbiota (BLUAGRI®) na qualidade do solo (incluindo avaliações no solo rizosférico) em diferentes regiões do Brasil cultivadas com soja/milho.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Áreas de estudo

Os experimentos foram conduzidos em 10 campos experimentais e fazendas comerciais produtoras de soja e milho. As áreas estão localizadas em três municípios da região Sul - Rio dos Índios/RS (Lat.: 27° 17' S; Long.: 52° 50' O), Quatro Irmãos/RS (Lat.: 27° 48' S; Long.: 52° 26' O), Sarandi/RS (Lat.: 27° 56' S; Long.: 52° 55' O); três na região Centro-Oeste - Rio Brilhante/MS (Lat.: 21° 48' S; Long.: 54° 32' O), Primavera do Leste/MT (Lat.: 15° 33' S; Long.: 54° 17'), Sorriso/MT (Lat.: 12° 32' S; Long.: 55° 42' O) e um na região Nordeste - Balsas/MA (Lat.: 07° 31' S; Long.: 46° 02' O) (Figura 2A; tabela 1).

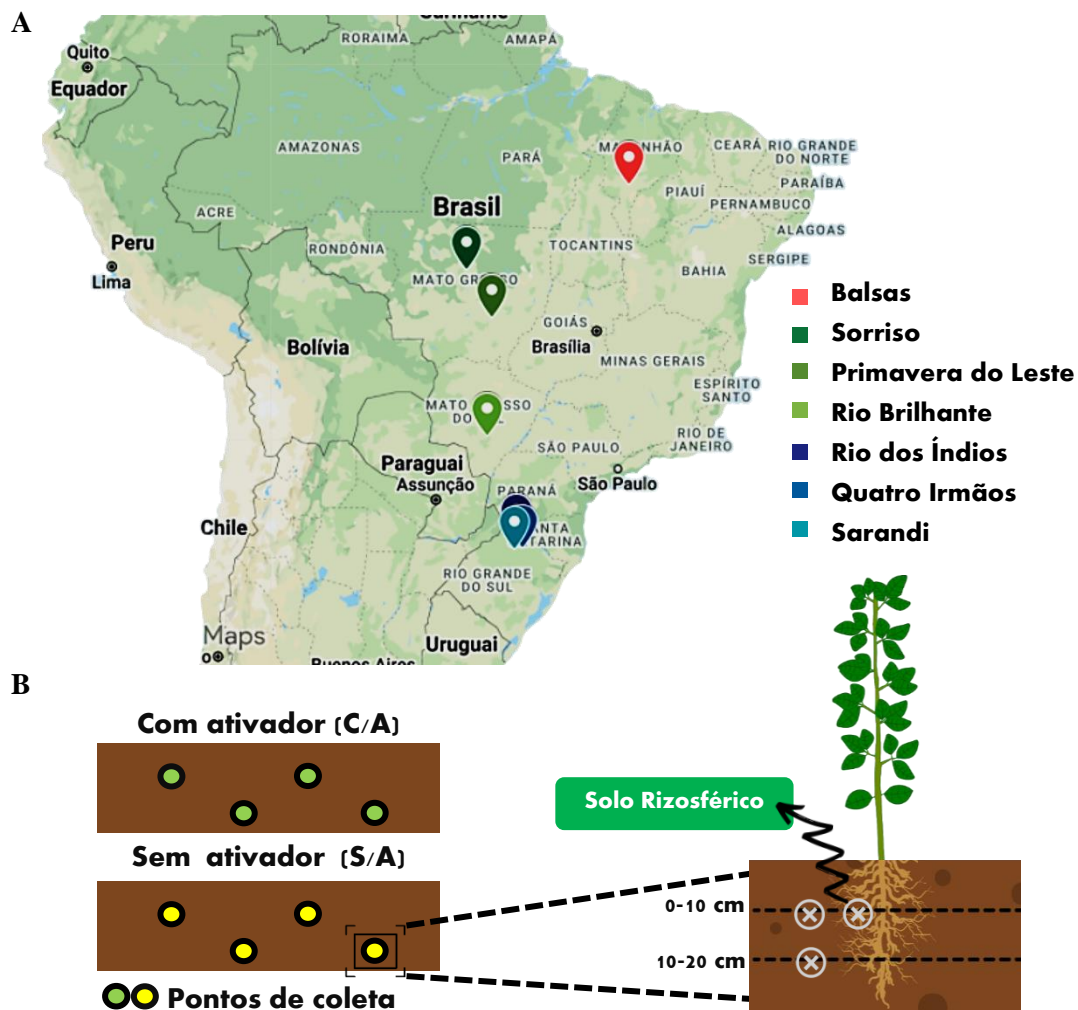


Figura 2. Mapa do Brasil indicando os municípios de condução dos experimentos (A) Esquema do delineamento experimental das parcelas com (C/A) e sem aplicação (S/A) do ativador da microbiota do solo da BLUAGRI®, indicação da coleta de amostras em duas profundidades e de solo rizosférico (B).

Tabela 1. Localização das áreas de condução dos experimentos e distribuição de tamanho de partícula dos solos (%).

Região	Estado	Município	Área	Distribuição de partícula do solo (%)			Textura do solo	Classificação do solo*
				Argila	Silte	Areia		
Sul	Rio Grande do Sul	Rio dos Índios	1-S	33,84	36,16	29,99	Franco Argilosa	LVdf
		Quatro Irmãos	2-S	57,79	29,62	12,59	Argilosa	LVd
		Sarandi	3-S	57,53	26,34	16,13	Argilosa	#LVd-df
Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul	Rio Brilhante	1-CO	57,17	20,66	22,17	Argilosa	LVdf
			2-CO	62,67	19,31	18,02	Muito Argilosa	LVdf
	Mato Grosso	Primavera do Leste	3-CO	30,06	4,54	65,4	Franco Argiloso Arenosa	LVd
		Sorriso	4-CO	55,19	8,01	36,8	Argilosa	LVAd
Nordeste	Maranhão	Balsas	1-NE	12,53	4,88	82,59	Areia Franca	LAd
			2-NE	12,57	2,87	84,56	Areia Franca	LAd
			3-NE	25,02	5,53	69,45	Franco Argiloso Arenosa	LAd

*Classificação do solo: Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), distrófico (d), distróférico (df) (Santos et al., 2018). # Área encontrada em zonas de associação entre Latossolo Vermelho distrófico e Latossolo Vermelho distróférico, portanto podendo ser um ou outro (d-Df).

2.2. Tratamentos

Os experimentos foram conduzidos em faixas experimentais com (C/A) e sem aplicação (S/A) dos ativadores da microbiota do solo em áreas produtoras de milho e soja. Em cada área e para cada cultura foram aplicados dois produtos denominados BLUSOIA 1[®] e BLUSOIA 2[®] para a soja, BLUMAIS 1[®] e BLUMAIS 2[®] para o milho. Os produtos BLUSOIA 1[®] e BLUMAIS 1[®] são descritos como Sulfato de Cálcio Di-hidratado 100% natural contendo no mínimo 35% de Dióxido de Enxofre (SO₃) e 25% de Óxido de Cálcio (CaO). A dosagem recomendada foi de 300 g ha⁻¹ para BLUSOIA 1[®] e 200 g ha⁻¹ para BLUMAIS 1[®]. Estes foram os primeiros produtos aplicados nos experimentos via tratamento de sementes respeitando a dosagem recomendada independentemente do número de sementes utilizadas por hectare. Em algumas áreas as sementes estavam tratadas com inoculantes longa vidas e em outras foi realizada a aplicação em sulco de *Bradyrhizobium*, mais *Azospirillum* e *Trichoderma*. Os produtos BLUSOIA 2[®] e BLUMAIS 2[®] são descritos como Sulfato de Magnésio Hepta-Hidratado de origem 100% natural, contendo 16% de Óxido de Magnésio (MgO) e 28% de Anidrido Sulfúrico, sendo recomendados 600 g ha⁻¹. Estes foram aplicados em cobertura via foliar na calda de aplicação para manejo de plantas daninhas pós-emergentes, quando as plantas atingiram o estágio de V4. Os produtos apresentam diferentes composições e concentrações de aminoácidos, conforme caracterização dos aminoácidos

totais feita nos ativadores usados na cultura da soja (Tabela 2). Os produtos são recomendados por apresentarem ação direta nas plantas estimulando a germinação, crescimento, desenvolvimento das raízes e maior sanidade das plantas. Também apresentam ação indireta por meio da estimulação da microbiota do solo, podendo contribuir à ciclagem de nutrientes e matéria orgânica, agregação do solo e promoção de crescimento das plantas. Os experimentos foram estabelecidos e conduzidos pela empresa italiana responsável pela produção dos ativadores da microbiota do solo BLUAGRI®. Este foi o primeiro ano do estudo de qualidade do solo em parceria com a filial brasileira - BLUAGRI INDÚSTRIA E COMÉRCIO FERTILIZANTES LTDA com o grupo SOHMA da ESALQ/USP.

Tabela 2. Caracterização dos produtos para aplicação na cultura da soja, BLUSOIA 1® e BLUSOIA 2®, através da análise de aminoácidos totais.

Aminoácidos	BLUSOIA 1 BLUSOIA 2		Análises	BLUSOIA 1 BLUSOIA 2	
	(%)			(%)	
Ácido Aspártico	0,05	<0,01*	Valina	0,09	<0,01*
Ácido Glutâmico	0,10	0,02	Metionina	<0,01*	<0,01*
Serina	<0,01*	<0,01*	Cistina	0,43	0,31
Glicina	0,10	<0,01*	Isoleucina	0,09	0,06
Histidina	0,19	<0,01*	Leucina	0,11	0,06
Taurina	<0,01*	<0,01*	Fenilalanina	0,08	0,06
Arginina	<0,01*	<0,01*	Lisina	0,15	0,09
Treonina	0,06	<0,01*	Hidroxiprolina	<0,01*	<0,01*
Alanina	<0,01*	<0,01*	Triptofano	<0,01*	<0,01*
			Aminoácidos	1,58	0,60
Prolina	0,03	<0,01*	Totais		
Tirosina	0,10	<0,01*	Proteína Bruta	<1,50*	<1,50*

*LQ=Limite de Quantificação

2.3. Amostragem do solo

Em cada faixa experimental, foram selecionados quatro pontos amostrais e realizadas as coletas de solo em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) e de solo rizosférico em cada um dos pontos, isto ao final do ciclo dos cultivos ou após a colheita da cultura (Figura 2-B). Quando em fazenda comercial os pontos selecionados foram espaçados de 50 em 50 metros dentro da faixa de cada tratamento, evitando áreas de manchas de solo, árvores, cupinzeiros, área de tráfego de maquinário entre outras características que poderiam influenciar as amostras de solo. Já nos campos experimentais foram selecionadas quatro parcelas de cada tratamento, onde cada parcela representou um ponto amostral. As amostras indeformadas foram coletadas com o auxílio de um amostrador manual e anéis volumétricos de 100 cm³

para avaliação dos indicadores físicos do solo como, densidade e porosidade. Com o auxílio de uma pá de corte foram retiradas amostras deformadas e posteriormente acondicionadas em sacos plásticos para as análises laboratoriais de indicadores químicos como: avaliação da acidez do solo e disponibilidade de nutrientes bem como da atividade biológica do solo. As amostras de solo rizosférico foram retiradas com o auxílio de uma pá para retirada do sistema radicular que permaneceu no solo pós-colheita ou das plantas com o sistema radicular. Após retirada do sistema radicular este foi sacudido e colocado em sacos plásticos com o solo rente às raízes retirado no laboratório para passar por análises químicas e biológicas. Todas as análises foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

2.4. Indicadores da qualidade do solo analisados

2.4.1. Indicadores químicos

2.4.1.1. Disponibilidade de nutrientes

Para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) as amostras de solo deformadas coletadas foram secas em estufa de ar forçado a 45°C até atingirem pesos constantes, depois, moídas e peneiradas em malha de 2,0 mm. Com solução de cloreto de potássio (KCL) 1,0 mol L⁻¹ foram extraídos os nutrientes cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e as leituras realizadas em espectrofotômetro de absorção atômica. Os nutrientes potássio (K) e fósforo (P) foram extraídos pelo método da resina e quantificação em fotômetro de chama e espectrofotômetro, respectivamente. A disponibilidade dos nutrientes foi realizada conforme procedimentos descritos por Raij et al. (2001).

2.4.1.2. Indicadores de acidez

Após agitação e repouso de 10 gramas de solo misturados com 10 mL de água destilada, foi realizada a leitura do pH em água com eletrodo de vidro. Após a adição de uma solução tampão SMP foi avaliada a acidez potencial (H+Al) pela leitura do pH. A capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC_{pH 7}) foi calculada pela soma dos cátions trocáveis (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e H⁺+Al³⁺). A saturação por bases (V) representará a proporção (%) da CTC_{pH 7}

ocupada por bases trocáveis (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). A saturação de alumínio (m) representará a proporção (%) da CTC efetiva (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+}) ocupada pelo Al^{3+} (Raij et al., 2001).

2.4.2. Indicadores físicos

2.4.2.1. Densidade e porosidade do solo

Para determinação da microporosidade e umidade na capacidade de campo, as amostras de solo indeformadas foram saturadas com água destilada por capilaridade por 48 horas e depois submetidas ao potencial matricial de -6 kPa, nas panelas de pressão até atingir equilíbrio matricial. A porosidade total (Pt) foi determinada pela relação $[Pt = 1 - Ds/Dp]$, onde Ds é a densidade do solo e Dp é a densidade de partículas ($2,65 \text{ Mg m}^{-3}$). Enquanto a microporosidade foi baseada no conteúdo de água retido no potencial matricial de -6 kPa, a macroporosidade foi determinada pela diferença entre Pt e microporosidade. A Ds foi calculada após as pesagens e secagem do solo em estufa a 105°C por 48 horas, dividindo-se a massa de solo seco pelo volume do anel. Todas as determinações foram realizadas de acordo com Teixeira et al. (2017).

2.4.2.2. Resistência a penetração do solo

Avaliação da resistência a penetração (RP) do solo foi realizada em laboratório nas amostras coletadas nos anéis, com o auxílio de um penetrômetro de bancada com diâmetro da base do cone de 4 mm, ângulo de 60° e velocidade de inserção de 20 mm h^{-1} . Através do aparelho foi obtida uma curva da resistência de penetração do solo em quilos, a média foi selecionada para realização dos cálculos por meio da multiplicação da força de 9,81 N pela RP em quilos, dividindo o resultado pela área do cone de 0,12 cm, obteve-se a resistência penetração em N cm^{-2} , resultado posteriormente multiplicado por 0,01 para obtenção do resultado em MPa.

2.4.3. Indicadores biológicos

O teor de carbono orgânico total (C) e nitrogênio total (N) foram determinados pelo método de combustão a seco utilizando um analisador elementar de C e N. As amostras de solo seco foram maceradas em almofariz de ágata e peneiradas a $150 \mu\text{m}$ (100 mesh). Em

seguida, as amostras foram pesadas em balança analítica, utilizando-se 0,2 mg para a análise. As enzimas β -glicosidase (ciclo do carbono), fosfatase ácida (ciclo do fósforo) e arilsulfatase (ciclo do enxofre) foram determinadas de acordo com Tabatabai (1994).

2.4.4. Índice de qualidade do solo

A avaliação integrada da qualidade do solo foi realizada através da ferramenta Soil Management Assessment Framework (SMAF), a qual foi originalmente desenvolvida por Andrews et al. (2004). Inicialmente a SMAF foi desenvolvida para uso nas condições de solos dos Estados Unidos, e mais recentemente foi testada e validada por Cherubin et al. (2016) às condições climáticas, de solos e culturas produzidas no Brasil. A SMAF foi utilizada seguindo três etapas sequenciais. A primeira etapa refere-se à seleção de indicadores de qualidade química, física e biológica. Para representar a qualidade química, foram selecionados os indicadores pH, fósforo e potássio. A densidade do solo foi selecionada como indicador físico, e carbono orgânico e β -glicosidase foram selecionados como indicadores biológicos. Estes indicadores são listados como os indicadores mais utilizados para avaliações de qualidade do solo no Brasil (Simon et al., 2022) e no mundo (Bünemann et al., 2018).

Na segunda etapa, os valores medidos em laboratório, expressos em diferentes unidades foram transformados para uma escala sem unidades variando de 0 a 1 através de algoritmos presentes na planilha de cálculos da SMAF. Os algoritmos levam em consideração a classificação do solo, mineralogia, textura, clima, métodos analíticos e cultura. A interpretação de limites críticos para pH, fósforo e potássio foram de acordo com o Manual de Calagem e Adubação para o RS e SC para os solos da região Sul e de acordo com o Manual de Adubações do Cerrado para os solos das regiões Centro-Oeste e Nordeste.

Na etapa três, os escores individuais de cada indicador, gerados na etapa anterior, foram integrados em um índice de qualidade do solo (IQS) conforme a equação a seguir:

$$IQS = \sum_{i=1}^n E_i P_i$$

Onde, E_i é o escore do indicador e P_i é o peso do indicador. A definição do peso seguiu a proposta de Cherubin et al. (2016) onde cada componente (químico, físico e biológico) tem peso equivalente no índice final. O IQS foi calculado separadamente para cada uma das camadas.

2.5. Análise dos dados

A análise de variância (ANOVA) foi realizada para testar o impacto do uso de ativadores da microbiota do solo nos indicadores químicos, físicos e biológicos e nos componentes químico, físico, biológico e IQS. As análises foram feitas separadamente para cada camada (0-10 e 10-20 cm) e área avaliada. Quando os valores dos resultados da ANOVA foram significativos ($p < 0,05$), as médias foram separadas utilizando o teste T ($p < 0,05$). Todos os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando o *Software Analysis System-SAS 9.3* (SAS Inc., Cary, NC, EUA).

3. RESULTADOS

3.1. Indicadores químicos do solo

Em cada região foi avaliado se uso do ativador da microbiota do solo promoveu alterações nos indicadores químicos de qualidade do solo. Foi observado que após um ano de uso do ativador da microbiota do solo as alterações promovidas foram sutis e específicas, tendo em vista que a maioria dos indicadores não foram alterados significativamente ($p < 0,05$).

Na região Sul, poucas alterações nos indicadores químicos do solo foram observadas após um ano de uso do ativador da microbiota do solo. Os valores de pH, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, variaram de 4,37 a 5,47, e independentemente do tratamento utilizado, foram menores em comparação ao pH no solo rizosférico que ficou entre 5,69 e 6,27 (Tabela 3). Nota-se que a área A3-S apresentou diferenças estatísticas para os atributos (H+Al) e Al^{3+} na camada de 10-20 cm, sendo superiores para o tratamento S/A em comparação ao C/A. De modo geral, todas as áreas demonstraram presença de Al^{3+} , porém apenas a área A2-RS apresentou para os dois tratamentos na camada de 10-20 cm, valores de saturação de Al^{3+} (m%) superiores a 33% acompanhados de baixos valores de saturação de bases (V%) iguais a 40% (S/A) e 33% (C/A), e de soma de bases (SB%), 9% (S/A) e 3% (C/A). A maioria das áreas apresentaram valores médios de matéria orgânica entre 1,8 e 6,0%. Independentemente do tratamento, as áreas apresentaram teores adequados de P ($> 11 \text{ mg dm}^{-3}$) e Mg ($1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para o desenvolvimento das culturas. Contudo, os teores de K, em sua maioria, foram baixos na camada de 10-20 cm não ultrapassando o valor de $91,75 \text{ mg dm}^{-3}$. Houve um gradiente de Ca entre as camadas avaliadas nas áreas A2-RS e A3-RS. A camada de 0-10 cm apresentou teores superiores a $5,89 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ enquanto na camada 10-20 cm, os valores não ultrapassaram $3,68 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio. O solo rizosférico das três áreas exibiu teores adequados de todos os nutrientes analisados para o desenvolvimento da soja. Com relação aos teores de SB, observou-se valores abaixo de $10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na A3-S, enquanto na A2-S o tratamento C/A obteve baixos teores de SB ($< 3,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) nas duas profundidades.

A região Centro-Oeste foi a que apresentou mais alterações induzidas pelo uso do ativador da microbiota, embora as respostas não seguiram o padrão hipotetizado. A área A2-CO evidenciou diferenças significativas mais expressivas, principalmente nos indicadores de acidez. Inesperadamente, o tratamento que obteve os piores resultados foi com o uso do ativador da microbiota na camada de 10-20 cm, e apesar de os resultados no solo rizosférico

terem sido semelhantes o Al^{3+} não foi detectado. Os valores de pH foram de 4,61 e 6,33 nas áreas A1-CO e A2-CO enquanto nas áreas A3-CO e A4-CO os valores foram em sua maioria mais ácidos, entre 4,70 e 5,93. Os menores valores de pH foram encontrados na camada de 10-20 cm da área A4-CO nos dois tratamentos, estes foram acompanhados de um pequeno aumento de Al^{3+} , valores médios de V(%) e, baixos de CTC, MOS e SB. O tratamento com uso do ativador apresentou maior acidez potencial (H+Al) na camada de 0-10 cm da área A3-CO. Tendo em vista que nesta camada os atributos Ca e V(%) também diferiram significativamente com as maiores médias atribuídas ao tratamento S/A, é possível que estes resultados tenham contribuído para o maior teor de acidez. De modo geral, os níveis de P, K, Ca e Mg ficaram dentro de níveis adequados para o desenvolvimento das culturas, sendo estes de 16 a 145 e de 58 a 365 mg dm^{-3} , e entre 2,15 a 17 e 0,72 a 3,24 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. No entanto, exceções ocorreram, principalmente na área A4-CO na camada de 10-20 cm, na qual os valores de P não ultrapassaram 14 mg dm^{-3} , 46 mg dm^{-3} de K, 1,01 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca e 0,51 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg. No solo rizosférico da A2-CO os teores de P, K e SB foram mais altos para o tratamento S/A. Os teores de SB, com exceção da área A1-CO e do solo rizosférico da A2-CO, independente do tratamento utilizado, foram baixos ficando entre 1,51 e 9,99 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. De modo geral, ao comparar as 4 áreas entre si que os melhores resultados para o desenvolvimento dos cultivos foram encontrados na área A1-CO, enquanto os piores na A4-CO.

A região Nordeste foi a única que não apresentou nenhuma alteração significativa nos atributos químicos após um ano de experimento com o ativador da microbiota do solo. Os valores de pH variaram de 4,32 a 6,39 na área NE-1 apresentando os menores valores na camada de 10-20 cm de 4,42 (S/A) e 4,32 (C/A). Porém, no solo rizosférico de todas as áreas, independentemente do tratamento, o pH foi adequado variando de 5,67 a 6,34. De modo geral, a maioria dos resultados de CTC (%) foram médios e baixos não ultrapassando o valor de 6%. A área A1-NE além de apresentar apenas valores de CTC abaixo de 4,92%, apresentou Al^{3+} maior que 0,45 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em profundidade, aumento da m (%) ultrapassando 26% e quando comparada às demais áreas também foi a mais pobre, com valores majoritariamente menores de P, K, Ca e Mg. Nas outras duas áreas, houve uma redução dos teores de K em profundidade. Os dois tratamentos tiveram esse comportamento na área A2-NE, na qual os maiores teores foram acima de 53 mg dm^{-3} e os menores não ultrapassaram 35,68 mg dm^{-3} , enquanto na A3-S o gradiente ocorreu apenas no tratamento S/A e os valores foram de 51,61 e 33,63 mg dm^{-3} , respectivamente. De modo geral, o solo rizosférico das áreas apresentou teores adequados de nutrientes para as culturas com exceção do Ca (C/A) na A1-NE. Com

relação aos teores de SB estes foram em sua maioria baixos não ultrapassando $4,78 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, com apenas uma exceção de $7,39 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo rizosférico da A3-NE (S/A).

O Apêndice A auxilia na visualização do impacto do uso do ativador da microbiota do solo nos indicadores químicos (0-10 e 10-20 cm) avaliados em cada região estudada.

Tabela 3. Atributos de acidez, nutrientes e matéria orgânica do solo para as camadas de 0-10, 10-20 cm e solo rizosférico nas diferentes áreas da região Sul sem aplicação do ativador da microbiota (S/A) e com o ativador (C/A).

Solo*	0-10 cm						10 -20 cm						Rizosfera					
	Área 1-S		Área 2-S		Área 3-S		Área 1-S		Área 2-S		Área 3-S		Área 1-S		Área 2-S		Área 3-S	
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A
pH	4,45 ^{ns}	4,37	5,47 ^{ns}	5,30	5,30 ^{ns}	5,46	4,67 ^{ns}	4,62	4,46 ^{ns}	4,32	4,92 ^{ns}	5,13	5,01 ^{ns}	5,11	[§] 5,91	6,05	[§] 5,69	5,72
H+Al	5,03 ^{ns}	5,22	2,59 ^{ns}	3,02	2,77 ^{ns}	2,57	2,93 ^{ns}	3,01	5,25 ^{ns}	5,94	3,44 ^a	2,72 ^b	6,22 ^{ns}	6,01	2,58	2,62	3,46	3,21
Al ³⁺	0,46 ^{ns}	0,54	0,00 ^{ns}	0,12	0,00 ^{ns}	0,00	0,12 ^{ns}	0,26	1,73 ^{ns}	2,10	0,28 ^a	0,05 ^b	0,18 ^{ns}	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
CTC	17,35 ^{ns}	19,44	13,63 ^{ns}	12,27	11,80 ^{ns}	11,50	15,55 ^{ns}	18,12	8,84 ^{ns}	8,87	8,90 ^{ns}	8,55	19,25 ^{ns}	20,25	17,14	15,36	13,43	13,12
V	69,75 ^{ns}	71,50	80,75 ^{ns}	74,75	76,00 ^{ns}	77,25	80,50 ^{ns}	81,00	40,50 ^{ns}	32,75	61,25 ^{ns}	68,25	66,25 ^{ns}	68,75	85,00	83,00	74,00	76,00
m	4,25 ^{ns}	3,75	0,00 ^{ns}	1,50	0,00 ^{ns}	0,00	0,75 ^{ns}	2,50	33,25 ^{ns}	42,75	5,25 ^{ns}	1,00	1,50	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
MOS	3,37 ^{ns}	3,08	4,76 ^{ns}	4,54	4,34 ^{ns}	4,02	1,83 ^{ns}	1,82	3,15 ^{ns}	3,17	2,69 ^{ns}	2,44	3,60 ^{ns}	3,40	5,27	6,05	4,62	4,71
P	29,58 ^{ns}	50,45	40,63 ^{ns}	30,08	35,50 ^{ns}	46,93	26,93 ^{ns}	35,88	18,75 ^{ns}	29,85	13,23 ^{ns}	11,20	151,63 ^{ns}	91,25	152,20	75,30	64,40	101,00
K	248,24 ^{ns}	269,59	206,12 ^{ns}	109,30	99,65 ^{ns}	121,19	86,00 ^{ns}	91,75	98,09 ^{ns}	65,42	63,18 ^{ns}	63,77	228,25 ^{ns}	229,91	265,29	386,11	218,96	302,24
Ca	8,87 ^{ns}	10,51	7,40 ^{ns}	6,34	6,30 ^{ns}	5,89	9,92 ^{ns}	11,81	2,31 ^{ns}	1,87	3,68 ^{ns}	3,64	9,65 ^{ns}	10,63	9,84	7,95	6,74	6,26
Mg	2,82 ^{ns}	3,01	3,11 ^{ns}	2,63	2,48 ^{ns}	2,73	2,48 ^{ns}	3,06	1,03 ^{ns}	0,88	1,62 ^{ns}	2,03	2,79 ^{ns}	3,02	4,05	3,81	2,67	2,88
SB	12,33 ^{ns}	12,63	11,04 ^{ns}	3,59	9,03 ^{ns}	5,47	14,22 ^{ns}	15,10	9,25 ^{ns}	2,92	8,93 ^{ns}	5,83	13,03 ^{ns}	14,24	14,57	12,74	9,97	9,91

*Unidades: $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 0,01 mol L⁻¹ (pH); acidez potencial (H+Al) (cmol_c dm⁻³); Al³⁺ (cmol_c dm⁻³); CTC (cmol_c dm⁻³): capacidade de troca de cátions; V(%): saturação da CTC por bases; m(%): saturação do Al³⁺; MOS(%) matéria orgânica do solo; P e K (mg dm⁻³): de fósforo ou potássio no solo; Ca e Mg (cmol_c dm⁻³): de cálcio ou magnésio e SB (cmol_c dm⁻³). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si dentro de cada área para cada profundidade ou solo rizosférico e entre os tratamentos, pelo teste de T (p>0,05), ^{ns} não significativo. [§]Áreas com pouco solo rizosférico para realização de análises para cada repetição e obtenção de uma média para análise estatística possuem médias não seguidas por letras ou ns.

Tabela 4. Atributos de acidez, nutrientes e matéria orgânica do solo para as camadas de 0-10, 10-20 cm nas diferentes áreas da região Centro-Oeste sem aplicação do ativador da microbiota (S/A) e com o ativador (C/A).

Solo*	0-10 cm								10 -20 cm							
	Área 1-CO		Área 2-CO		Área 3-CO		Área 4-CO		Área 1-CO		Área 2-CO		Área 3-CO		Área 4-CO	
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A
pH	6,33 ^{ns}	6,17	6,14 ^{ns}	6,09	5,45 ^{ns}	5,11	5,93 ^{ns}	5,80	5,69 ^{ns}	5,60	5,55 ^a	4,61 ^b	5,39 ^{ns}	5,05	4,70 ^{ns}	4,74
H+Al	1,95 ^{ns}	2,40	1,95 ^{ns}	1,91	2,56 ^b	3,36 ^a	2,11 ^{ns}	2,56	3,44 ^{ns}	3,83	3,04 ^b	4,85 ^a	2,69	3,40	4,08 ^{ns}	3,97
Al ³⁺	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,04 ^b	0,36 ^a	0,00 ^{ns}	0,01	0,21 ^{ns}	0,22
CTC	19,82 ^{ns}	19,72	11,79 ^{ns}	11,39	7,39 ^{ns}	7,59	8,62 ^{ns}	9,26	16,77 ^{ns}	18,02	8,62 ^{ns}	8,93	6,82 ^{ns}	6,69	5,68 ^{ns}	5,48
V	90,25 ^{ns}	88,00	83,50 ^{ns}	83,25	65,50 ^a	55,75 ^b	75,00 ^{ns}	72,50	79,25 ^{ns}	78,75	64,25 ^a	45,50 ^b	59,75 ^{ns}	49,00	28,00 ^{ns}	28,75
m	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,75 ^b	8,75 ^a	0,00 ^{ns}	0,50	12,75 ^{ns}	12,75
MOS	5,54 ^{ns}	5,59	3,14 ^{ns}	3,43	2,58 ^{ns}	2,72	4,05 ^{ns}	4,27	3,07 ^{ns}	3,85	1,72 ^{ns}	1,88	1,98 ^{ns}	2,10	2,28 ^{ns}	2,09
P	68,20 ^{ns}	122,35	67,78 ^{ns}	36,88	48,13 ^{ns}	38,83	16,20 ^{ns}	16,98	19,73 ^{ns}	31,35	47,23 ^{ns}	61,65	58,05 ^{ns}	60,10	10,60 ^{ns}	13,73
K	346,62 ^{ns}	357,08	214,07 ^{ns}	147,21	109,09 ^{ns}	123,17	72,92 ^{ns}	78,69	299,60 ^{ns}	344,76	99,51 ^{ns}	57,87	79,18 ^{ns}	74,88	32,65 ^{ns}	45,65
Ca	14,52 ^{ns}	14,14	7,61 ^{ns}	7,32	3,25 ^a	2,77 ^b	4,27 ^{ns}	4,20	10,32 ^{ns}	11,44	4,36 ^{ns}	3,22	2,68 ^{ns}	2,15	1,01 ^{ns}	1,00
Mg	2,46 ^{ns}	2,28	1,68 ^{ns}	1,78	1,31 ^{ns}	1,15	2,06 ^{ns}	2,31	2,24 ^{ns}	1,86	0,96 ^{ns}	0,72	1,25 ^{ns}	0,95	0,51 ^{ns}	0,40
SB	17,87 ^{ns}	17,32	9,84 ^{ns}	9,48	4,84 ^{ns}	4,23	6,52 ^{ns}	6,70	13,33 ^{ns}	14,19	5,58 ^{ns}	4,08	4,13 ^{ns}	3,29	1,60 ^{ns}	1,51

*Unidades: pH_{CaCl2} 0,01 mol L⁻¹ (pH); acidez potencial (H+Al) (cmol_c dm⁻³); Al³⁺ (cmol_c dm⁻³); CTC (cmol_c dm⁻³): capacidade de troca de cátions; V(%): saturação da CTC por bases; m(%): saturação do Al³⁺; MOS(%) matéria orgânica do solo; P e K (mg dm⁻³): de fósforo ou potássio no solo; Ca e Mg (cmol_c dm⁻³): de cálcio ou magnésio e SB (cmol_c dm⁻³). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, dentro de cada área para cada profundidade ou solo rizosférico entre os tratamentos, pelo teste de T (p>0,05), ^{ns} não significativo.

Tabela 5. Atributos de acidez, nutrientes e matéria orgânica do solo no solo rizosférico nas diferentes áreas da região Centro-Oeste se aplicação do ativador da microbiota (S/A) e com o ativador (C/A).

Solo*	Rizosfera							
	Área 1-CO		Área 2-CO		Área 3-CO		Área 4-CO	
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A
pH	6,18 ^{ns}	6,27	6,13 ^a	5,72 ^b	5,60 ^{ns}	5,47	5,59 ^{ns}	5,70
H+Al	1,94 ^{ns}	2,14	1,63 ^b	2,53 ^a	2,28 ^{ns}	2,58	2,51 ^{ns}	2,60
Al ³⁺	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00
CTC	23,03 ^{ns}	23,70	15,26 ^{ns}	13,57	7,92 ^{ns}	7,21	12,50 ^{ns}	12,31
V	91,75 ^{ns}	91,00	89,25 ^a	81,25 ^b	71,00 ^{ns}	64,67	80,00 ^{ns}	78,75
m	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00
MOS	5,70 ^{ns}	5,95	5,11 ^{ns}	3,43	3,35 ^{ns}	3,57	5,31 ^{ns}	5,02
P	75,43 ^{ns}	92,95	145,25 ^a	63,35 ^b	75,63 ^{ns}	78,40	41,35 ^{ns}	42,48
K	326,78 ^{ns}	364,61	228,54 ^a	143,01 ^b	143,24 ^{ns}	116,00	158,16 ^{ns}	121,01
Ca	16,62 ^{ns}	17,27	9,94 ^{ns}	8,38	3,39 ^{ns}	3,11	6,35 ^{ns}	6,21
Mg	3,64 ^{ns}	3,37	3,10 ^{ns}	2,29	1,88 ^{ns}	1,22	3,24 ^{ns}	3,19
SB	21,09 ^{ns}	21,57	13,62 ^a	11,04 ^b	5,64 ^{ns}	4,63	9,99 ^{ns}	9,71

*Unidades: $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 0,01 mol L⁻¹ (pH); acidez potencial (H+Al) (cmol_c dm⁻³); Al³⁺ (cmol_c dm⁻³); CTC (cmol_c dm⁻³): capacidade de troca de cátions; V(%): saturação da CTC por bases; m(%): saturação do Al³⁺; MOS(%) matéria orgânica do solo; P e K (mg dm⁻³): de fósforo ou potássio no solo; Ca e Mg (cmol_c dm⁻³): de cálcio ou magnésio e SB (cmol_c dm⁻³). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, dentro de cada área para o solo rizosférico entre os tratamentos, pelo teste de T ($p>0,05$), ^{ns} não significativo.

Tabela 6. Atributos de acidez, nutrientes e matéria orgânica do solo para as camadas de 0-10, 10-20 cm e solo rizosférico nas diferentes áreas da região Nordeste sem aplicação do ativador da microbiota (S/A) e com o ativador (C/A).

Solo*	0-10 cm						10 -20 cm						Rizosfera					
	Área 1-NE		Área 2-NE		Área 3-NE		Área 1-NE		Área 2-NE		Área 3-NE		Área 1-NE		Área 2-NE		Área 3-NE	
	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A	S/A	C/A
pH	4,96 ^{ns}	5,05	5,72 ^{ns}	5,85	6,39 ^{ns}	5,94	4,42 ^{ns}	4,32	5,39 ^{ns}	5,57	6,16 ^{ns}	5,35	5,94 ^{ns}	5,75	5,72	5,67	6,34	6,15
H+Al	2,13 ^{ns}	2,35	1,76 ^{ns}	1,48	1,21 ^{ns}	1,89	2,76 ^{ns}	2,78	2,22 ^{ns}	1,80	1,33 ^{ns}	2,79	1,57 ^{ns}	1,49	1,66	1,63	1,28	1,34
Al ³⁺	0,00 ^{ns}	0,05	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	0,45 ^{ns}	0,57	0,08 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,23	0,00 ^{ns}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CTC	4,73 ^{ns}	4,52	5,04 ^{ns}	5,20	5,87 ^{ns}	6,60	4,15 ^{ns}	3,75	4,38 ^{ns}	4,27	4,14 ^{ns}	5,76	4,92 ^{ns}	4,47	5,71	5,34	8,67	6,12
V	53,00 ^{ns}	47,50	64,75 ^{ns}	71,75	77,75 ^{ns}	71,00	32,50 ^{ns}	26,50	49,25 ^{ns}	57,75	66,75 ^{ns}	50,75	67,00 ^{ns}	66,50	71,00	69,50	85,00	78,00
m	0,00 ^{ns}	2,50	0,00 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	0,00	27,50 ^{ns}	37,25	5,75 ^{ns}	0,00	0,00 ^{ns}	17,75	0,00 ^{ns}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MOS	1,69 ^{ns}	1,38	2,03 ^{ns}	2,19	1,89 ^{ns}	2,93	0,98 ^a	0,69 ^b	1,17 ^{ns}	1,02	1,17 ^{ns}	1,96	2,59 ^{ns}	1,68	2,24	2,40	3,32	3,11
P	12,00 ^{ns}	15,18	34,70 ^{ns}	18,23	45,10 ^{ns}	48,58	14,58 ^{ns}	12,53	57,05 ^{ns}	37,63	6,83 ^{ns}	5,88	31,63 ^{ns}	36,88	51,70	69,40	234,50	124,30
K	36,66 ^{ns}	25,22	59,14 ^{ns}	53,08	51,61 ^{ns}	38,32	32,16 ^{ns}	26,10	35,68 ^{ns}	25,81	33,63 ^{ns}	34,99	409,08 ^{ns}	369,40	223,85	232,25	317,10	160,31
Ca	1,92 ^{ns}	1,57	2,36 ^{ns}	2,78	3,84 ^{ns}	3,73	0,96 ^{ns}	0,67	1,53 ^{ns}	1,81	1,99 ^{ns}	1,76	1,64 ^{ns}	1,44	2,60	2,28	4,36	3,14
Mg	0,60 ^{ns}	0,53	0,77 ^{ns}	0,81	0,69 ^{ns}	0,88	0,34 ^{ns}	0,23	0,54 ^{ns}	0,59	0,74 ^{ns}	1,11	0,67 ^{ns}	0,60	0,87	0,84	2,22	1,23
SB	2,61 ^{ns}	2,16	3,28 ^{ns}	3,72	4,66 ^{ns}	4,71	1,38 ^{ns}	0,97	2,16 ^{ns}	2,47	2,82 ^{ns}	2,97	3,36 ^{ns}	2,98	4,05	3,71	7,39	4,78

Unidades: $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 0,01 mol L⁻¹ (pH); acidez potencial (H+Al) (cmol_c dm⁻³); Al³⁺ (cmol_c dm⁻³); CTC (cmol_c dm⁻³): capacidade de troca de cátions; V(%): saturação da CTC por bases; m(%): saturação do Al³⁺; MOS(%) matéria orgânica do solo; P e K (mg dm⁻³): de fósforo ou potássio no solo; Ca e Mg (cmol_c dm⁻³): de cálcio ou magnésio e SB (cmol_c dm⁻³). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, dentro de cada área para cada profundidade ou solo rizosférico entre os tratamentos pelo teste de T ($p > 0,05$), ^{ns} não significativo. ^{\$}Médias que não são acompanhadas por letras, se referem as áreas com pouco solo rizosférico para realização de análises para cada repetição e obtenção de uma média para análise estatística.

3.2. Indicadores físicos do solo

O uso do ativador da microbiota do solo promoveu alterações sutis e específicas nos indicadores físicos de qualidade do solo avaliados nas diferentes áreas de estudo (Figura 3). Após um ano de uso do ativador da microbiota do solo, os valores Ds não foram significativamente afetados ($p < 0,05$) em nenhuma das áreas avaliadas (Figura 3-A). Os valores médios de Ds do solo nas áreas da região Sul foram de $1,32 \text{ Mg m}^{-3}$ para o tratamento C/A e de $1,43 \text{ Mg m}^{-3}$ para S/A na camada de 0-10cm, enquanto na camada de 10-20 cm foi de $1,47 \text{ Mg m}^{-3}$ para os dois tratamentos. Na região Centro-Oeste os valores médios do tratamento C/A foram de $1,42$ (0-10cm) e $1,51 \text{ Mg m}^{-3}$ (10-20cm), e de $1,44$ (0-10cm) e $1,54 \text{ Mg m}^{-3}$ (10-20cm) para o S/A. E por fim, na região Nordeste as médias para os dois tratamentos foram iguais a $1,60$ (0-10cm), e de $1,69 \text{ Mg m}^{-3}$ para o tratamento C/A e $1,76 \text{ Mg m}^{-3}$ para o S/A (10-20cm). Apesar de não significativos, observa-se um indício para a maioria das áreas de um potencial de redução dos valores de Ds com o uso do ativador, os quais eventualmente poderão ser detectados estatisticamente nas próximas safras.

Para o atributo RP foi possível observar diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) com o uso do ativador da microbiota do solo. Apesar de poucas, promoveu alterações nas áreas A2-CO dentro das duas camadas avaliadas, e na camada de 0-10 cm da área A3-NE (Figura 3-B). Os menores valores nas duas áreas foram obtidos nas parcelas sem aplicação do ativador. Apesar disso, os valores encontrados na A2-CO foram inesperados, pois não são compatíveis com os resultados de Ds e de MaP encontrados, o que pode ser atribuído a algo que imprimiu alta resistência a inserção da haste no momento da avaliação. De forma geral, os valores de RP que ficaram abaixo de 2 MPa para as duas profundidades e tratamentos, ocorreram nas áreas A2-S, A1-NE e A3-NE, enquanto nas áreas A1-S e A2-NE ocorreram apenas na camada de 0-10 cm. Na área A3-S a RP foi inferior para o tratamento S/A na camada de 10-20 cm. Os demais valores foram superiores a 2 MPa, sendo esses na região Sul de $2,18$ a $2,62$ MPa com o ativador e de $2,42$ a $3,78$ MPa sem aplicação. Enquanto no Centro-Oeste, todas as áreas ultrapassaram o valor de 2 MPa, variando entre $2,52$ e $4,15$ MPa para o tratamento C/A, e de $2,61$ a $4,19$ para o S/A, excluindo os valores inesperados da A2-CO de $9,72$ (0-10cm) e $13,60$ (10-20cm). Por fim, na região Nordeste apenas na A2-NE na camada de 10-20 cm os valores foram maiores, sendo de $2,62$ (S/A) e de $2,52$ MPa (C/A).

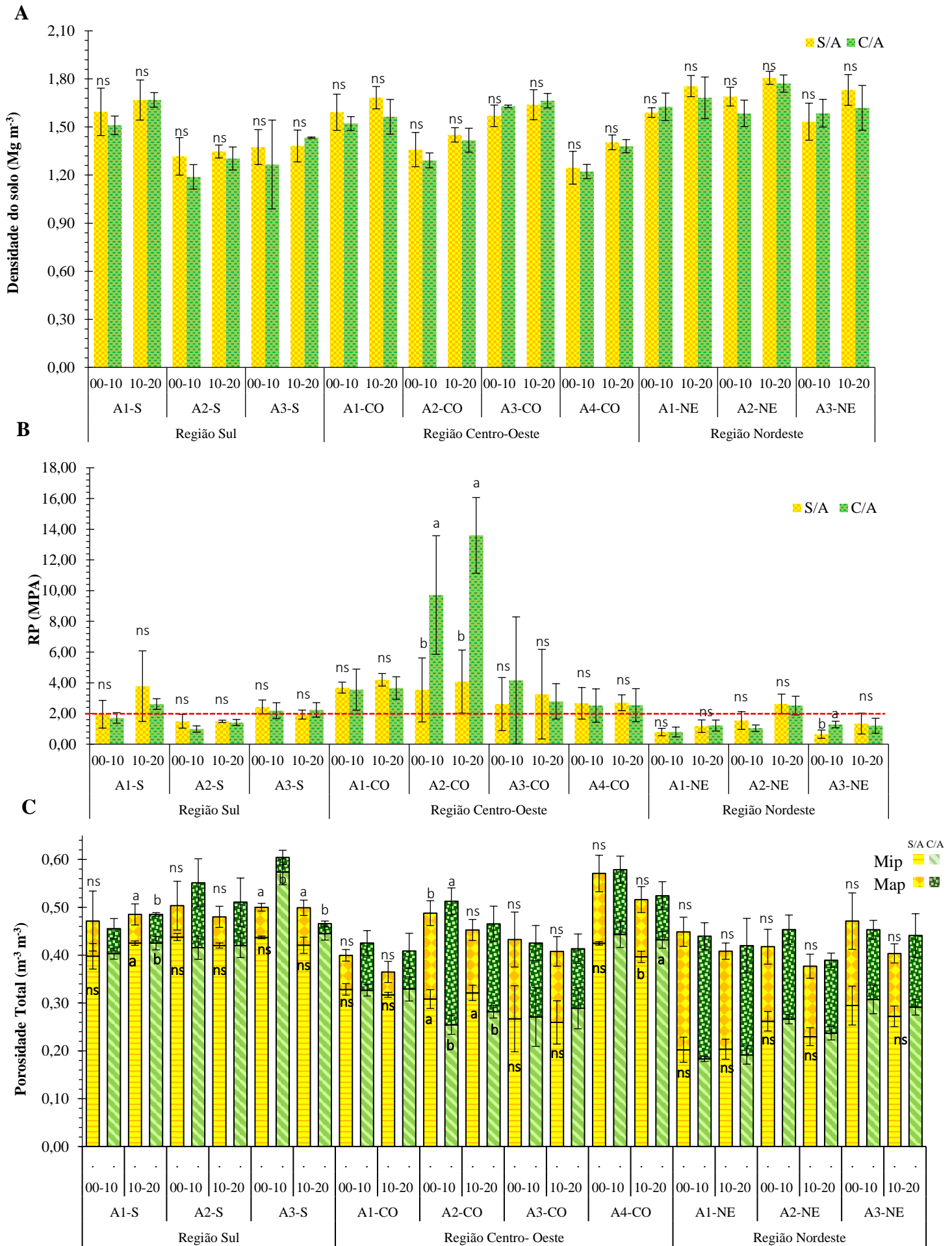


Figura 3. Valores médios de Densidade do solo (A), resistência a penetração (B) e porosidade total (macroporosidade e microporosidade) (C), nas áreas da região Centro-Oeste, Sul e Nordeste. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, dentro de cada área para cada profundidade ou solo rizosférico entre os tratamentos pelo teste de T ($p > 0,05$), ^{ns} não significativo. A linha tracejada vermelha representa o valor crítico de RP (2MPa).

O uso do ativador da microbiota do solo promoveu mais alterações nos indicadores MiP e MaP (Figura 2-C). As maiores médias nas áreas com diferenças estatísticas, em sua maioria, foram atribuídos ao tratamento S/A em comparação ao tratamento C/A. Quanto a MaP, a região Sul na A2-S apresentou na profundidade de 0-10 cm (C/A), valor superior a 10%, contudo nas demais áreas, independente do tratamento e profundidade, a MaP foi menor do que 10%. Porém, na região Centro-Oeste apenas a A1-CO teve todos os valores de MaP menores do que 10% e na A4-CO, na camada de 10-20 cm (C/A), enquanto nos demais locais a MaP foi superior a 10%. Na região Nordeste foi possível observar que todos os valores de MaP encontrados foram iguais ou maiores que 10%, independente da profundidade e tratamento.

Apesar das variações e diferenças significativas observadas em alguns valores de MiP e MaP (Figura 3-C) nas áreas estudadas, os valores de Pt não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) entre os tratamentos e dentro de cada profundidade após um ano de uso do ativador da microbiota do solo nas regiões avaliadas (Apêndice B).

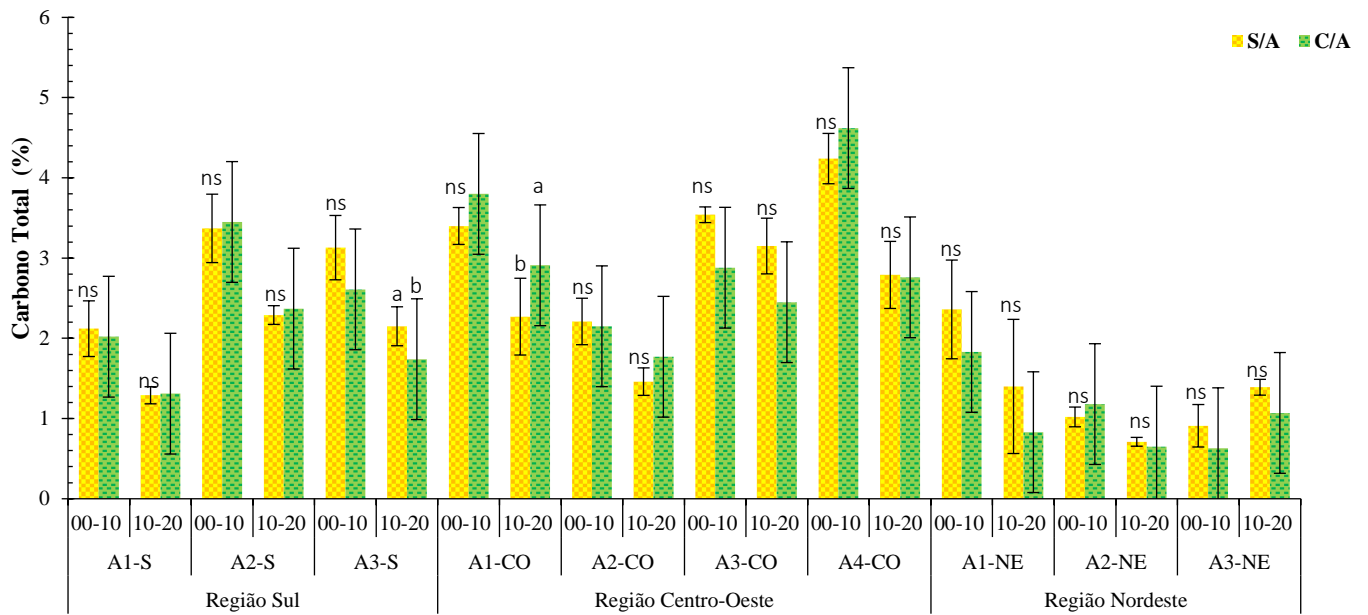
3.3. Indicadores biológicos do solo

O uso do ativador da microbiota do solo, assim como ocorreu nos demais atributos, promoveu poucas alterações específicas nos indicadores biológicos de qualidade do solo (Figuras 4 e 5). Após um ano de uso do ativador da microbiota do solo, os teores de Carbono Total, na maioria das situações, não foram significativamente afetados. Duas exceções ocorreram na camada de 10-20 cm das áreas A3-S e A1-CO. Na região Sul a maior média foi atribuída ao tratamento S/A enquanto na região Centro-Oeste ao C/A, os valores foram de 2,15 e 2,91%, respectivamente (Figura 4-A). Os valores de C do solo encontrados por região foram de 1,29 a 3,45% para o Sul, 1,45 a 4,62% Centro-Oeste, e de 0,63 a 2,36% no Nordeste.

Quanto aos teores de N, as diferenças também foram sutis com a aplicação do ativador da microbiota. Os únicos resultados com variação estatística significativa foram encontrados na região A3-S e A3-NE na camada de 10 a 20 cm e na área A2-NE na camada de 0 a 10 cm. Os tratamentos que apresentaram as maiores médias foram do S/A para região Sul e C/A para as duas áreas no Nordeste (Figura 4-B). De forma geral, os teores de N foram baixos, na região Sul não ultrapassando 0,28%, no Centro-Oeste 0,32% e no Nordeste não ultrapassando 0,18% apresentando os menores resultados, no entanto mais da metade dos resultados não ultrapassou 0,05%.

A enzima betaglicosidase foi avaliada tanto no solo (Figura 5-A) quanto no solo rizosférico (Figura 5-B). Similar ao observado para outros indicadores, o uso do ativador da microbiota teve pouca resposta nesta primeira safra. Três dos quatro resultados significativos encontrados ocorreram no solo (não rizosférico), sendo um na região Sul (A2-S), dois no Centro-Oeste (A2 e A4-CO), e apenas um no solo rizosférico do Nordeste (A1-NE). As alterações na betaglicosidase do solo ocorreram na camada de 10 a 20 cm e, de forma geral, o tratamento C/A obteve os maiores resultados, enquanto no solo rizosférico foi o tratamento S/A. Os teores de betaglicosidase no solo para região Sul foram de 15 a 99 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ para o tratamento S/A, e entre 18 e 81 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ com o uso de ativador. Na região Centro-Oeste, os valores variaram de 26 a 129 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ (S/A) e de 1 a 114 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ (C/A). No geral, os menores valores foram encontrados dentro da região Nordeste, variando de 6 a 53 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ (S/A) e 6 a 65 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ (C/A). Para o solo rizosférico os valores foram de 93 a 158 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ (S/A) e entre 81,24 e 110,80 (C/A) $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ no Sul, de 102,15 a 152,97 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ (S/A) e de 91,09 a 210,03 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ no Centro-Oeste (C/A), e entre 47,68 a 195,45 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ (S/A) e 27,27 a 128,69 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ (C/A) no Nordeste. Ao observar as médias anteriores é possível concluir que os teores da enzima betaglicosidase no solo rizosférico, em sua maioria, foram maiores que no solo (não rizosférico). A média geral da enzima no solo atingiu 44 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ e para o solo rizosférico de 113 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$, atestando os maiores teores na rizosfera.

A



B

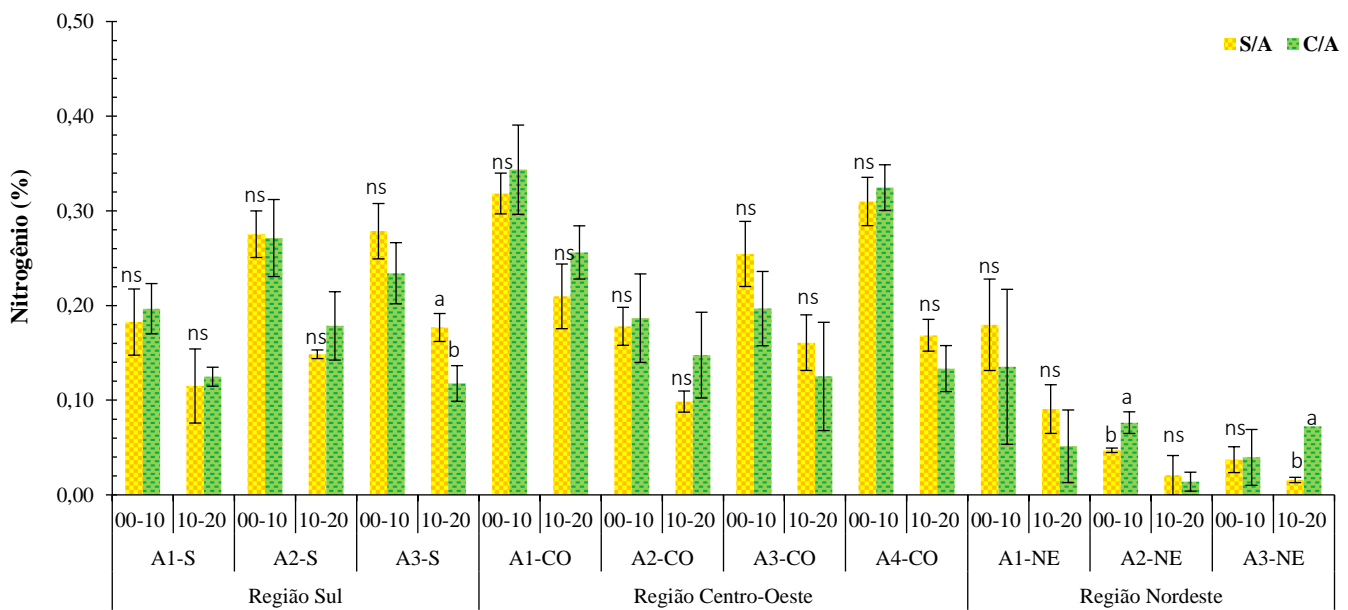


Figura 4. Valores médios de carbono (A) e nitrogênio (B) do solo, nas áreas da região Centro-Oeste, Sul e Nordeste. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, dentro de cada área para cada profundidade ou solo rizosférico entre os tratamentos pelo teste de T ($p > 0,05$), ^{ns} não significativo.

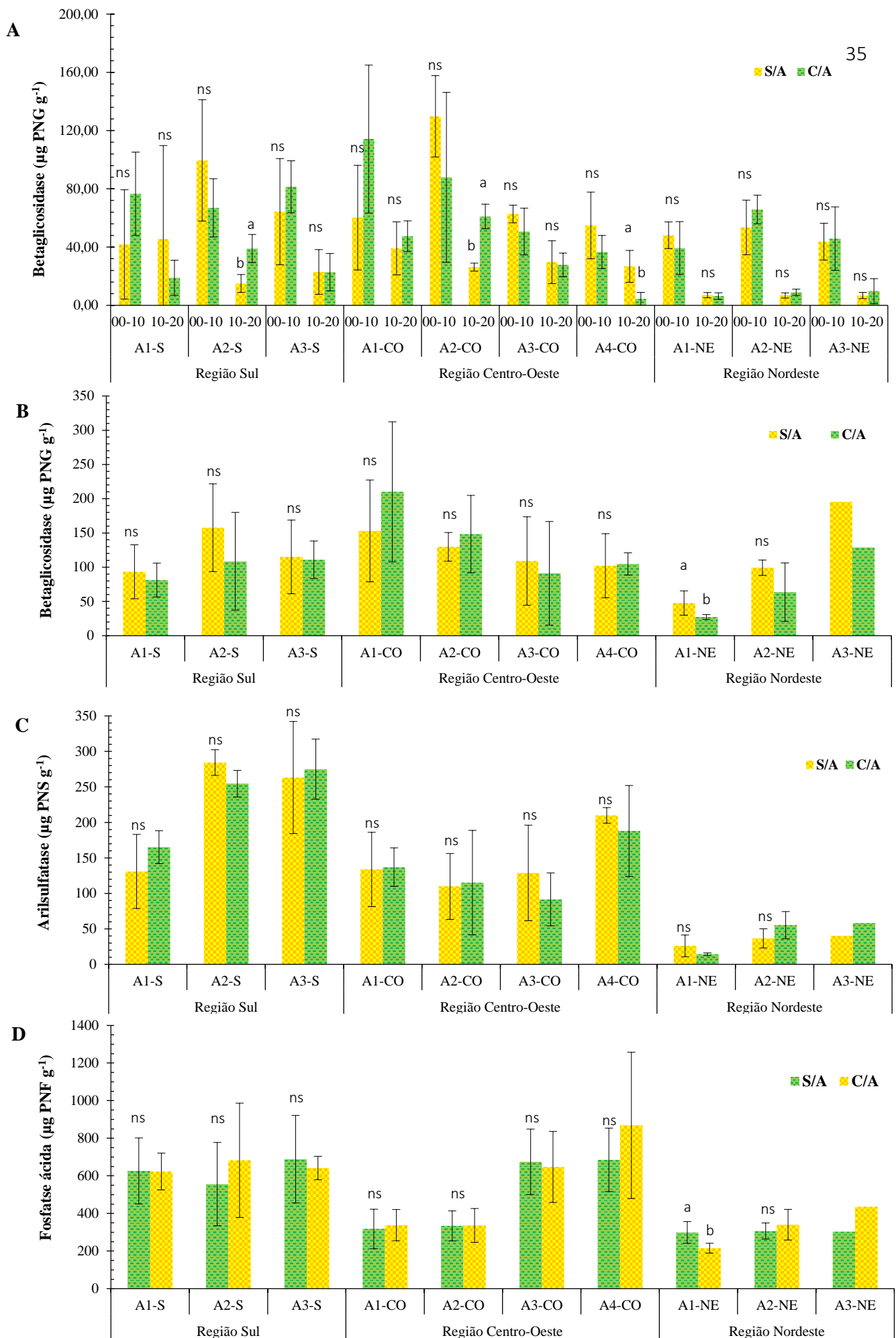


Figura 5. Valores médios da enzima betaglicosidase (A) no solo, e valores médios das enzimas betaglicosidase (B), arilsulfatase (C) e fosfatase ácida (D) no solo rizosférico, nas áreas das regiões Centro-Oeste, Sul e Nordeste. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, dentro de cada área para cada profundidade ou solo rizosférico entre os tratamentos pelo teste de T ($p > 0,05$), ns não significativo.

A enzima arilsulfatase foi avaliada apenas no solo rizosférico e, em sua maioria, não houve diferenças significativas a partir da utilização do ativador da microbiota do solo (Figura 5-C). Porém, foi possível observar na área A1-NE que a presença da enzima foi maior no tratamento S/A em comparação ao C/A. Os teores de arilsulfatase na região Sul variaram entre 130,90 e 275,08 $\mu\text{g PNS g}^{-1}$, no Centro-Oeste variaram de 91,59 a 209,88 $\mu\text{g PNS g}^{-1}$, e no Nordeste de 14,34 a 58,07 $\mu\text{g PNS g}^{-1}$.

O impacto da aplicação do ativador da microbiota para a enzima fosfatase ácida também foi avaliado apenas no solo rizosférico. Contudo, após um ano de uso do produto os resultados não diferiram estatisticamente entre os tratamentos para todas as áreas dentro das regiões de estudo (Figura 5-D). Os intervalos de variação da enzima fosfatase ($\mu\text{g PNF g}^{-1}$) na região Sul foram 556,19 e 688,90 (S/A) e entre 623,15 a 682,87 (C/A), dentro da região Centro-Oeste de 317,71 a 685,28 (S/A) e entre 336,21 a 868,67 (C/A), e para o Nordeste de 299,01 a 306,45 (S/A) e 215,16 a 435,54 (C/A). De modo geral, foi possível observar que independente da enzima analisada e do tratamento os menores resultados foram encontrados nas áreas da região Nordeste do Brasil.

3.4. Qualidade do solo

Os impactos pela utilização do ativador da microbiota do solo na qualidade do solo foram avaliados em cada área de estudo (Figuras 6, 7 e 8), porém, após essa primeira safra não foram detectadas diferenças significativas. O índice de qualidade do solo (IQS) varia de 0 a 1 e quanto mais próximo de 1 melhor é a qualidade do solo. Nota-se que o IQS variou de 0,53 a 0,79 na camada de 0-10 cm e de 0,36 a 0,61 na camada de 10-20 cm. Na camada de 0-10 cm, a aplicação do ativador da microbiota resultou em valores de IQS numericamente superiores na maioria das situações, com exceção da A3-CO (Figura 7-E). Nesta profundidade as principais diferenças foram observadas nas áreas A3-RS, A1-CO e A2-NE, demonstrando que a aplicação do ativador da microbiota pode alterar a qualidade do solo nas diferentes regiões brasileiras no mais longo prazo. A média geral do IQS de todas as regiões sem a aplicação do ativador foi de 0,64, enquanto com a aplicação do ativador foi de 0,66, para camada de 0-10 cm e de 0,51 e 0,50, para a camada de 10-20 cm para os tratamentos S/A e C/A respectivamente. É possível observar que para o tratamento S/A houve uma redução de aproximadamente 20% na qualidade do solo na camada de 10-20 cm quando comparada à outra camada, enquanto para o tratamento C/A essa redução foi um pouco maior, de aproximadamente 24%.

As figuras 6-8 também demonstram a contribuição ponderada de cada componente avaliado (químico, físico e biológico) no IQS para os dois tratamentos, dentro de cada profundidade e área estudada. O componente químico apresentou maior contribuição para o IQS quando comparado aos componentes físico e biológico, o que pode ser observado na maioria das áreas independentemente do tratamento utilizado. A contribuição ponderada do componente químico variou entre 0,16 e 0,33, enquanto a do componente físico entre 0,08 e 0,27 e por fim, a do biológico variou de 0,05 a 0,28. No entanto, é possível observar na área A2-CO (Figura 7-D) um incremento na qualidade biológica do solo para o tratamento C/A e químico para o tratamento S/A, e na área A3-CO um incremento do componente químico para o tratamento S/A em comparação ao C/A. Sendo assim, esses foram os únicos resultados significativos encontrados nos IQS após um ano de aplicação do ativador da microbiota do solo, o qual não promoveu aumento na qualidade dos solos estudados.

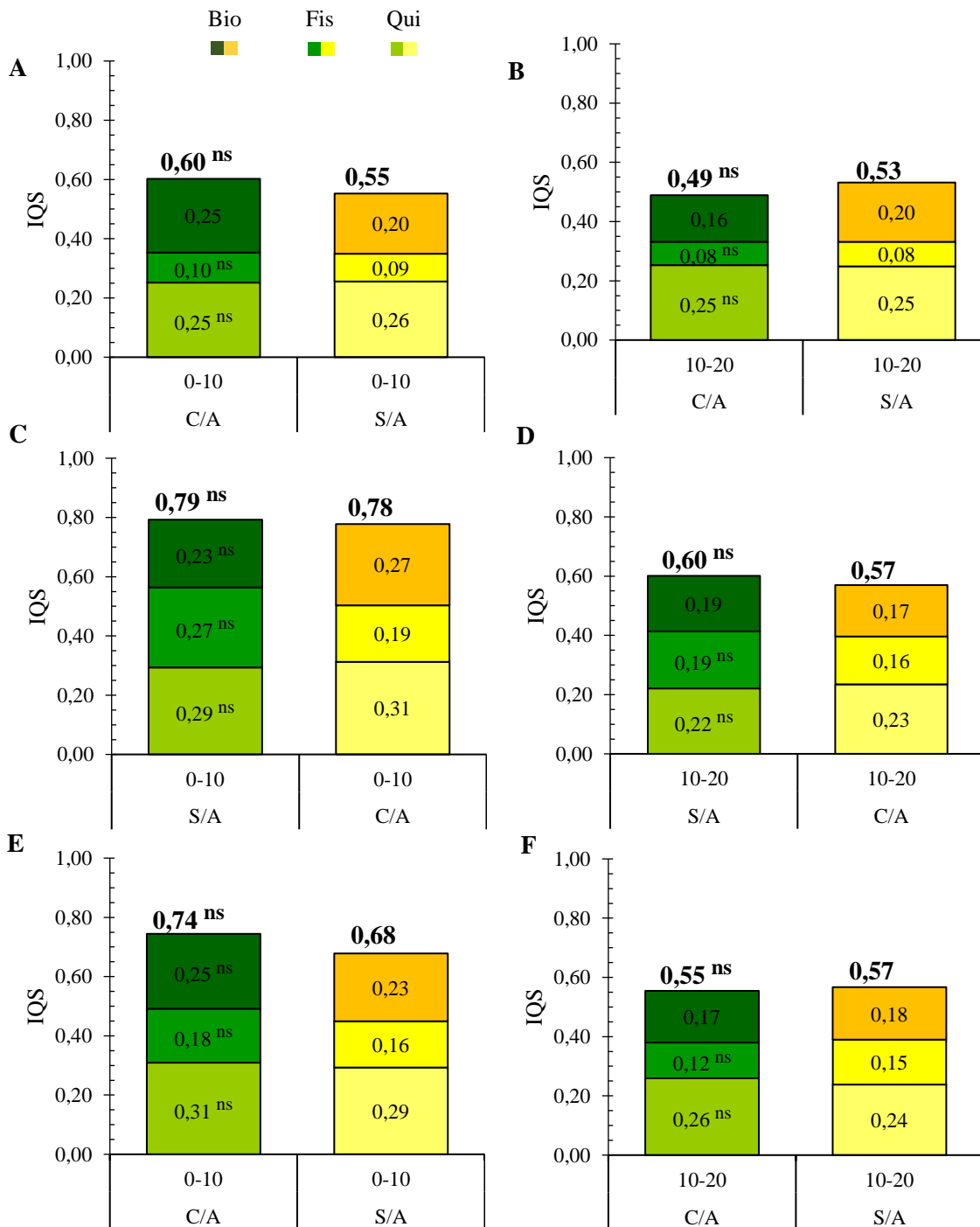


Figura 6. Índice de qualidade do solo (IQS) com a contribuição ponderada de cada componente (Bio= biológico, Fis= físico, Qui= químico), nas camadas de 0-10 cm e 10-20 nas áreas 1 (A e B), 2 (C e D) e 3 (E e F) da região Sul. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, dentro de cada área para cada profundidade ou solo rizosférico entre os tratamentos pelo teste de T ($p>0,05$), ^{ns} não significativo.

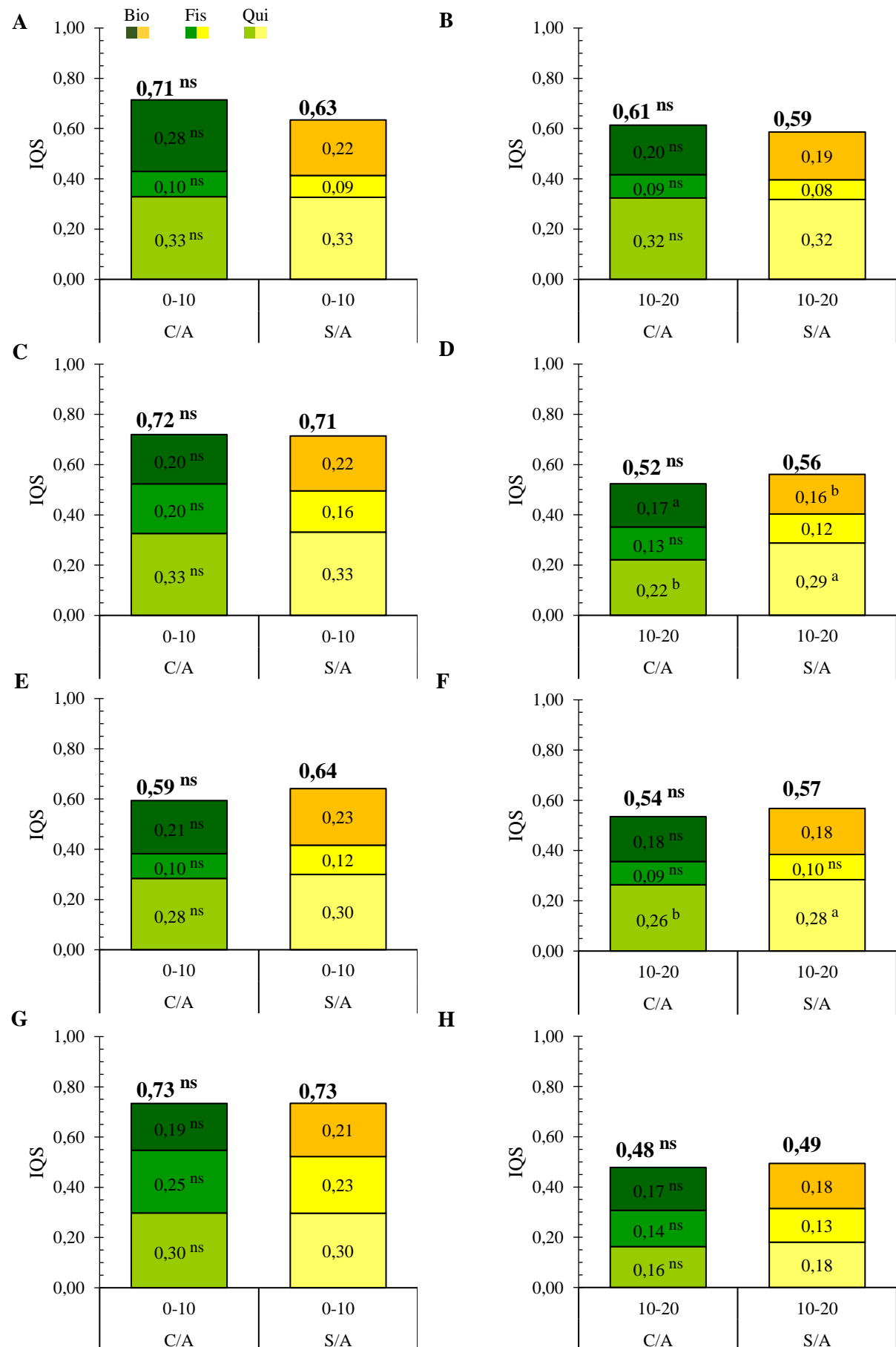


Figura 7. Índice de qualidade do solo (IQS) com a contribuição ponderada de cada componente (Bio= biológico, Fis= físico, Qui= químico), nas camadas de 0-10 cm e 10-20 nas áreas 1 (A e B), 2 (C e D), 3 (E e F) e 4 (G e H) da região Centro-Oeste. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, dentro de cada área para cada profundidade ou solo rizosférico entre os tratamentos pelo teste de T ($p>0,05$), ^{ns} não significativo.

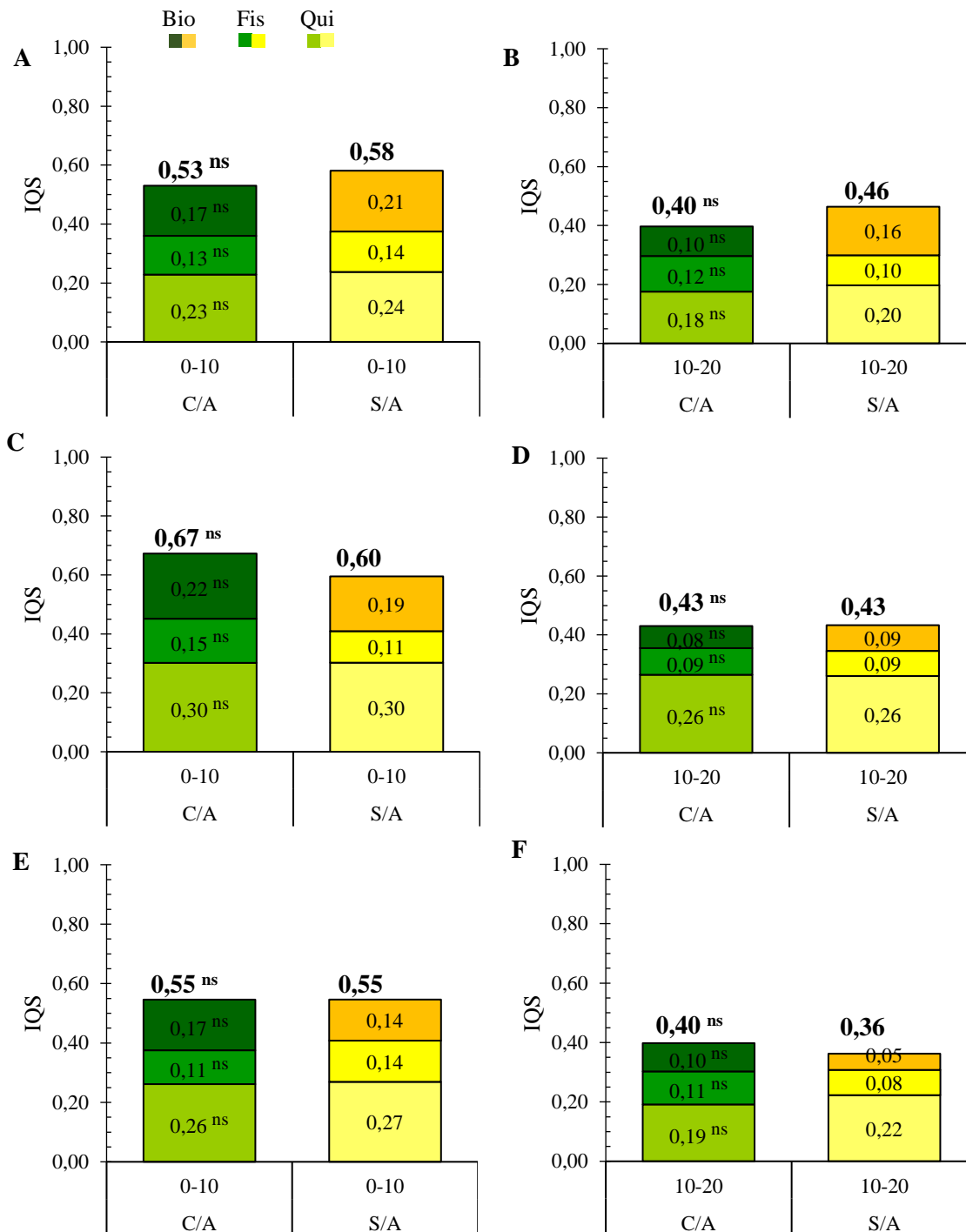


Figura 8. Índice de qualidade do solo (IQS) com a contribuição ponderada de cada componente (Bio= biológico, Fis= físico, Qui= químico), nas camadas de 0-10 cm e 10-20 nas áreas 1 (A e B), 2 (C e D) e 3 (E e F) da região Nordeste. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, dentro de cada área para cada profundidade ou solo rizosférico entre os tratamentos pelo teste de T ($p>0,05$), ^{ns} não significativo.

4. DISCUSSÃO

4.1. Indicadores químicos do solo

Na região Sul, conforme o manual de Calagem e Adubação para os estados do RS e SC (SBCS/CQFS, 2016), o pH é classificado em quatro categorias e nesta região o pH variou entre três das categorias (médio, baixo e muito baixo) e a acidez potencial, de modo geral foi classificada como média ou baixa. Os valores de Al^{3+} variaram entre as áreas sendo classificados de muito baixos a muito altos, no entanto a principal categoria de classificação foi a alta. Contudo, mesmo com altos teores de Al^{3+} a saturação por Al foi classificada principalmente como baixa nas áreas. Quanto a CTC, no geral, os valores foram médios com exceção da área 1 na qual os valores foram altos, e a MOS também foi considerada média com apenas alguns valores baixos. Observando todas as áreas no geral o nutriente P foi classificado como muito alto, o Mg como alto e a SB entre média e muito baixa. Estes valores estão relacionados às práticas de calagem e adubação realizadas nas áreas, a fim de elevar o pH do solo acima de 5,5 e os teores de nutrientes acima do nível crítico (Battisti et al., 2012; Filippi et al., 2021).

Foi possível observar uma variação nas concentrações entre as profundidades de 0-10 e 10-20 cm das áreas e principalmente na A2-S. Esta área apresentou uma redução de pH de baixo para muito baixo em profundidade, aumento da acidez potencial de baixa para média, maior concentração de Al^{3+} (classe muito alta) na camada de 10-20 cm na camada de 0-10 cm (baixa e média), resultados estes que refletiram na redução de V e aumento de m (%) em profundidade. Uma das razões para este contraste entre camadas se deve a adoção do sistema plantio direto, que promove um gradiente de fertilidade. O solo é mais fértil na camada superior, onde ocorre a correção em superfície e alocação dos fertilizantes (em superfície ou na linha até 10 cm de profundidade) (Martínez et al., 2016). Quanto ao nutriente K todas as áreas apresentaram redução na camada de 10-20 cm, classificado principalmente como baixo, enquanto na camada de 0-10 cm como alto ou médio. Os solos das áreas 2-S e 3-S também apresentaram resultados semelhantes para o Ca. Os resultados encontrados na rizosfera foram, em geral, menos variáveis e maiores, com pH variando de muito alto a médio, acidez potencial e Al^{3+} baixos ou muito baixos com exceção da A1-S, com todos os nutrientes apresentando resultados alto ou muito altos e a SB média e baixa nas áreas. Possivelmente, estes resultados refletem o maior fornecimento de C e de moléculas de baixo peso molecular por meio dos exsudatos radiculares no solo rizosférico, atraindo um maior número de

microrganismos e constituindo assim uma região de maior atividade microbiológica (Cardoso e Andreote, 2016).

Na região Centro-Oeste conforme o manual de correção do solo e adubação para o Cerrado (Sousa e Lobato, 2004), o pH das áreas variou bastante e foram classificados dentro das cinco categorias de classificação, de baixa a muito alta. Isto se deve porquê de forma geral os solos do Cerrado são altamente intemperizados, com baixa disponibilidade de nutrientes, altos teores de Al e pH ácido (Lopes, 1996; Procópio e Barreto, 2021). Devido às restrições destes solos para o desenvolvimento das plantas, a agricultura se desenvolveu e se expande no Cerrado a partir do uso da calagem para elevar o pH do solo e a aplicação de fertilizantes para aumentar a disponibilidade de nutrientes (Rada, 2013). Portanto, os valores mais elevados de pH de algumas áreas estão relacionados à correção destes solos. A acidez potencial foi principalmente baixa e média e a m% média para todas as áreas. Quanto aos nutrientes os solos apresentaram P, no geral, alto, K entre adequado e alto, Mg adequado e SB entre média e baixa. Portanto, estes valores estão relacionados a práticas de adubação realizadas nas áreas, a fim de elevar e os teores de nutrientes acima do nível crítico (Carvalho e Nascente, 2018; Trabaquini et al., 2017). Assim como na região Sul, foi possível observar aumento da acidez e redução na disponibilidade de nutrientes entre as profundidades de 0-10 e 10-20 cm das áreas e principalmente na A4-CO. Isso pode ser resultado de uma correção de solo mais superficial principalmente quando o sistema não é convencional, desta forma a utilização a gessagem pode ser importante para mobilizar cátions trocáveis em profundidade reduzindo assim, a toxicidade do Al (Pias et al., 2020). Os resultados encontrados na rizosfera foram, em geral, menos variáveis e maiores, com pH variando principalmente de muito alto a adequado, acidez potencial e Al^{3+} baixas, CTC adequada, V muito alta, m baixa, MOS alta, com todos os nutrientes apresentando resultados altos ou adequados e a SB foi o indicador que mais variou entre as áreas.

Na região Nordeste, o pH das áreas variou bastante e foram classificados dentro de quatro das cinco categorias de classificação, de baixa a muito alta, com exceção apenas da média (Sousa e Lobato, 2004). A acidez potencial e a CTC foram classificadas principalmente como baixas e médias, a m média para maioria das áreas e a MOS entre baixa ou média, de forma geral. Quanto aos nutrientes os solos apresentaram Ca e Mg, no geral, adequados e SB baixa para todas as áreas. Os solos dessa região apresentam altos teores de areia (Tabela 1), portanto de modo geral são menos férteis, apresentam baixa CTC, menor retenção de água e menor atividade microbiológica (Donagemma et al., 2016; Huang e Hartemink, 2020).

Assim como nas demais regiões, foi possível observar gradientes de concentração entre as camadas avaliadas. As três áreas apresentaram pH menores em profundidade quando comparado à camada mais superficial. Na camada de 10-20 cm houve o aumento de Al^{3+} em todas as áreas para pelo menos um dos tratamentos, menor CTC, V e MOS classificados principalmente como baixos. Os nutrientes P e K apresentaram mais diferenças entre as camadas avaliadas, o P aumentou em profundidade na área 2 para os dois tratamentos e na 1 para o tratamento S/A. Contudo, o K reduziu na maioria das áreas com apenas uma exceção na A1-NE para o tratamento C/A. A lixiviação de nutrientes como o K é influenciada pela textura e pelo efeito residual da adubação realizada anteriormente, os solos com baixa CTC tendem a favorecer a percolação de K pelo perfil do solo (Lu et al., 2022; Rosolem et al., 2010; Werle et al., 2008; Wulff et al., 1998). Já os nutrientes Ca e Mg foram adequados com gradiente apenas na A1-NE, indo de adequado na camada de 0-10 cm para baixo na camada de 10-20 cm. Os resultados encontrados na rizosfera foram, em geral, menos variáveis e maiores, com pH variando de muito alto a alto, acidez potencial e Al^{3+} muito altos, diferente das outras regiões a CTC foi de baixa a adequada na rizosfera, V alta e muito alta, m média, MOS também variou ficando entre alta e adequada, com todos os nutrientes apresentando resultados altos ou adequados e a SB permaneceu muito baixa. Estes valores predominantemente baixos de SB nos solos desta região podem ser relacionados ao fato desses solos reterem menos água influenciando assim a concentração de nutrientes no solo rizosférico. Solos mais intemperizados (ricos em minerais 1:1 e óxidos de ferro e alumínio) como é o caso das áreas das regiões Centro-oeste e Nordeste, respondem mais a fertilização que solos menos intemperizados (ricos em minerais 2:1) como os solos da região Sul (Costa et al., 2019), o que explica a resposta das áreas NE e CO a alteração de macronutrientes e indicadores de acidez em função da aplicação do ativador da microbiota do solo.

Os ativadores da microbiota podem promover um efeito indireto nos atributos químicos do solo tendo em vista a importância dos microrganismos na degradação de compostos orgânicos e na ciclagem de nutrientes nos solos (Cardoso e Andreote, 2016). Além disso, os produtos aplicados apresentam em sua composição Ca e Mg, nas o que poderia aumentar as concentrações desses nutrientes no solo com o tratamento C/A, embora as quantidades aplicadas sejam irrisórias. Contudo ao se comparar os tratamentos com aplicação do ativador e sem aplicação, poucos resultados significativos foram encontrados, sendo um na A3-S e o outro na A2-NE, e os demais na região Centro-Oeste que apresentou maiores diferenças estatísticas entre os tratamentos. Porém, os resultados encontrados não nos permitem atribuir efeitos explícitos do uso do ativador da microbiota. Portanto, os processos

que ocorreram nas áreas nos anos anteriores à aplicação do ativador da microbiota do solo podem ter sido os responsáveis pelas diferenças encontradas, somadas à variabilidade espacial dos indicadores químicos entre as faixas dos tratamentos.

4.2. Indicadores físicos do solo

A DS se refere à relação entre a massa de solo seco encontrada por unidade de volume, incluindo o espaço poroso e as partículas sólidas do solo. Para todas as áreas entre os dois tratamentos e dentro de cada profundidade não houve alterações nos valores de DS (Figura 2-A). Segundo Reichert et al. (2009) a DS crítica para solos argilosos é de 1,30 a 1,40 Mg m^{-3} , de 1,40 a 1,50 Mg m^{-3} para solos franco argilosos e de 1,70 a 1,80 Mg m^{-3} para solos franco arenosos. Sendo assim, é possível observar que na região Sul o solo da área A1-S, de textura franco argilosa (Tabela 1), encontra-se compactado nas duas profundidades apresentando valores $>1,50 \text{ Mg m}^{-3}$ para os dois tratamentos, enquanto na área 3-S com o solo de textura argilosa, apenas na camada de 10-20 cm o tratamento C/A o apresentou DS $> 1,40 \text{ Mg m}^{-3}$. O solo de textura argilosa da área CO-1 apresentou DS acima do limite crítico de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ nas duas profundidades e tratamentos. Além disso, na área CO-2 o solo de textura muito argilosa apontou compactação na profundidade de 10-20 cm para os dois tratamentos também. Na região NE apenas a A2-NE na profundidade de 10-20 cm (S/A) foi superior a $1,80 \text{ Mg m}^{-3}$. As demais áreas ou profundidades e tratamentos não citadas anteriormente não apresentaram DS acima do limite crítico. O processo de conversão das áreas de vegetação nativa em áreas agrícolas causa impactos negativos na qualidade física do solo, incluindo o aumento da compactação do solo (Santos et al., 2021). O manejo e uso do solo em áreas agrícolas influenciam suas características físicas dinâmicas, práticas como preparo convencional do solo aumenta a desagregação deste podendo levar à recompactação no curto prazo (Blanco-Canqui e Ruis, 2018). A utilização de máquinas pesadas na agricultura moderna e o tráfego intenso nas áreas agrícolas aumentam o processo de compactação do solo, principalmente nas camadas subsuperficiais do solo (Keller e Or, 2022). Portanto, a compactação do solo pode ter diferentes causas, as práticas de manejo e o tráfego de máquinas adotados nas áreas estudadas podem ser responsáveis pelas altas DS e compactação dos solos.

A RP é a capacidade do solo em seu estado confinado de resistir à penetração de um objeto rígido (Arshad et al., 1996). Após um ano do uso do ativador da microbiota as diferenças encontradas foram sutis e pontuais, provavelmente não ligadas aos tratamentos. Os

resultados estatisticamente significativos ocorreram nas duas camadas do solo da área 2-CO, e na camada de 0-10 cm da área 3-NE (Figura 2-B).

O crescimento e desenvolvimento das raízes está intimamente relacionada à RP, segundo Arshad et al. (1996), a RP do solo é considerada alta de 2 a 4 MPa, muito alta de 4 a 8 MPa e extremamente alta acima de 8 MPa, portanto quanto mais alta maior a restrição ao crescimento das raízes, que já sofrem restrições a partir de 2 MPa. A região Sul apresentou valores inferiores a 2 MPa na camada de 0-10 cm para os dois tratamentos na área 1, todos os valores da área 2 e apenas um na área 3. A região Centro-Oeste apresentou apenas valores superiores a 2 MPa em suas áreas. Já a região Nordeste foi a que apresentou mais resultados abaixo do intervalo considerado alto, apenas na A2-NE na camada de 10-20 cm, os valores foram superiores a 2 MPa para os dois tratamentos. Portanto, possivelmente a região Centro-Oeste é aquela que mais apresentou mais restrições ao desenvolvimento das raízes das culturas, enquanto a região Nordeste apresentou menores restrições.

A tabela 7 evidencia que há uma correlação positiva entre DS e RP para os dois tratamentos aplicados, isto quando os resultados são divididos pelo teor de argila (>30% e <30%) dos solos de cada área. Ao avaliar em conjunto todos os valores separando apenas por tratamento, independente do teor de argila, não houve correlação significativa entre DS e RP. O que possivelmente pode ser explicado pela divisão das classes de variação da DS em função do teor de argila do solo (Barbosa et al., 2018). Porém, para a RP a classificação é diferente, é considerada alta a partir de 2 MPa independente da textura do solo (Arshad et al., 1996). Sendo assim, ao colocar valores de DS com texturas distintas, um valor, por exemplo, maior ou igual a $1,70 \text{ Mg m}^{-3}$ não será necessariamente alto, pois dependerá da textura daquele solo. Portanto, se o solo for arenoso a DS está dentro do intervalo normal e provavelmente a RP não será alta. Desta forma, as áreas que apresentaram compactação ou valores muito próximos aos limites críticos de DS apresentaram de modo geral RP superior a 2 MPa, comprovando essa correlação. Este resultado corrobora com aqueles encontrados por (de Moraes et al., 2017).

Tabela 7. Coeficientes médios de correlação de Pearson de cada tratamento (S/A e C/A) das 10 áreas avaliadas, entre a DS (Mg m^{-3}) e RP (MPa) de cada área dentro das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

	Tratamento	>30% argila	<30% argila
DS x RP	S/A	0,54	0,82
	C/A	0,65	0,84

A MiP e a MaP foram os atributos que apresentaram as maiores alterações entre os indicadores físicos (Figura 2-C), porém não houve um comportamento padrão para que essas diferenças possam ser atribuídas ao uso do ativador da microbiota do solo. A primeira diferença foi encontrada na área 2-S na profundidade de 10-20 cm, na qual o tratamento S/A obteve maiores MaP e MiP em comparação ao C/A, o que pode ser atribuído ao fato de o solo estar compactado e ter apresentado uma alta RP. Na área 3-S para as duas profundidades a MaP foi maior para o tratamento S/A em comparação ao C/A, o que pode se referir também aos maiores valores de DS e RP do solo sem ativador. Já a área 2-CO foi a que mais apresentou resultados significativos. Por fim, o último resultado foi encontrado na área 4-CO na qual o solo do tratamento C/A apresentou maior MiP em comparação ao S/A na camada de 10-20cm. Apesar de não compactada a camada de 10-20 cm apresentou maior DS e alta RP em relação à camada de 0-10 cm, e os maiores valores foram do tratamento S/A o que justifica esse resultado. Na região nordeste a MiP e a MaP não diferiram entre os tratamentos.

Segundo Reynolds et al. (2002) quando menor do que 10%, a MaP afeta significativamente o fluxo de oxigênio naquele solo, tornando-o crítico. Nas áreas avaliadas todas da região Sul independentemente da profundidade e tratamento apresentaram MaP menores do que 10%, apenas uma exceção foi encontrada na área 2-S para o tratamento C/A na profundidade de 10-20 cm, de modo geral os valores variaram entre 0,01 e 0,09 nestas áreas. Estes resultados estão relacionados com os elevados valores de DS e RP destas áreas. O solo das áreas 1-CO na camada de 10-20 cm para os dois tratamentos e, na mesma camada na área CO-4 para o tratamento C/A, apresentaram valores abaixo do limite crítico. De modo geral, as demais áreas apresentaram valores acima do limite crítico de MaP.

Os intervalos de classificação da MiP dos solos, segundo (Cherubin et al., 2016), apresentam três valores limites que são 0,15, 0,20 e 0,35 $m^3 m^{-3}$, que definem o valor mínimo, médio e bom de microporos no solo, respectivamente. Os valores de MiP das áreas de estudos variaram de 0,18 $m^3 m^{-3}$ a 0,57 $m^3 m^{-3}$ e os maiores valores foram encontrados na região Sul e nas áreas 1 e 4-CO. As áreas que apresentaram solos compactados como a A1-S, A2-S e A1-CO e maiores valores de MiP pode ser explicado por esse processo de compactação que pode resultar na redução da MaP, aumento da RP e DS dos solos, como encontrado por Stone et al. (2002). Dentre os principais fatores que podem alterar os atributos físicos estão o manejo e o preparo do solo utilizado nas áreas que em alguns casos podem resultar na pulverização do solo reduzindo assim sua MaP e gerando problemas futuros de compactação (Blednykh et al., 2015).

Alterações nos indicadores físicos levam mais tempo quando comparadas a mudanças nos indicadores biológicos (Cardoso et al., 2013; Reichert et al., 2016). Portanto, o estímulo da atividade dos microrganismos nativos do solo gerado por um ativador da microbiota, ao longo do tempo, poderia promover alterações nas propriedades físicas do solo indiretamente. Isto por meio da formação de agregados e bioporos (Vogel et al., 2022), através da exsudação de substâncias cimentantes ou pelo próprio desenvolvimento das hifas de fungos que aproximam as partículas de solo (Pereira et al., 2021). No entanto, os resultados deste estudo demonstraram que não houve efeito da aplicação do ativador da microbiota nos atributos físicos do solo nessa primeira safra. O histórico de manejo e uso da terra, como por exemplo tempo de adoção do sistema plantio direto, utilização de plantas de cobertura bem como a variabilidade espacial da área e fatores externos como o tráfego de máquinas são os principais fatores que explicam as variações pontuais observadas nos indicadores físicos dos solos, uma vez que a ausência de um padrão de resposta não permite atribuir ao uso do ativador da microbiota do solo os efeitos observados.

4.3. Indicadores biológicos do solo

O carbono do solo é composto pelo carbono orgânico (COS) e inorgânico do solo. O COS é altamente diverso constituído por diferentes frações com constituição, estabilidade e tempo de permanência no solo distintos (Lal, 2015; Sá et al., 2020). Após um ano de aplicação do ativador da microbiota observou-se variação no C do solo na camada de 10-20 cm das áreas A3-S e A1-CO. Porém, as alterações não seguiram uma resposta ao ativador da microbiota do solo. Ao observar os valores de C entre as regiões é possível notar que a região Nordeste obteve os menores valores quando comparada com a região Sul e Centro-Oeste que obteve os maiores valores. De modo geral, a fertilidade e o COS são menores em solos arenosos como os da região Nordeste (Tabela 1), porém existem poucos estudos e pesquisas para estes solos. No entanto, os teores de C podem aumentar significativamente dependendo do manejo e da disponibilidade de água em solos arenosos (Yost e Hartemink, 2019). Em estudo realizado por (Santos et al., 2022), em solos franco arenosos localizados em áreas na região brasileira de expansão agrícola MATOPIBA próximo às áreas da região Nordeste, também apresentaram teores baixos C. De acordo com estes autores, a mudança de uso da terra ocasionou redução dos teores de COS dos solos.

A atividade enzimática consiste em um importante indicador biológico da qualidade do solo, sendo extremamente sensível a diferentes culturas e práticas de manejo aplicadas na

área, e atuam em diversas reações importantes no solo como, na ciclagem de nutrientes, formação de MO, que impactam na estrutura do solo (Błońska et al., 2021; Jat et al., 2021; Mendes et al., 2018; Meng et al., 2020). A betaglicosidase é uma enzima associada ao ciclo do carbono (Matsuoka et al., 2003). De acordo com Mendes et al. (2018), os intervalos de classificação da atividade desta enzima no solo são: ≤ 90 , de 91 a 225 e $>225 \mu\text{g PNG g}^{-1}$, para os níveis de atividade baixa, moderada e adequada, respectivamente. É importante ressaltar que esta classificação é referente a Latossolos do Cerrado, portanto solos de diferentes regiões possivelmente não se enquadrem nessa classificação. A betaglicosidase no solo foi classificada como baixa nas áreas da região Sul, com apenas um valor considerado moderado, os valores médios foram de 69 (S/A) e 75 (C/A) $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ na camada de 0-10 cm, de 28 (S/A) e 27 (C/A) $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ na camada de 10-20 cm. Na região Centro-Oeste apenas dois valores foram considerados moderados, enquanto os demais foram baixos, as médias foram 77, 72, 32 e 45 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$, seguindo a mesma sequência anterior. As menores médias por tratamento foram encontradas na região Nordeste independente da camada e tratamento avaliados e todos os valores encontrados foram baixos, as médias foram de 49, 50, 7 e 8 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$, na mesma ordem lógica, resultado este, reflexo da menor atividade biológica e conteúdo de carbono dos solos da região Nordeste.

A enzima betaglicosidase também foi avaliada no solo rizosférico das regiões. A rizosfera é a área estreita do solo imediatamente adjacente às raízes das plantas que abriga uma maior abundância e diversidade de microrganismos (Hakim et al., 2021). As raízes atuam como órgão de ligação e troca de superfície entre as plantas e o solo, liberando diversos compostos (ácidos orgânicos, ácido málico, ácido succínico, aminoácidos, poliaminas, etc.) (Xiong et al., 2021). Estes exsudatos proporcionam uma zona favorável ao desenvolvimento das culturas e dos microrganismos pela maior disponibilidade de nutrientes (Mahmud et al., 2021; Xiong et al., 2021). Ao avaliar o solo rizosférico das regiões foi possível notar que apenas três áreas apresentaram valores pontuais baixos de betaglicosidase. Sendo um na região Sul e dois na região Nordeste, enquanto os demais valores foram classificados como moderados. As médias de betaglicosidase para o solo rizosférico de cada região foi de 122 (S/A) e 100 (C/A) $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ para região Sul, de 123 e 139 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ para o Centro-Oeste e de, 114 e 73 $\mu\text{g PNG g}^{-1}$ para o Nordeste. Portanto, as médias da atividade enzimática do solo rizosférico de cada região, independentemente do tratamento, são maiores quando comparadas às médias do solo não rizosférico, evidenciando a maior atividade microbiológica no solo próximo às raízes.

A enzima arilsulfatase está associada ao ciclo do enxofre (S) (Matsuoka et al., 2003), e Mendes et al. (2018) sendo as classes de atividade da enzima baixa, moderada e adequada para os valores ≤ 25 , de 26 a 145 e >145 μg de PNS g^{-1} , respectivamente. Assim como para enzima betaglicosidase esta classificação é referente a Latossolos do Cerrado, portanto solos de diferentes regiões não irão, necessariamente, se adaptar à classificação. A atividade da arilsulfatase foi avaliada apenas no solo rizosférico, as médias encontradas para região Sul foram de 226 (S/A) e 232 (C/A) μg de PNS g^{-1} , em todas as áreas os valores foram classificados como adequados. Na região Centro-Oeste as médias foram de 146 (S/A) e 133 (C/A) μg de PNS g^{-1} , porém, apenas os valores da área 4 foram maiores que 145 μg de PNS g^{-1} , enquanto os demais foram classificados como moderados. As menores médias por tratamento foram encontradas na região Nordeste, a área 1 apresentou valores classificados como baixo e nas demais áreas os valores foram moderados, as médias encontradas foram de 35 (S/A) e 43 (C/A) μg de PNS g^{-1} . No estudo realizado por Lopes et al. (2021) em solos arenosos na Bahia diferentes tipos de sistemas agrícolas e seus impactos na atividade das enzimas (AE) betaglicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida foram comparados. No curto prazo, após dois anos de experimento, a variação temporal da AE foi mínima, refletindo a falta ou pouca flutuação nas variáveis climáticas e de produção de biomassa nas áreas. Contudo, após cinco anos de experimento houve melhoria na atividade enzimática pela influência do manejo adotado nas áreas com plantas de cobertura e não revolvimento do solo. Segundo Ekenler e Tabatabai, (2003) práticas como a calagem, que aumentam o pH, estimulam a atividade dos microrganismos, ocasionando o aumento de enzimas como a arilsulfatase. Sendo assim, a atividade enzimática responde a outros fatores como clima, tempo e práticas de manejo, não apenas a aplicação de um produto no solo, portanto, outras práticas de manejo e avaliações a longo prazo são necessárias para avaliar melhor o efeito do ativador da microbiota no solo.

A enzima fosfatase ácida envolvida no ciclo do fósforo (P) (Matsuoka et al., 2003). Segundo Mendes et al. (2018) apresenta os seguintes intervalos de atividade: ≤ 700 , de 700 a 1260 e >1260 μg de PNF g^{-1} , para baixa, moderada e adequada, respectivamente. Esta enzima também foi avaliada apenas no solo rizosférico, e as médias encontradas na região Sul foram de 625 (S/A) e 650 (C/A) μg de PNS g^{-1} , com todos os valores classificados como baixos. As médias da região Centro-Oeste foram de 503 (S/A) e 548 (C/A) μg de PNS g^{-1} , apenas o valor da A4-CO para o tratamento C/A ficou no intervalo moderado e o restante foi classificado como baixo. As menores médias por tratamento foram encontradas na região Nordeste na qual todos os valores foram baixos e as médias encontradas foram de 303 e 330 μg de PNS g^{-1} .

Segundo Ekenler e Tabatabai (2003), a calagem resulta na redução da atividade da enzima fosfatase ácida. Assim como para as demais enzimas, as práticas de manejo impactam na atividade microbiológica e conseqüentemente na atividade enzimática, como a aplicação de fertilizantes químicos em solos ácidos, que aumentam a atividade da fosfatase ácida (Gaiero et al., 2020). Sendo assim, as práticas de manejo devem ser utilizadas em conjunto para melhorar a atividade enzimática e quem sabe assim, melhorar o desempenho do ativador da microbiota ao longo dos anos.

De modo geral, as regiões Sul e Centro-Oeste apresentaram os maiores valores de atividade enzimática para as enzimas analisadas independente do tratamento e de ser solo rizosférico ou não, enquanto, a região Nordeste apresentou os menores valores. Sendo assim, por não se influenciarem pelos tratamentos estes resultados não estão relacionados ao uso do ativador da microbiota do solo. Conforme a tabela 1 e 7 é possível notar que os solos mais argilosos apresentam médias maiores do que solos mais arenosos. De modo geral, os solos arenosos apresentam restrições quanto á fertilidade geralmente apresentando menos cargas elétricas e baixa CTC, muito disso devido ao material de origem desses solos. Sendo assim, também apresentam baixas concentrações de nutrientes, menores teores de MOS e baixa retenção de água, conseqüentemente reduzindo as comunidades de microrganismos assim como a atividade do microbioma (Donagemma et al., 2016; Huang e Hartemink, 2020). A tabela 8 evidencia as correlações entre os teores em porcentagem de argila e areia com as enzimas avaliadas. É possível observar que quanto maior o teor de argila maior a atividade das enzimas arilsulfatase e fosfatase ácida. No entanto, também é possível observar que, principalmente para a Betaglicosidase, existem outros fatores no solo e do ambiente que influenciam as atividades enzimáticas nas diferentes regiões do Brasil, não apenas estes fatores texturais isolados.

Tabela 8. Coeficientes médios de correlação de Pearson de cada tratamento (S/A e C/A) das 10 áreas avaliadas, entre a porcentagem de argila e areia e os valores médios da atividade enzimática da Betaglicosidase ($\mu\text{g PNG g}^{-1}$), Arilsulfatase ($\mu\text{g PNS g}^{-1}$) e Fosfatase ácida ($\mu\text{g PNF g}^{-1}$) de cada área dentro das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

	Tratamento	Betaglicosidase	Arilsulfatase	Fosfatase ácida
Argila	S/A	0,25	0,64	0,62
	C/A	0,41	0,57	0,69
Areia	S/A	-0,17	-0,56	-0,60
	C/A	-0,35	-0,47	-0,65

4.4. Indicadores de qualidade do solo

Nas áreas estudadas as médias calculadas para o IQS não diferiram entre os tratamentos dentro das profundidades. Na região Sul estavam funcionando de 0,49 a 0,79, no Centro-Oeste de 0,49 a 0,72 e no Nordeste de 0,36 a 0,67. Segundo Andrews et al. (2004), quanto mais próximo de 1 o escore, maior a qualidade do solo, portanto algumas áreas apresentaram escores altos e bons resultados, porém existe ainda uma oportunidade de aumento do IQS principalmente na região Nordeste, o que é conhecido como *soil health gap* (Maharjan et al., 2020). Tendo em vista que os indicadores de qualidade do solo respondem ao manejo aplicado na área (Cardoso et al., 2013) essa possibilidade de crescimento pode ser alcançada por meio de práticas de manejo que melhoram os atributos do solo e conseqüentemente sua qualidade aumentando o IQS. O manejo de uma área agrícola não engloba somente a aplicação de um produto biológico no solo como um ativador da microbiota, mas também envolve todas as práticas, operações e tratamentos utilizados no sistema agrícola visando melhorar ou manter a produtividade de forma sustentável. Portanto, para que seja possível aumentar os índices de qualidade do solo nessas áreas é preciso se atentar ao manejo do sistema produtivo (Lal, 2015; Sojka et al., 2003; Vanlauwe et al., 2015). Sendo assim, pode-se destacar outras práticas utilizadas como rotação de culturas, plantio direto, plantas de cobertura, integração lavoura pecuária e floresta (Carvalho e Nascente, 2018; Cherubin et al., 2021; Luz et al., 2019; Lemaire et al., 2014; Valbuena et al., 2012), entre outras práticas. Geralmente mais de uma técnica é necessária, e o manejo deve ser realizado por meio da adoção de práticas, operações e tratamentos adequados. Estas práticas possibilitarão evitar ou reduzir os processos de degradação do solo, permitindo a manutenção ou melhoria da qualidade da área. O manejo adequado poderia, desta forma, contribuir para um solo mais estável e com uma biota mais equilibrada e possibilitar a maior eficiência dos ativadores da microbiota, permitindo que atuem em sinergia com as demais práticas resultando no aumento da qualidade do solo.

A qualidade do solo depende dos processos e propriedades dinâmicas e inerentes do solo, desta forma a qualidade do solo também pode ser dividida em qualidade permanente ou dinâmica do solo (Cherubin et al., 2021; Karlen et al., 2001). Esse trabalho também revelou que os índices de qualidade do solo foram mais influenciados pela qualidade do solo permanente do que efetivamente pela qualidade do solo dinâmica, afetada pelo ativador da microbiota do solo (Figura 9). Na Figura 9 é possível observar que o fato das áreas dentro da mesma região e, principalmente, entre as regiões, apresentarem valores médios diferentes está

relacionado com a qualidade permanente do solo, neste caso representado pela variação no teor de argila dos solos. Sendo assim, as características relacionadas à formação desses solos e suas propriedades inerentes estão influenciando o IQS encontrados para cada local dentro de cada região. Portanto, essa influência não ocorre pelas características dinâmicas ligadas aos solos e às áreas, ou seja, à qualidade dinâmica do solo como as práticas de manejo adotadas nas áreas experimentais. Sendo assim, é possível observar que a aplicação do ativador da microbiota não gerou resultados significativos na qualidade do solo dentro e entre as regiões estudadas.

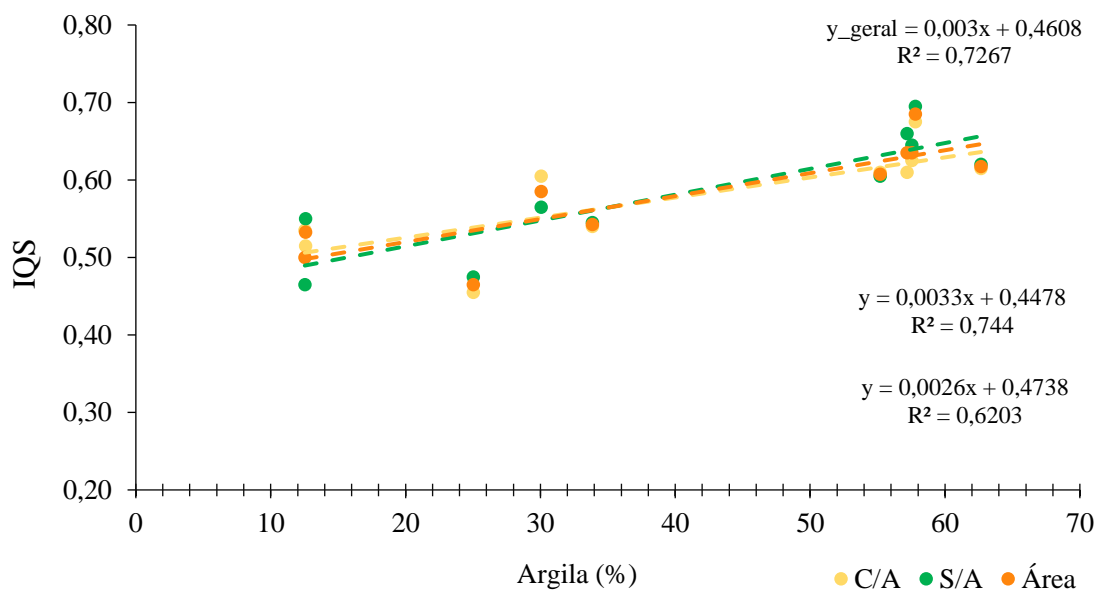


Figura 9. Relação entre o IQS das profundidades de 0-10 e 10-20 cm o teor de argila nas 10 áreas estudadas. Com aplicação de ativador (C/A), sem aplicação de ativador (S/A), considerando os dois tratamentos (Área).

5. CONCLUSÃO

As principais conclusões deste estudo foram:

- Não foi possível observar por meio das análises realizadas o estímulo da atividade dos organismos nativos do solo no curto prazo em decorrência do uso de ativador da microbiota nas diferentes regiões do Brasil cultivadas com soja/milho.
- O uso de ativador da microbiota do solo praticamente não alterou os indicadores químicos, físicos e biológicos e conseqüentemente a qualidade do solo no primeiro ano de experimento. Assim, as variações estatisticamente significativas dentro dos atributos químicos, físicos e biológicos devem ser interpretadas com cuidado, pois podem não estar associadas aos tratamentos, e assim, à variabilidade espacial da variável no solo induzida por outro fator de uso e manejo do solo.
- Solo rizosférico apresenta maior atividade de microrganismos (medido pela atividade de betaglicosidase) comparado ao solo não rizosférico, porém, não houve efeito do uso do ativador da microbiota do solo.
- A resposta do ativador da microbiota do solo não foi influenciada pelas diferentes condições edafoclimáticas das regiões do Brasil.
- Sugere-se que o efeito do uso do ativador da microbiota do solo seja monitorado nas safras seguintes, para detectar eventuais benefícios no médio e longo prazo.

REFERÊNCIAS

- Al-Farhani, H., Darsouei, R., Kamali, S., Moravvej, G., Karimi, J., 2021. Pathogenicity of native isolates of entomopathogenic fungi *Beauveria* and *Metharizium* genera on *Microcerotermes diversus* (Blattodea: Termitidae) in the laboratory. *International Journal of Tropical Insect Science* 41, 1493–1503. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00347-w>
- Andrews, S.S., Karlen, D.L., Cambardella, C.A., 2004. The Soil Management Assessment Framework. *Soil Science Society of America Journal* 68, 1945–1962. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1945>
- Arshad, M.A., Lowery, B., Grossman, B., 1996. 7 Physical Tests for Monitoring Soil Quality.
- Babla, M., Katwal, U., Yong, M.-T., Jahandari, S., Rahme, M., Chen, Z.-H., Tao, Z., 2022. Value-added products as soil conditioners for sustainable agriculture. *Resources, Conservation and Recycling* 178, 106079. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106079>
- Barbosa, L.C., Souza, Z.M. de, Franco, H.C.J., Otto, R., Rossi Neto, J., Garside, A.L., Carvalho, J.L.N., 2018. Soil texture affects root penetration in Oxisols under sugarcane in Brazil. *Geoderma Regional* 13, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.03.002>
- Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., García, C., 2008. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma* 147, 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.08.007>
- Battisti, R., Sentelhas, P.C., Pilau, F.G., 2012. Eficiência agrícola da produção de soja, milho e trigo no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2008. *Ciência Rural* 42, 24–30. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000100005>
- Blanco-Canqui, H., Ruis, S.J., 2018. No-tillage and soil physical environment. *Geoderma* 326, 164–200. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.03.011>
- Blednykh, V. v., Svechnikov, P.G., Troyanovskaya, I.P., 2015. Analytical model of soil pulverization and tillage tools, in: *Procedia Engineering*. Elsevier Ltd, pp. 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.010>
- Błońska, E., Piaszczyk, W., Staszal, K., Lasota, J., 2021. Enzymatic activity of soils and soil organic matter stabilization as an effect of components released from the decomposition of litter. *Applied Soil Ecology* 157. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2020.103723>

- Bueno, J.R.P., Berton, R.S., Silveira, A.P.D. da, Chiba, M.K., Andrade, C.A. de, Maria, I.C. de, 2011. Chemical and microbiological attributes of an oxisol treated with successive applications of sewage sludge¹. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35, 1461–1470. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400040>
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., de Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W., Brussaard, L., 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120, 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Cardoso, E.J.B.N., Andreote, F.D., 2016. *Microbiologia do Solo*, 2nd ed. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz,” Piracicaba - SP.
- Cardoso, E.J.B.N., Vasconcellos, R.L.F., Bini, D., Miyauchi, M.Y.H., Santos, C.A. dos, Alves, P.R.L., Paula, A.M. de, Nakatani, A.S., Pereira, J. de M., Nogueira, M.A., 2013. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola* 70, 274–289. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400009>
- Carvalho, M.D.C.S., Nascente, A.S., 2018. Application of lime, phosphogypsum and fertilization rates affect soil fertility and common bean development in no-tillage system in a Cerrado Oxisol. *Acta Scientiarum. Agronomy* 40, 39322. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.39322>
- Cherubin, M.R., Franchi, M.R.A., Lima, R.P. de, Moraes, M.T. de, Luz, F.B. da, 2021. Sugarcane straw effects on soil compaction susceptibility. *Soil and Tillage Research* 212, 105066. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105066>
- Cherubin, M.R., Karlen, D.L., Cerri, C.E.P., Franco, A.L.C., Tormena, C.A., Davies, C.A., Cerri, C.C., 2016. Soil Quality Indexing Strategies for Evaluating Sugarcane Expansion in Brazil. *PLOS ONE* 11, e0150860. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150860>
- Costa, J.J.F., da Silva, E.B., Coelho, F.F., Tiecher, T., Bissani, C.A., Filippi, D., 2019. Atributos químicos relacionados à acidez e capacidade de troca de cátions de solos do Rio Grande do Sul com diferentes graus de intemperização. *Acta Iguazu* 81–100. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v8i2.19885>
- da Luz, F.B., da Silva, V.R., Kochem Mallmann, F.J., Bonini Pires, C.A., Debiasi, H., Franchini, J.C., Cherubin, M.R., 2019. Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 281, 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.05.006>

- de Moraes, M.T., Debiassi, H., Carlesso, R., Franchini, J.C., da Silva, V.R., da Luz, F.B., 2017. Age-hardening phenomena in an oxisol from the subtropical region of Brazil. *Soil and Tillage Research* 170, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.03.002>
- Donagemma, G.K., de Freitas, P.L., Balieiro, F. de C., Fontana, A., Spera, S.T., Lumberras, J.F., Viana, J.H.M., Filho, J.C. de A., dos Santos, F.C., de Albuquerque, M.R., Macedo, M.C.M., Teixeira, P.C., Amaral, A.J., Bortolon, E., Bortolon, L., 2016. Characterization, agricultural potential, and perspectives for the management of light soils in Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 51, 1003–1020. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900001>
- Doran, J.W., Parkin, T.B., 1994. Defining and Assessing Soil Quality, in: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. pp. 1–21.
- Ekenler, M., Tabatabai, M.A., 2003. Responses of phosphatases and arylsulfatase in soils to liming and tillage systems. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166, 281–290. <https://doi.org/10.1002/jpln.200390045>
- Elliott, A.J., Daniell, T.J., Cameron, D.D., Field, K.J., 2021. A commercial arbuscular mycorrhizal inoculum increases root colonization across wheat cultivars but does not increase assimilation of mycorrhiza-acquired nutrients. *PLANTS, PEOPLE, PLANET* 3, 588–599. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10094>
- Estrada-Bonilla, G.A., Durrer, A., Cardoso, E.J.B.N., 2021. Use of compost and phosphate-solubilizing bacteria affect sugarcane mineral nutrition, phosphorus availability, and the soil bacterial community. *Applied Soil Ecology* 157, 103760. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103760>
- Filippi, D., Denardin, L.G. de O., Ambrosini, V.G., Alves, L.A., Flores, J.P.M., Martins, A.P., Pias, O.H. de C., Tiecher, T., 2021. Concentration and removal of macronutrients by soybean seeds over 45 years in Brazil: a meta-analysis. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 45. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200186>
- Gaiero, J.R., Bent, E., Boitt, G., Condrón, L.M., Dunfield, K.E., 2020. Effect of long-term plant biomass management on phosphatase-producing bacterial populations in soils under temperate grassland. *Applied Soil Ecology* 151. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2020.103583>
- Hakim, S., Naqqash, T., Nawaz, M.S., Laraib, I., Siddique, M.J., Zia, R., Mirza, M.S., Imran, A., 2021. Rhizosphere Engineering With Plant Growth-Promoting Microorganisms for Agriculture and Ecological Sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.617157>

- Halfeld-Vieira, B. de A., Marinho-Prado, J.S., Nechet, K. de L., Morandi, M.A.B., Bettiol, W., 2016. Defensivos agrícolas naturais: usos e perspectivas. Brasília.
- Hamed, A.A., Latef, A., Fawzy, M., Alhmad, A., Kordrostami, · Mojtaba, Abo-Baker, ·, Abo-Baker, A.-E., Zakir, · Ali, 2020. Inoculation with *Azospirillum lipoferum* or *Azotobacter chroococcum* Reinforces Maize Growth by Improving Physiological Activities Under Saline Conditions. *Journal of Plant Growth Regulation* 39, 1293–1306. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10065-9>
- Huang, J., Hartemink, A.E., 2020. Soil and environmental issues in sandy soils. *Earth-Science Reviews* 208, 103295. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103295>
- IBAMA, 2020. Registro de produtos de baixa periculosidade [WWW Document]. Registro de produtos de baixa periculosidade. URL <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/quimicos-biologicos-registros/registro-de-produtos-de-baixa-periculosidade> (acesso em 14/06/22).
- Jardim, F.S.F., 2011. Instrução normativa sda Nº 13, de 24 de março de 2011.
- Jat, H.S., Datta, A., Choudhary, M., Sharma, P.C., Dixit, B., Jat, M.L., 2021. Soil enzymes activity: Effect of climate smart agriculture on rhizosphere and bulk soil under cereal based systems of north-west India. *European Journal of Soil Biology* 103, 1164–5563. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103292>
- Karlen, D.L., Andrews, S.S., Doran, J.W., 2001. Soil quality: Current concepts and applications. pp. 1–40. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)74029-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)74029-1)
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., 1997. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America Journal* 61, 4–10. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>
- Keller, T., Or, D., 2022. Farm vehicles approaching weights of sauropods exceed safe mechanical limits for soil functioning. *Proc Natl Acad Sci U S A* 119. <https://doi.org/10.1073/PNAS.2117699119/-/DCSUPPLEMENTAL>
- Lal, R., 2015. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability* 2015, Vol. 7, Pages 5875-5895 7, 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/SU7055875>
- Leal, J.G.T., 2020. Serviço público federal ministério da agricultura, pecuária e abastecimento secretaria de defesa agropecuária instrução normativa Nº 61, de 08 de julho de 2020. Brasília.
- Lehmann, J., Bossio, D.A., Kögel-Knabner, I., Rillig, M.C., 2020. The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment* 1, 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>

- Lemaire, G., Franzluebbers, A., Carvalho, P.C. de F., Dedieu, B., 2014. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 190, 4–8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>
- Lemanceau, P., Maron, P.-A., Mazurier, S., Mougel, C., Pivato, B., Plassart, P., Ranjard, L., Revellin, C., Tardy, V., Wipf, D., 2015. Understanding and managing soil biodiversity: a major challenge in agroecology. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 67–81. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0247-0>
- Li, Y., Rao, P., Wang, J., Song, S., Wang, R., Liu, S., Che, L., 2021. Study on preparation and application of a multifunctional microspheric soil conditioner based on Arabic gum, gelatin, chitosan and β -cyclodextrin. *International Journal of Biological Macromolecules* 183, 1851–1860. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.205>
- Lopes, A.S., 1996. Soils under Cerrado: A Success Story in Soil Management. *Better Crops International* 10, 9–15.
- Lu, D., Dong, Y., Chen, X., Wang, H., Zhou, J., 2022. Comparison of potential potassium leaching associated with organic and inorganic potassium sources in different arable soils in China. *Pedosphere* 32, 330–338. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60077-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60077-2)
- Maciel, G.A., 2006. Diário Oficial da União-Seção 1 Secretaria de defesa agropecuária instrução normativa sda Nº 35, de 4 de julho de 2006 O secretário de defesa agropecuária, do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Brasília.
- Maciel, G.A., Barros, M.L.B., de Mello, D.R., 2006a. Instrução normativa conjunta nº 2, de 27 de setembro de 2006. Brasília.
- Maciel, G.A., de Mello, D.R., Barros, m.l.b., 2006b. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento secretaria de defesa agropecuária instrução normativa conjunta Nº 1, de 23 de janeiro de 2006 o secretário de defesa agropecuária do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento-mapa, o diretor-presidente da agência nacional de vigilância sanitária-ANVISA e o presidente do instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis-IBAMA. Brasília.
- Maciel, G.A., de Mello, D.R., Barros, M.L.B., 2006c. Instrução normativa conjunta Nº 03, de 10 de março de 2006 O secretário de defesa agropecuária do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento-mapa, o diretor presidente da agência nacional de vigilância sanitária-ANVISA e o presidente do instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis-IBAMA.

- Maciel, G.A., de Mello, D.R., Barros, M.L.B., 2005. Instrução normativa conjunta N° 32, de 26 de outubro de 2005.
- Maharjan, B., Das, S., Acharya, B.S., 2020. Soil Health Gap: A concept to establish a benchmark for soil health management. *Global Ecology and Conservation* 23. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01116>
- Mahmud, K., Missaoui, A., Lee, K., Ghimire, B., Presley, H.W., Makaju, S., 2021. Rhizosphere microbiome manipulation for sustainable crop production. *Current Plant Biology*. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2021.100210>
- Maia, F.C.V., Lima, S.O., Benício, L.P.F., de Freitas, G.A., Furlan, J.C., 2018. Qualidade física do solo após aplicação de lodo de esgoto. *Nativa* 6, 345. <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i4.5088>
- Maris, S.C., Capra, F., Ardeni, F., Chiodini, M.E., Boselli, R., Taskin, E., Puglisi, E., Bertora, C., Poggianella, L., Amaducci, S., Tabaglio, V., Fiorini, A., 2021. Reducing N Fertilization without Yield Penalties in Maize with a Commercially Available Seed Dressing. *Agronomy* 11, 407. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030407>
- Markets and Markets, n.d. Agricultural Biologicals Market by Function, Product Type (Microbials, Macrobials, Semiochemicals, Natural products), Mode of Application (Foliar Spray, Soil and Seed treatment), Crop Type and Region - Global Forecast to 2027 [WWW Document]. URL <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agricultural-biological-market-100393324.html> (acesso em 19/06/22).
- Martínez, I., Chervet, A., Weisskopf, P., Sturny, W.G., Etana, A., Stettler, M., Forkman, J., Keller, T., 2016. Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment: Part I. Crop yield, soil organic carbon and nutrient distribution in the soil profile. *Soil and Tillage Research* 163, 141–151. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.021>
- Matsuoka, M., Mendes, I.C., Loureiro, M.F., 2003. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27, 425–433.
- Mendes, I.C., de Sousa, D.M.G., Junior, F.B. dos R., Lopes, A.A. de C., 2018. Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. *Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo*.
- Meng, C., Tian, D., Zeng, H., Li, Z., Chen, H.Y.H., Niu, S., 2020. Global meta-analysis on the responses of soil extracellular enzyme activities to warming. *Science of the Total Environment* 705. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.135992>

- Nations, U., of Economic, D., Affairs, S., Division, P., 2019. World Population Prospects 2019 Highlights.
- Norris, C.E., Congreves, K.A., 2018. Alternative Management Practices Improve Soil Health Indices in Intensive Vegetable Cropping Systems: A Review. *Frontiers in Environmental Science* 6. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00050>
- Ou, Y., Ma, S., Zhou, X., Jin, S., Wang, L., Wang, X., Shi, J., Liu, C., Zhang, Y., Zhang, J., He, C., Xiao, Y., 2022. Multi-element Interactive Improvement Mechanism of Coal Fly Ash-Based Soil Conditioner on Wheat. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 194, 1580–1605. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03756-w>
- Parra, J.R.P., 2014. Biological Control in Brazil: an overview. *Scientia Agricola* 71, 420–429. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0167>
- Pereira, M.G., Loss, A., Batista, I., Melo, T.R. de, Silva Neto, E.C. da, Pinto, L.A. da S.R., 2021. Biogenic and physicogenic aggregates: formation pathways, assessment techniques, and influence on soil properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 45. <https://doi.org/10.36783/18069657RBCS20210108>
- Pervaiz, Z.H., Iqbal, J., Zhang, Q., Chen, D., Wei, H., Saleem, M., 2020. Continuous Cropping Alters Multiple Biotic and Abiotic Indicators of Soil Health. *Soil Systems* 4, 59. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040059>
- Pias, O.H.D.C., Tiecher, T., Cherubin, M.R., Silva, A.G.B., Bayer, C., 2020. Does gypsum increase crop grain yield on no- tilled acid soils? A meta- analysis. *Agronomy Journal* 112, 675–692. <https://doi.org/10.1002/agj2.20125>
- Poveda, J., 2021. Trichoderma as biocontrol agent against pests: New uses for a mycoparasite. *Biological Control* 159, 104634. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104634>
- Procópio, L., Barreto, C., 2021. The soil microbiomes of the Brazilian Cerrado. *Journal of Soils and Sediments* 21, 2327–2342. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-02936-9>
- Rada, N., 2013. Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle. *Food Policy* 38, 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.11.002>
- Raij, B. van, Andrade, J.C. de, Cantarella, H., Quaggio, J.A., 2001. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Instituto Agronômico, Campinas.
- Reichert, J.M., da Rosa, V.T., Vogelmann, E.S., da Rosa, D.P., Horn, R., Reinert, D.J., Sattler, A., Denardin, J.E., 2016. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. *Soil and Tillage Research* 158, 123–136. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2015.11.010>

- Reichert, J.M., Suzuki, L.E.A.S., Reinert, D.J., Horn, R., Håkansson, I., 2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil and Tillage Research* 102, 242–254. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>
- Reynolds, W.D., Bowman, B.T., Drury, C.F., Tan, C.S., Lu, X., 2002. Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters. *Geoderma* 110, 131–146. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00228-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00228-8)
- Rinot, O., Levy, G.J., Steinberger, Y., Svoray, T., Eshel, G., 2019. Soil health assessment: A critical review of current methodologies and a proposed new approach. *Science of The Total Environment* 648, 1484–1491. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.259>
- Rosolem, C.A., Sgariboldi, T., Garcia, R.A., Calonego, J.C., 2010. Potassium leaching as affected by soil texture and residual fertilization in tropical soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41, 1934–1943. <https://doi.org/10.1080/00103624.2010.495804>
- Sá, J.C. de M., Tivet, F., Lal, R., de Oliveira Ferreira, A., Briedis, C., Massao Inagaki, T., Potma Gonçalves, D., Romaniw, J., 2020. Carbon management practices and benefits in Conservation Agriculture systems: soil organic carbon fraction losses and restoration, in: Kassam, A. (Ed.), *Advances in Conservation Agriculture: Practice and Benefits*. burleigh dodds science publishing, Roma, pp. 229–266. <https://doi.org/10.19103/AS.2019.0049.15>
- Saath, K.C. de O., Fachinello, A.L., 2018. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural* 56, 195–212. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>
- Santos, H.G. dos, Jacomine, P.K.T., dos Anjos, L.H.C., de Oliveira, V.Á., Lumbreras, J.F., Coelho, M.R., de Almeida, J.A., Filho, J.C. de A., de Oliveira, J.B., Cunha, T.J.F., 2018. *Sistema brasileiro de classificação de solos*, 5th ed. Embrapa, Brasília, DF.
- Santos, R.S., Wiesmeier, M., Cherubin, M.R., Oliveira, D.M.S., Locatelli, J.L., Holzschuh, M., Cerri, C.E.P., 2021. Consequences of land-use change in Brazil's new agricultural frontier: A soil physical health assessment. *Geoderma* 400. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115149>
- Santos, R.S., Wiesmeier, M., Oliveira, D.M.S., Locatelli, J.L., Barreto, M.S.C., Demattê, J.A.M., Cerri, C.E.P., 2022. Conversion of Brazilian savannah to agricultural land affects quantity and quality of labile soil organic matter. *Geoderma* 406, 115509. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115509>

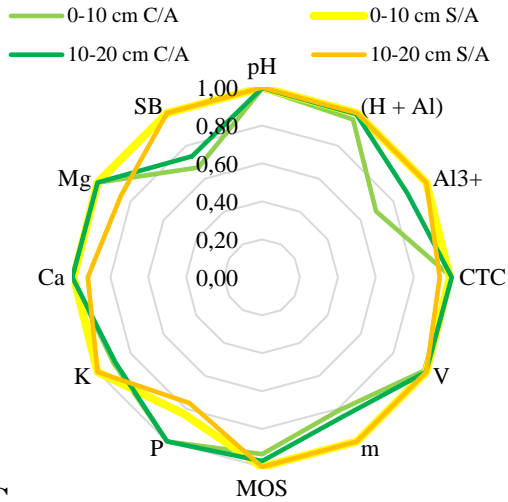
- SBCS/CQFS, 2016. Manual de Calagem e Adubação Para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, 11th ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul.
- Simon, C. da P., Gomes, T.F., Pessoa, T.N., Soltangheisi, A., Bieluczyk, W., Camargo, P.B. de, Martinelli, L.A., Cherubin, M.R., 2022. Soil quality literature in Brazil: A systematic review. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 46. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210103>
- Sojka, R.E., Upchurch, D.R., Borlaug, N.E., 2003. Quality soil management or soil quality management: performance versus semantics. *Advances in Agronomy* 79, 1–68. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)79001-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)79001-9)
- Sousa, D.M.G. de, Lobato, E., 2004. Cerrado: Correção do solo e adubação, 2nd ed. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF.
- Stone, L.F., Guimarães, C.M., Moreira, J.A.A., 2002. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 6, 207–212.
- Tabatabai, M.A., 1994. Chapter 37 Soil Enzymes.
- Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G., 2017. Manual de Métodos de Análise de Solo, 3rd ed. Embrapa Solos, Brasília, DF.
- Trabaquini, K., Galvão, L.S., Formaggio, A.R., de Aragão, L.E.O. e C., 2017. Soil, land use time, and sustainable intensification of agriculture in the Brazilian Cerrado region. *Environmental Monitoring and Assessment* 189, 70. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5787-8>
- Valbuena, D., Erenstein, O., Homann-Kee Tui, S., Abdoulaye, T., Claessens, L., Duncan, A.J., Gérard, B., Rufino, M.C., Teufel, N., van Rooyen, A., van Wijk, M.T., 2012. Conservation Agriculture in mixed crop–livestock systems: Scoping crop residue trade-offs in Sub-Saharan Africa and South Asia. *Field Crops Research* 132, 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.022>
- Vanlauwe, B., Descheemaeker, K., Giller, K.E., Huising, J., Merckx, R., Nziguheba, G., Wendt, J., Zingore, S., 2015. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation 1, 491–508. <https://doi.org/10.5194/soil-1-491-2015>
- Vogel, H., Balseiro-Romero, M., Kravchenko, A., Otten, W., Pot, V., Schlüter, S., Weller, U., Baveye, P.C., 2022. A holistic perspective on soil architecture is needed as a key to soil functions. *European Journal of Soil Science* 73. <https://doi.org/10.1111/ejss.13152>

- Werle, R., Arroyo Garcia, R., Antonio Rosolem, C., 2008. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo (1). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32, 2297–2305.
- Wulff, F., Schulz, V., Jungk, A., Claassen, N., 1998. Potassium fertilization on sandy soils in relation to soil test, crop yield and K- leaching. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 161, 591–599. <https://doi.org/10.1002/jpln.1998.3581610514>
- Xiong, Q., Hu, J., Wei, H., Zhang, H., Zhu, J., 2021. Relationship between plant roots, rhizosphere microorganisms, and nitrogen and its special focus on rice. *Agriculture (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030234>
- Yost, J.L., Hartemink, A.E., 2019. Effects of carbon on moisture storage in soils of the Wisconsin Central Sands, USA. *European Journal of Soil Science* 70, 565–577. <https://doi.org/10.1111/ejss.12776>
- Zhuang, X., Zhao, J.-L., Bai, M., Ping, X.-X., Li, Y.-L., Yang, Y.-H., Mao, Z.-C., Yang, G.-S., Xie, B.-Y., 2021. *Pochonia chlamydosporia* Isolate PC-170-Induced Expression of Marker Genes for Defense Pathways in Tomatoes Challenged by Different Pathogens. *Microorganisms* 9, 1882. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091882>

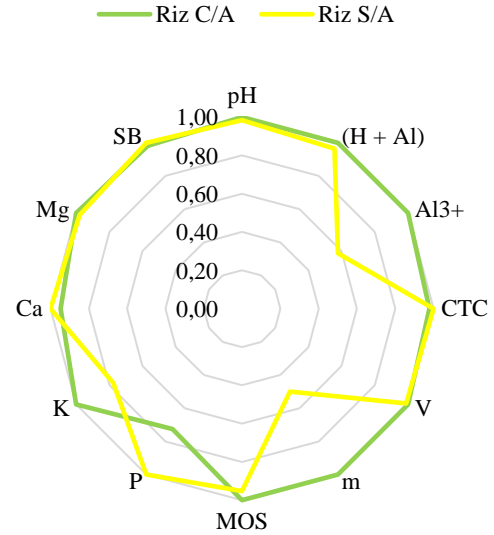
APÊNDICES

Apêndice A. Médias das análises dos atributos químicos por região.

A Região Sul

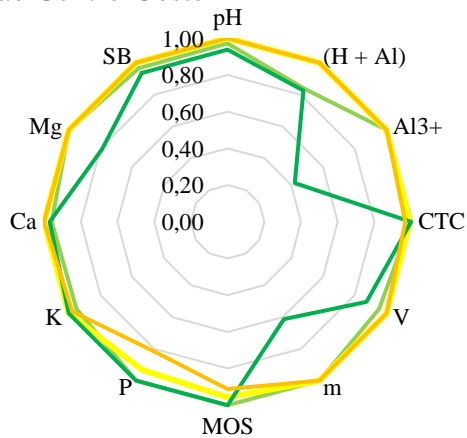


B

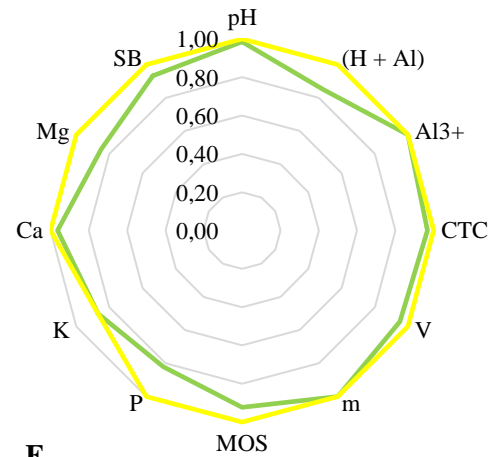


C

Região Centro-Oeste

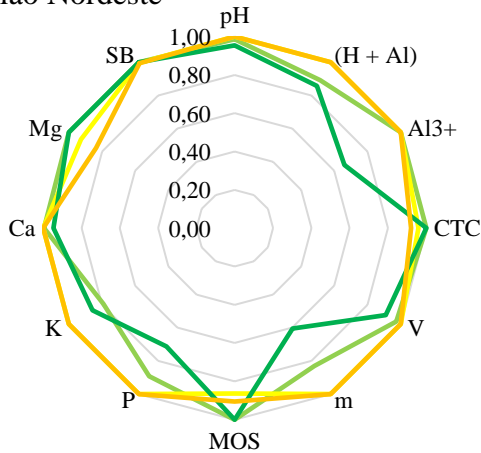


D

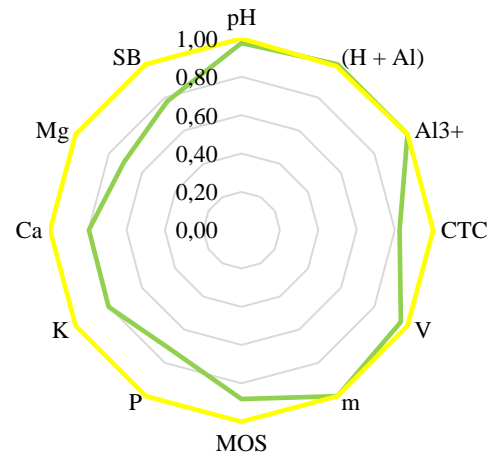


E

Região Nordeste

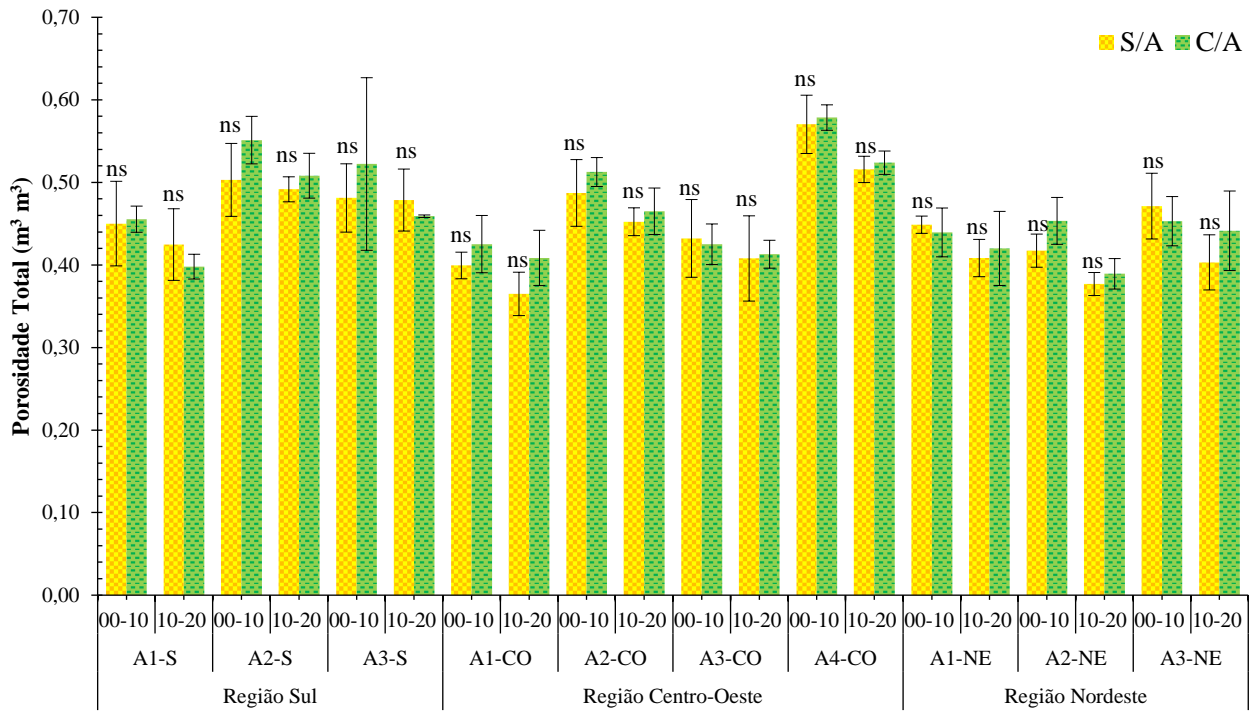


F



*Médias das análises dos atributos químicos por região, nas camadas de 0-10 e 10-20cm (A, C e E) e no solo rizosférico (B, D e F), sendo Sul (A e B), Centro-Oeste (C e D) e Nordeste (E e F).

Apêndice B. Porosidade Total por região, área, profundidade e tratamento.



*Valores médios de Porosidade total, nas áreas da região Sul, Centro-Oeste e Nordeste. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, dentro de cada área para cada profundidade entre os tratamentos pelo teste de T ($p > 0,05$), ^{ns} não significativo.