

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

**Contribuição das minhocas nos agregados do solo sob
diferentes sistemas de cultivo de cana de açúcar**

Bianca Ferraz Caneppele

Trabalho de conclusão de curso apresentado
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrônômica

**Piracicaba
2023**

Bianca Ferraz Caneppele

**Contribuição das minhocas nos agregados do solo sob diferentes
sistemas de cultivo de cana de açúcar**

Orientador:
Prof. Dr. **MIGUEL COOPER**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrônômica

**Piracicaba
2023**

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus avôs, as minhas avós e
aos meus pais, que sempre me deram todo
o apoio, incentivo e inspiração na minha vida,
me ajudaram a construir a pessoa e
profissional que eu sou hoje!

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Taciana e Leonardo, por todo o apoio, suporte, incentivo e por serem grandes inspirações na minha vida. Além disso, eles sempre apoiaram os meus sonhos e me fizeram voar em busca deles. Em especial à minha mãe, pelo auxílio no desenvolvimento deste estudo.

Agradeço ao meu irmão, Heitor, que sempre esteve ao meu lado. À minha tia, Maristela, que foi com quem eu tive o meu primeiro contato “agrícola”. À minha tia Simone, que me ensinou que há sempre um motivo para sorrir. Ao meu avô José Lúcio e meu avô Lori, que hoje estão vendo lá de cima as minhas conquistas. À minha avó Walderez e minha avó Julieta, que são duas inspirações de grandes e fortes mulheres.

Agradeço a família Schnaube, minha família alemã, que me recebeu de braços abertos nesse país que hoje chamo de casa. A Ana Carolina, hoje minha comadre, além de ser uma grande amiga para todos os momentos e quem eu chamo de irmã na Alemanha. A minha amiga Camila, que as dificuldades de morar na Alemanha nos uniu.

Ao meu companheiro, Giovanni, pelo suporte emocional e pelo companherismo, especialmente no momento de escrever este estudo.

Aos meus amigos de graduação, Pedro, Luan, Julia e Maria Clara, com quem eu compartilhei muitos momentos durante esses 5 anos. Que estavam comigo para estudar e festejar. Às minhas amigas da República Bangalô que me acolheram quando cheguei na ESALQ. À AAALQ, pelas experiências proporcionadas e aprendizados adquiridos.

À todos os professores com quem tive o privilégio de aprender, sem eles eu não estaria aqui, meu muito obrigada pela dedicação em ensinar e formar novos profissionais. Em especial ao professor Miguel Cooper pela orientação e acolhimento desde o meu segundo ano de graduação, um padrinho científico para mim. À professora Renata Bovi, que foi uma grande madrinha científica na minha trajetória. À doutoranda Aline Fachin Martini, por compor a banca avaliadora e auxiliar neste processo de minha formação. À Florencia Vaquero, pesquisadora que coletou os dados utilizados neste estudo.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, por toda estrutura em formar novos profissionais. À Universidade de Hohenheim, por ter proporcionado uma experiência incrível de intercâmbio. À estas duas instituições de excelência, por viabilizar a minha formação em engenharia agrônoma.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1 ÁREA DE ESTUDO E SISTEMAS DE MANEJO	14
2.2 COLETA DAS AMOSTRAS E ANÁLISES LABORATORIAIS	16
3 RESULTADOS.....	18
4 DISCUSSÃO	26

RESUMO

Contribuição das minhocas nos agregados do solo sob diferentes sistemas de cultivo de cana de açúcar

O Brasil é o maior produtor de cana de açúcar do mundo, sendo o estado de São Paulo a principal região produtora. Historicamente, os produtores faziam uso da prática da queima da cana na pré colheita com o intuito de facilitar a atividade. No entanto, é uma prática problemática por emitir gases poluentes, apresentar riscos à saúde humana e impactar o ambiente, especialmente o solo. O objetivo deste estudo foi avaliar a contribuição das minhocas nos agregados do solo sob diferentes sistemas de manejo no cultivo de cana de açúcar. Para isso foram analisadas três áreas: área nativa sem impacto humano (NA), utilizada como controle; área sob o cultivo de cana de açúcar sem a prática da queima (CSQ) e área sob o cultivo de cana de açúcar com a prática da queima (CCQ). Foi analisado o número e peso dos agregados biogênicos, número de minhocas encontradas, estabilidade dos agregados e teor de matéria orgânica particulada e humificada. O número e peso dos agregados biogênicos foi maior em NA, seguida de CSQ e o valor encontrado em CCQ foi inexpressivo. Por essa razão, não foi possível realizar as outras análises para CCQ. A estabilidade dos agregados encontrada em NA foi maior do que em CSQ porém somente os valores do diâmetro médio ponderado dos agregados circundantes apresentaram diferença significativa. Os dados encontrados para matéria orgânica indicam que CSQ mesmo sob condições de agricultura possui aporte de matéria orgânica similar ao NA. Os resultados apontam que a atividade das minhocas observada pela presença de agregados biogênicos é importante para manter a estabilidade dos agregados e conteúdo de matéria orgânica no solo. E o tratamento de CSQ obteve sucesso em preservar a atividade das minhocas e, conseqüentemente, a existência de agregados biogênicos.

Palavras-chave: 1. Cana de açúcar 2. Minhoca 3. Qualidade do solo 4. Queima da cana de açúcar

ABSTRACT

Earthworm contribution to soil aggregates under different sugarcane cultivation systems

Brazil is the biggest producer of sugarcane in the world, with the state of São Paulo being the main producing region. Historically, producers used the practice of burning the sugarcane before harvesting in order to facilitate the activity. However, this practice is problematic because it emits pollutant gases, shows risks to human health, and impacts the environment, especially the soil. The aim of this study was to evaluate the contribution of earthworms to soil aggregates under different management systems in sugarcane cultivation. For this, three areas were analyzed: native area without human impact (NA), as control treatment; area under sugarcane cultivation without the practice of burning (CSQ) and area under sugarcane cultivation with the practice of burning (CCQ). The number and weight of earthworm aggregates, number of earthworms, aggregate stability, and particulate and humified organic matter content were analyzed. The number and weight of earthworm aggregates was higher in NA, followed by CSQ and the value found in CCQ was inexpressive. For this reason, it was not possible to perform the other analyses for CCQ. The stability of the aggregates found in NA was higher than in CSQ but only the mean weight diameter values of the surrounding aggregates showed significant difference. The data found for organic matter indicate that CSQ even under agricultural conditions has similar organic matter input as NA. The results indicate that the earthworm activity, observed by the presence of earthworm aggregates is important for maintaining aggregate stability and organic matter content in the soil. The CSQ treatment was successful in preserving earthworm activity and, consequently, the existence of earthworm aggregates.

Keywords: 1. Sugarcane 2. Earthworm 3. Soil quality 4. Sugarcane burning

1 INTRODUÇÃO

O solo é a camada superior da crosta da Terra e é responsável por suportar toda a vida terrestre. Tem uma forte interação com a biosfera e a hidrosfera, sendo um recurso finito, essencialmente não renovável e susceptível a perturbações drásticas. Apesar de ter certa resiliência, é propenso a degradação e diminuição da sua qualidade devido ao uso indevido e manejo agrícola inadequado (LAL; SHUKLA, 2004).

Sendo assim, é um recurso limitante para a produção agrícola, a soberania alimentar e a manutenção da maioria dos processos da vida (JIMÉNEZ *et al.*, 2003). As minhocas participam ativamente dos processos edáficos, por terem uma grande influência sobre a estrutura do solo e na decomposição da matéria orgânica (JIMÉNEZ *et al.*, 2003). A atividade das minhocas pode aumentar os agregados estáveis em água e ter um impacto na dinâmica da matéria orgânica do solo (AL-MALIKI; SCULLION, 2013). As características do solo tanto determinam a atividade das minhocas como são resultados desta. Elas têm um papel importante na estruturação do solo e ciclagem de nutrientes (LAVELLE, 1988). Por isso, pode-se relacionar a qualidade do solo, em grande medida, com a atividade das minhocas (JIMÉNEZ *et al.*, 2003).

O manejo agrícola interfere no ambiente edáfico, impactando os organismos presentes no solo e, portanto, os processos em que estão envolvidos também são afetados. Em geral, o manejo pode provocar alterações na compactação, temperatura, umidade e no conteúdo e disponibilidade de matéria orgânica, entre outros. Práticas agrícolas, como preparo do solo ou aplicação de agrotóxicos, podem reduzir o número de minhocas no solo (BOSSUYT *et al.*, 2004).

A cana de açúcar foi introduzida no Brasil em 1532 e por causa de fatores edafoclimáticos favoráveis para a cultura o país se tornou um local de excelência de produção (DE MATOS *et al.*, 2020). Em 2021, a área colhida de cana de açúcar no mundo era de aproximadamente 26,3 milhões de ha e uma produção de 1,9 bilhões de toneladas (FAOSTAT, 2021) O Brasil é o maior produtor do mundo detendo cerca de 38% da produção mundial, seguido da Índia na segunda posição e a China em terceiro lugar. O estado de São Paulo, onde se situa o local de estudo, é o maior

produtor com 405 milhões de toneladas produzidas em 5,5 milhões de ha (IBGE, 2021).

A indústria da cana de açúcar no Brasil pode ser considerada um exemplo de produção sustentável de energia devido a biomassa e por contribuir com a redução da liberação de CO₂ em razão da substituição da gasolina por etanol e de óleo combustível por bagaço (RONQUIM, 2010). No entanto, existiam ressalvas quanto a sua produção, já que a prática da queima da cana de açúcar emite diferentes gases poluentes da atmosfera (EL CHAMI *et al.*, 2020). Essa prática era realizada antes do corte manual da cana com o intuito de aumentar o rendimento do corte, a segurança do trabalhador e a eliminação de impurezas (RONQUIM, 2010).

A queima da cana de açúcar na pré colheita era frequentemente utilizada. Essa prática trazia vários prejuízos como a destruição da matéria orgânica do solo, poluição, exposição do solo a erosão e impactos aos microrganismos (SOUZA *et al.*, 2012). Além disso, existia também um risco a saúde humana, da população entorno dos canaviais, especialmente às crianças, idosos e asmáticos, que apresentavam uma maior demanda ao atendimento dos serviços de saúde (RIBEIRO, 2008 e CRISTALE *et al.*, 2012) o que sugeria que a queima da cana de açúcar representava um risco a saúde pública nas cidades afetadas pela queima.

Diversos estudos foram feitos com o intuito de comprovar os danos causados pela queima da pré colheita da cana, como o estudo de WIEDENFELD (2009) que demonstrou que a porcentagem de matéria orgânica presente no cultivo de cana com queima caía ao longo do ciclo em comparação com o cultivo de cana sem queima. A perda de solo por erosão foi 49% maior no cultivo de cana com queima quando comparado ao cultivo sem queima (THOMAZ *et al.*, 2022). O estudo de CHUNGOPAST *et al.* (2023) mostra uma diferença significativa no número de bactérias, actinomicetos e fungos no solo, em que o número desses organismos é superior na área de cultivo de cana sem queima.

Com a colheita mecanizada, as folhas secas e verdes e ponteiros são cortadas e deixadas na superfície do solo. Estima-se que uma espessura de 10 a 12 cm de matéria seca é deixada no campo, variando em torno de 8 – 10 t/ha por ano (RONQUIM, 2010). Um estudo realizado por GALDOS *et al.*, (2009) mostrou que o carbono total do solo de uma área de cultivo sem queima da cana no período de 8 anos é 30% maior que da área de cultivo com queima. Além disso, a presença da

palha ajuda no controle de plantas invasoras por inibir o seu crescimento, resultando em uma redução significativa do uso de herbicidas (RONQUIM, 2010).

Devido a todas as questões ambientais e econômicas que circundam essa prática, ações foram tomadas para mitigar a queima da pré colheita da cana. Em 2002, no estado de São Paulo, foi implementada a lei nº 11.241/2002 que tem o objetivo de gradualmente abolir a prática até 2031. A lei distingue as áreas mecanizáveis das não mecanizáveis, sendo que as lavouras com menos de 150 ha e/ ou com declividade do terreno superior a 12% consideradas não mecanizáveis. Estabeleceu-se assim dois calendários para a proibição, o das áreas mecanizáveis que teve fim em 2021 e o das áreas não mecanizáveis que terá fim em 2031 (SÃO PAULO, 2002).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a contribuição das minhocas nos agregados solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola de cana de açúcar. Para isso, foram quantificadas as minhocas, separados os tipos de agregados e medida a estabilidade dos agregados e conteúdo de matéria orgânica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e sistemas de manejo

A área de estudo está localizada na cidade de Piracicaba, São Paulo, Brasil. O clima regional é classificado como subtropical úmido (Cwa segundo a classificação de Köppen), com inverno seco e verão quente (ALVARES *et al.*, 2013). A precipitação média anual é de 1275 mm e a temperatura média anual é de 22 °C. Os solos da área de estudo foram classificados como Latossolo Vermelho.

O estudo foi desenvolvido em três áreas, com diferentes sistemas de manejo (Tabela 1), que compreendem:

- 1) Área Natural (NA): floresta natural que não recebeu impacto humano por pelo menos 100 anos, utilizada como área controle;
- 2) Cultivo de cana de açúcar sem queima (CSQ): área cultivada com cana de açúcar por períodos de 4 anos. Nessa área, a superfície do solo permanece com cobertura de palhada ao longo do ano todo e não é realizada a queima para a colheita. A colheita é realizada mecanicamente e há a reposição da palhada na superfície. Após a finalização do ciclo de quatro anos da cana de açúcar, é realizado o plantio de uma cultura de cobertura, por um ano até a próxima implantação. O manejo descrito é feito há 15 anos;
- 3) Cultivo de cana de açúcar com queima (CCQ): cultivo de cana de açúcar por períodos de 4 anos. Nessa área, a superfície do solo permanece sem cobertura de palhada em boa do ano e é realizada a queima para a colheita. A colheita é realizada manualmente e não há a reposição da palhada na superfície. Não há o plantio de uma cultura de cobertura após o ciclo da cana de açúcar. O manejo descrito é feito há 15 anos.

A Tabela 1 descreve as características das áreas estudadas. A Figura 1 ilustra as áreas estudadas.

Tabela 1 – Descrição e características dos tratamentos

Sistema de manejo	Descrição do manejo				Histórico do manejo	
	Cultura/ rotação	Manejo	Colheita	Fertilização	Uso histórico	No momento da coleta (2013)
NA	Vegetação nativa	-	-	-	-	Mata nativa
CSQ	4 anos de cultivo de cana de açúcar + 1 ano de cultivo de cobertura	Conservação dos resíduos para cobertura	Colheita mecanizada	Vinhaça: resíduo da destilação do etanol – fonte de potássio Torta de filtro: resíduo da filtragem do caldo – fonte de fósforo	15 anos de cultivo sem queima e colheita mecanizada	Cana de açúcar, segundo ano do ciclo
CCQ	4 anos de cultivo de cana de açúcar + 1 ano sem cultivo e sem cobertura	Sem conservação dos resíduos	Colheita manual após a queima	Fertilizantes minerais	20 anos de cultivo com queima e colheita manual	Cana de açúcar, segundo ano do ciclo

Figura 1 – Locais do estudo e amostras coletadas



2.2 Coleta das amostras e análises laboratoriais

Em cada sistema foram coletadas cinco amostras de solo (repetições) de cada profundidade (0-10, 10-20 e 20-30 cm). As amostras foram coletadas em blocos de 25x25 cm por 10 cm de profundidade, colocadas em bandejas de alumínio e fixadas no campo com filme de nylon para que pudessem ser transportadas cuidadosamente ao laboratório. Todas as amostras foram coletadas no período entre setembro e outubro de 2013.

A granulometria das amostras foi determinada assim como descrito por CASTILHO (2014), pelo método do densímetro, adaptado de GEE; OR (2002). Foram colocados 40 gramas de solo seco ao ar em um frasco com 250 ml de solução de hidróxido e hexametáfosfato de sódio. O frasco foi levado a mesa agitadora por 16h. A areia foi separada da solução com o auxílio de uma peneira de abertura 0,053 mm e a solução restante, contendo silte e argila, foi transferida para provetas de 1000 ml, que foram preenchidas com água até sua capacidade máxima. Após 24 horas, o conteúdo de argila foi medido com um densímetro. A quantidade de silte presente foi obtida por diferença do peso da areia e da argila.

No laboratório foi realizada a separação dos agregados biogênicos e dos agregados circundantes. Sendo os agregados biogênicos aqueles exclusivamente formados por minhocas, eles geralmente são arredondados e tem cor mais escura que os demais. Já os agregados circundantes são aqueles formados por qualquer outro processo de agregação do solo. Foi então, determinada a massa e a quantidade de agregados biogênicos encontrados em cada amostra. Essa análise foi feita manualmente, cada amostra de solo foi examinada e cuidadosamente desagregada em menores agregados. Esses agregados então foram classificados entre biogênicos e agregados do solo circundante. Esse método utiliza da descrição de agregados biogênicos proposta por VELASQUEZ *et al* (2007). Durante esse processo também foram contadas as minhocas presentes em cada amostra.

Um problema encontrado durante a análise foi que as amostras não tinham exatamente o mesmo volume. Por isso, todas as amostras que tinham volume inferior

a 6250 cm³ (25x25x10 cm) foram medidas e calculado o seu volume real. Os valores de número e peso de agregados biogênicos utilizados no estudo são valores relativizados para um volume de 6250 cm³, para que fosse possível realizar comparações.

Para a determinação da porcentagem de matéria orgânica e estabilidade dos agregados não havia volume suficiente de agregados biogênicos das amostras para o sistema de CCQ então essas análises não foram realizadas.

Foi realizada a análise de diferentes frações da matéria orgânica: Matéria orgânica particulada (MOP), que compreende o material vegetal e animal em diferentes fases de transformação, e matéria orgânica humificada (MOH), que é o material humificado, a fração mais estável. A determinação do conteúdo de MOP e MOH foi realizado através do fracionamento granulométrico por peneiramento úmido obtendo uma fração fina (0-53µm) e uma grossa (53-200µm) (GALANTINI, 2005). Em seguida, a matéria orgânica do solo de cada fração, foi encontrada por combustão seca (1500°C). Esse processo foi realizado tanto para os agregados biogênicos quanto os circundantes de cada amostra. Vale ressaltar que devido ao pequeno volume de amostras coletado, foram feitas menos repetições da análise.

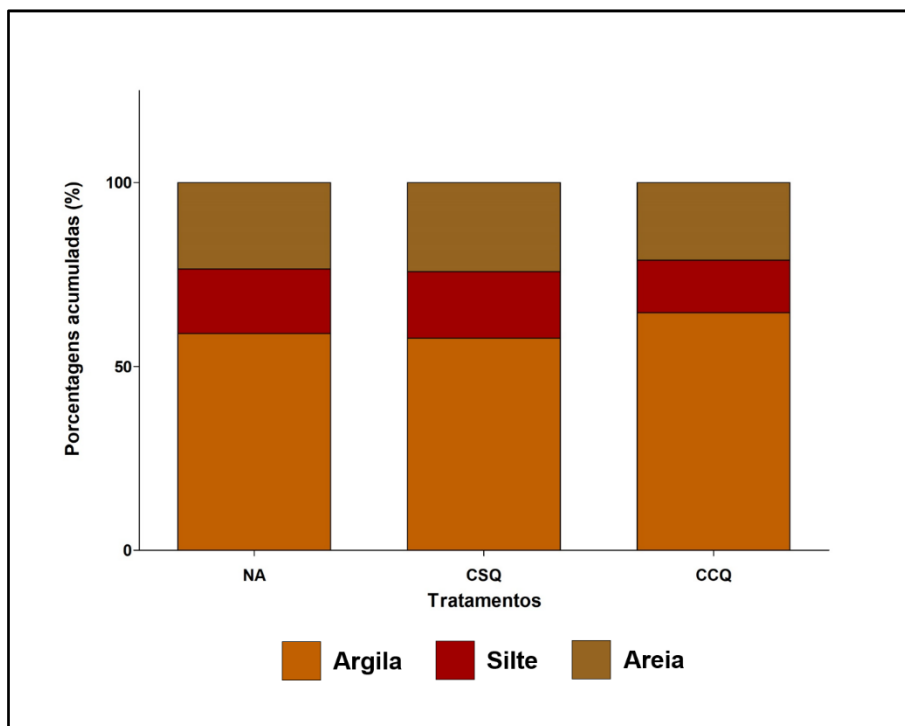
Afim de determinar a estabilidade dos agregados em água, se utilizou o método de PLA (1983). Foram considerados os intervalos de tamanho de 4 – 2, 2 – 1, 1 – 0,5, 0,5 – 0,1 e 0,1 – 0,074 mm. A partir dos dados coletados foi realizado o cálculo do diâmetro médio ponderado. Para esse índice foi analisado somente a camada superior do solo (0-10 cm) devido ao volume de amostras.

Na análise estatística, o teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar a normalidade dos dados. Como nenhum dos dados apresentou normalidade foram aplicados os testes Mann-Whitney e Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$).

3 RESULTADOS

As análises de granulometria dos solos mostraram que os três possuem uma composição textural similar (Figura 2 e Tabela 2). Sendo classificados como solos argilosos.

Figura 2 – Proporções granulométricas por tratamento



Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 2 – Proporções granulométricas por tamanho

Média das granulometrias			
Tratamento	% Argila	% Silte	% Areia
NA (0-30)	58,9	17,6	23,5
CSQ (0-30)	57,7	18,1	24,2
CCQ (0-30)	64,6	14,3	21,1

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 3 – Número de minhocas encontradas por tratamento por profundidade

Tratamento	Número de minhocas	
	Profundidade	Número de indivíduos
NA	0 – 10	0
	10 – 20	0
	20 – 30	0
CSQ	0 – 10	8
	10 – 20	2
	20 – 30	22
CCQ	0 – 10	0
	10 – 20	0
	20 – 30	0

Fonte: Elaborada pelo autor

A Tabela 3 mostra o número de minhocas encontradas por tratamento por profundidade. As minhocas foram encontradas somente em CSQ. O número de indivíduos exibido na tabela 3 é a soma dos indivíduos encontrados em cada repetição do tratamento, com 8 indivíduos na camada 0-10, 2 indivíduos em 10-20 e 22 indivíduos em 20-30, totalizando 32 indivíduos encontrados em CSQ.

Tanto para o peso dos agregados biogênicos (Tabela 4), quanto o número de agregados biogênicos (Tabela 5) quando comparado todas as camadas juntas, como se fosse um bloco de 0-30, foi encontrada diferença significativa entre NA e CCQ e entre CSQ e CCQ. Não foi encontrada diferença significativa entre NA e CSQ, a figura 2 demonstra a tendência, apesar de que houve um aumento de cerca de 128% na mediana do número de agregados biogênicos e de 78% na mediana do peso dos agregados biogênicos em NA em relação à CSQ.

Tabela 4 – Mediana, 1º quartil e 3º quartil do peso dos agregados biogênicos por tratamento

Tratamento	Peso dos agregados biogênicos (g)		
	Mediana	1º quartil	3º quartil
NA (0-30)	24,31 a*	14,23	45,8
CSQ (0-30)	13,62 a	3,55	19,28
CCQ (0-30)	0 b	0	1,24

Legenda: (*) diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor

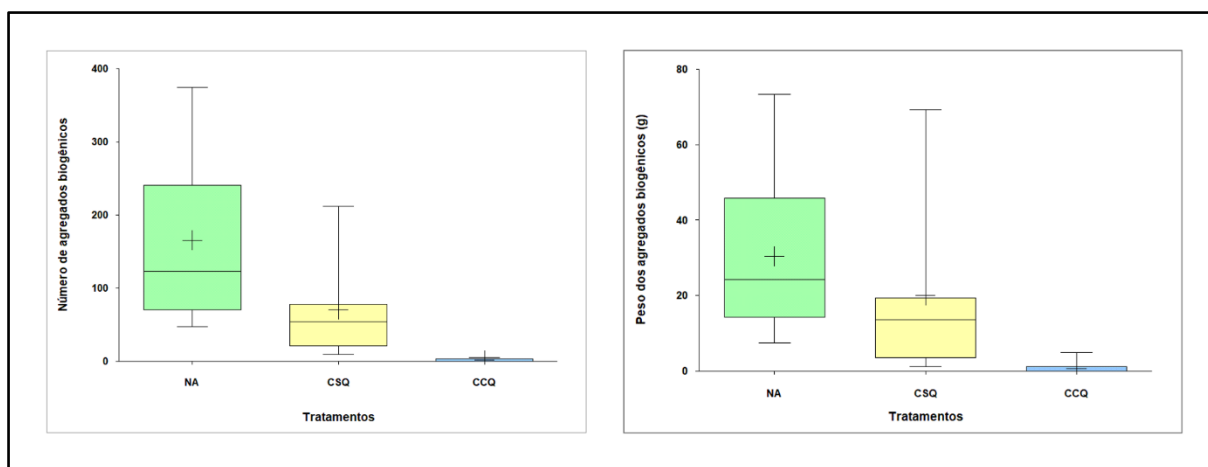
Tabela 5 – Mediana, 1º quartil e 3º quartil do número dos agregados biogênicos por tratamento

Número de agregados biogênicos			
Tratamento	Mediana	1º quartil	3º quartil
NA (0-30)	123 a*	70	241
CSQ (0-30)	54 a	21	78
CCQ (0-30)	0 b	0	3

Legenda: (*) diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 3 – Peso e número dos agregados biogênicos por tratamento



Fonte: Elaborada pelo autor

Quando comparado as diferentes camadas do solo, o resultado foi diferente. Para o número de agregados biogênicos (Tabela 6), houve diferença significativa somente nas camadas 0-10 e 20-30 de NA em relação à todas camadas de CCQ. Já para o peso dos agregados biogênicos (Tabela 7), foi encontrada diferença significativa apenas na camada de 20-30 de NA em relação à todas as camadas de CCQ.

Tabela 6 - Mediana, 1º quartil e 3º quartil do número dos agregados biogênicos por tratamento por profundidade

Número de agregados biogênicos				
Tratamento	Profundidade	Mediana	1º quartil	3º quartil
NA	0 – 10	214 a*	69,5	241,5
	10 – 20	109 ab	68	174
	20 – 30	188 a	67,5	365,5
CSQ	0 – 10	168 ac	32,5	192,5
	10 – 20	57 ac	46,5	77,5
	20 – 30	21 ac	13,5	39
CCQ	0 – 10	0 bc	0	2,5
	10 – 20	0 bc	0	2
	20 – 30	0 bc	0	4

Legenda: (*) letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes ($p < 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor

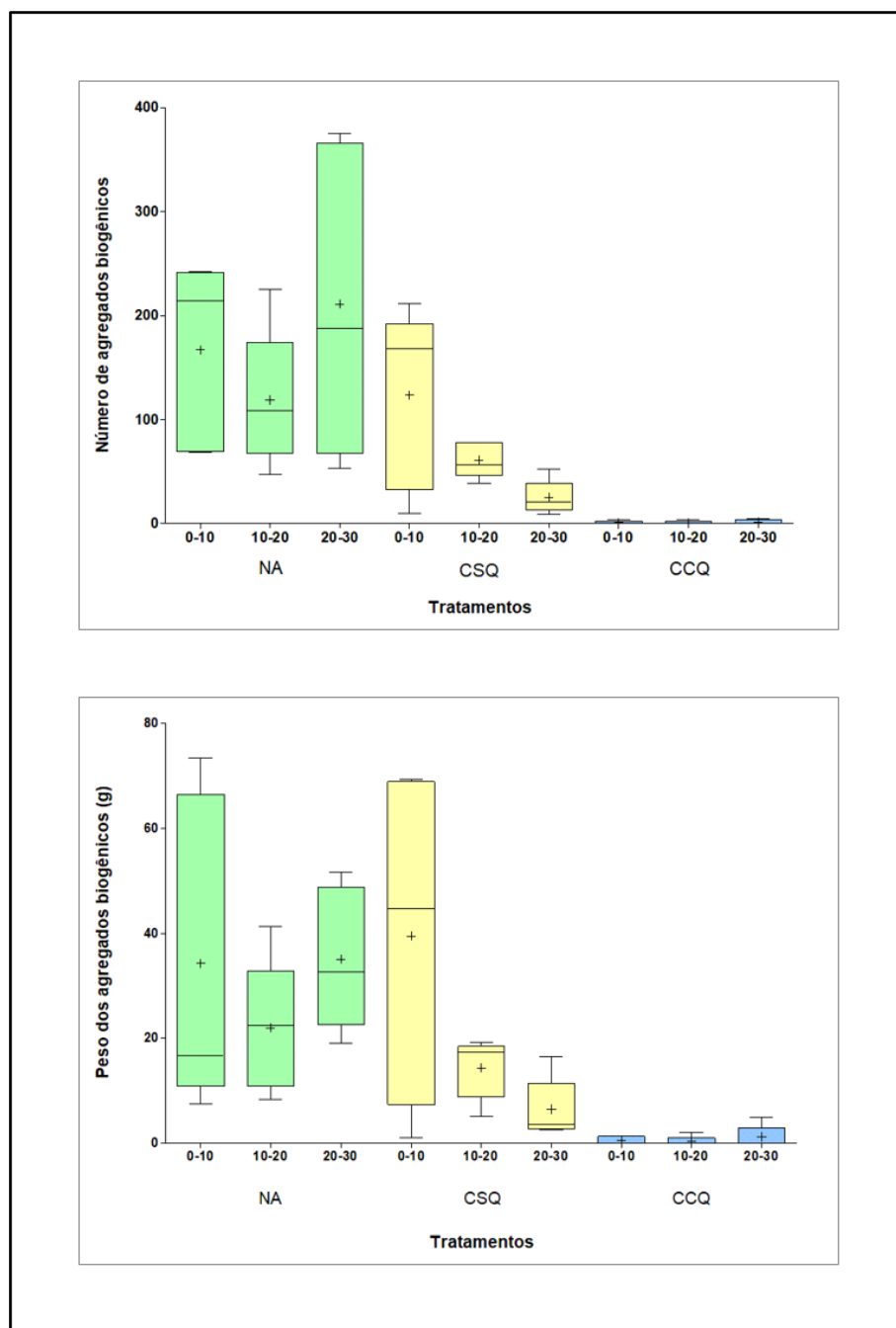
Tabela 7 – Mediana, 1º quartil e 3º quartil do peso dos agregados biogênicos por tratamento

Peso dos agregados biogênicos (g)				
Tratamento	Profundidade	Mediana	1º quartil	3º quartil
NA	0 – 10	16,68 ab*	10,84	66,47
	10 – 20	22,49 ab	10,82	32,80
	20 – 30	32,64 a	22,68	48,68
CSQ	0 – 10	44,75 ab	7,36	68,92
	10 – 20	17,25 ab	8,82	18,45
	20 – 30	3,55 ab	2,72	11,48
CCQ	0 – 10	0 b	0	1,32
	10 – 20	0 b	0	1,03
	20 – 30	0 b	0	2,84

Legenda: (*) letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes ($p < 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 4 – Peso e número dos agregados biogênicos por tratamento e profundidade



Fonte: Elaborada pelo autor

Em relação à estabilidade dos agregados, foi analisada somente a camada superior do solo (0-10). Foi encontrada diferença estatística significativa somente no diâmetro médio ponderado (Tabela 8) dos agregados circundantes em que eles são maiores em NA. Nota-se que, apesar de não haver diferença significativa para os

outros dados, foram encontrados valores sempre superiores de mediana em NA do que em CSQ.

Tabela 8 – Mediana, 1º quartil e 3º quartil do diâmetro médio ponderado por tratamento para diferentes agregados

Tratamento	Diâmetro Médio Ponderado (mm)					
	Agregado biogênico			Agregado circundante		
	Mediana	1º quartil	3º quartil	Mediana	1º quartil	3º quartil
NA (0-10)	1,53 a*	1,16	2,01	2,23 A**	2,08	2,41
CSQ (0-10)	1,30 a	1,15	1,67	1,47 B	1,00	1,70

Legenda: (*) letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes para os agregados biogênicos ($p < 0,05$), (**) letras maiúsculas diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes para os agregados circundantes ($p < 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor

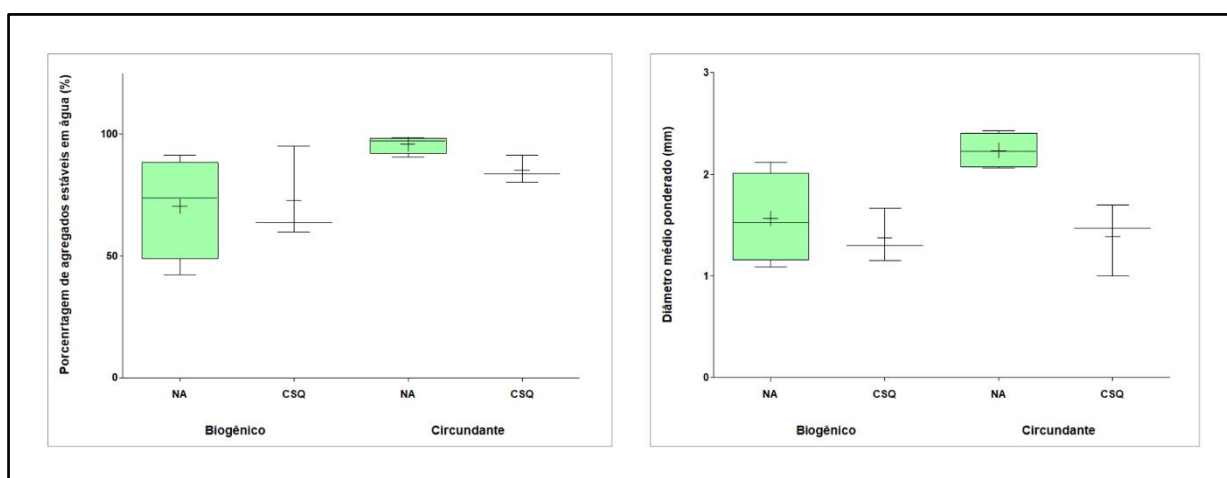
Tabela 9 – Mediana, 1º quartil e 3º quartil da porcentagem de agregados estáveis em água por tratamento para diferentes agregados

Tratamento	Porcentagem de agregados estáveis em água (%)					
	Agregado biogênico			Agregado circundante		
	Mediana	1º quartil	3º quartil	Mediana	1º quartil	3º quartil
NA (0-10)	73,85 a*	48,93	88,35	97,19 A**	92,09	98,28
CSQ (0-10)	63,80 a	59,88	95,04	83,80 A	80,34	91,46

Legenda: (*) letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes para os agregados biogênicos ($p < 0,05$), (**) letras maiúsculas diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes para os agregados circundantes ($p < 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 5 – Diâmetro médio ponderado e porcentagem de agregados estáveis por tratamento para diferentes agregados



Fonte: Elaborada pelo autor

Para os dados de matéria orgânica particulada não foi encontrada diferença significativa para nenhuma das comparações (Tabela 10). Em NA pode se observar uma tendência de maior porcentagem de MOP em CIR do que em BIO (Figura 6), enquanto o contrário ocorre em CSQ.

Já para a porcentagem de matéria orgânica humificada (Tabela 11), foi encontrado diferença significativa entre agregados biogênicos e circundantes em NA, o mesmo não ocorreu em CSQ. Entre os tratamentos não foi encontrada nenhuma diferença significativa. Foi realizada a estatística agrupando os tratamentos para só comparar a porcentagem de matéria orgânica entre os tipos de agregados. Foi encontrada diferença significativa entre agregados biogênicos e circundantes para a matéria orgânica humificada. Sendo assim, a porcentagem de MOH foi sempre superior nos agregados biogênicos.

Tabela 10 – Mediana, 1º quartil e 3º quartil da porcentagem de matéria orgânica particulada por tratamento para diferentes agregados

Tratamento	Porcentagem de matéria orgânica particulada (%)					
	Agregado biogênico			Agregado circundante		
	Mediana	1º quartil	3º quartil	Mediana	1º quartil	3º quartil
NA (0-30)	2,19 a*	1,66	3,35	3,15 a	2,71	3,79
CSQ (0-30)	2,55 a	2,19	5,20	2,37 a	1,92	3,51
NA + CSQ	2,37 A**	1,87	3,83	3,01 A	2,33	3,65

Legenda: (*) letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes para os tratamentos separadamente ($p < 0,05$), (**) letras maiúsculas diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes para os tratamentos combinados ($p < 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor

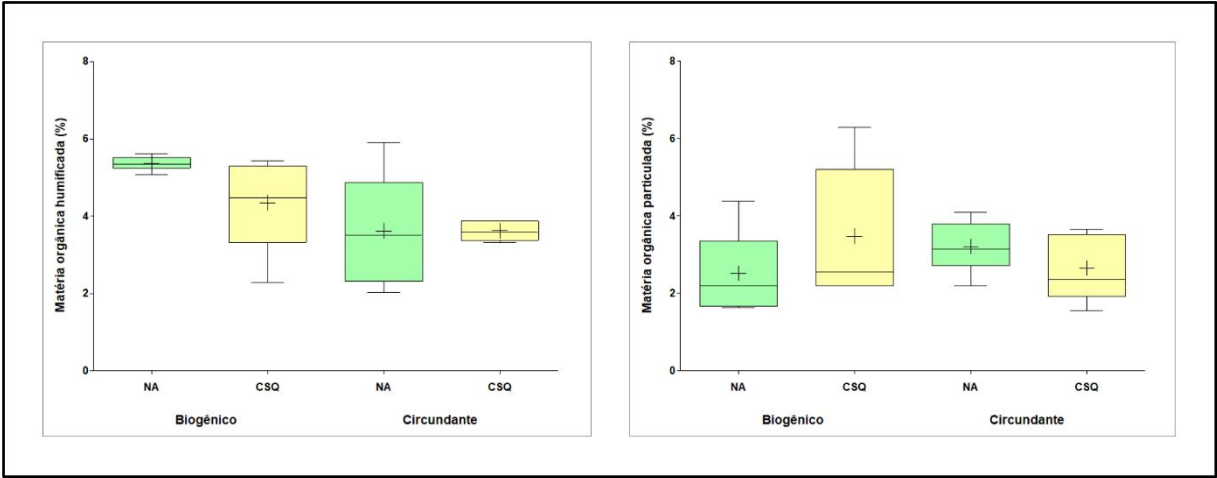
Tabela 11 – Mediana, 1º quartil e 3º quartil da porcentagem de matéria orgânica humificada por tratamento para diferentes agregados

Tratamento	Porcentagem de matéria orgânica humificada (%)					
	Agregado biogênico			Agregado circundante		
	Mediana	1º quartil	3º quartil	Mediana	1º quartil	3º quartil
NA (0-30)	5,34 a*	5,25	5,52	3,51 b	2,31	4,88
CSQ (0-30)	4,47 ac	3,33	5,30	3,60 bc	3,38	3,88
NA + CSQ	3,15 A**	4,78	5,48	2,16 B	2,91	3,93

Legenda: (*) letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes para os tratamentos separadamente ($p < 0,05$), (**) letras maiúsculas diferentes indicam diferenças estatisticamente significantes para os tratamentos combinados ($p < 0,05$)

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 6 – Porcentagem de matéria orgânica particulada e humificada por tratamento para diferentes agregados



Fonte: Elaborada pelo autor

4 DISCUSSÃO

A existência de agregados biogênicos pode demonstrar a presença e dinâmica temporal e espacial das minhocas (VELASQUEZ *et al.*, 2007). O resultado da quantidade de minhocas encontrado no tratamento NA não condiz com o número de agregados biogênicos encontrados na mesma área. Isso pode ser explicado devido a época da amostragem. As amostras foram coletadas em setembro, fim do período da seca, o que interferiu na umidade do solo coletado. LAVELLE (1988) explica que a umidade do solo afeta os movimentos e as migrações verticais das minhocas. Isso explicaria o porquê as minhocas não foram encontradas na camada de solo coletada, mas a grande quantidade de agregados biogênicos verificada indica a presença delas naquele ambiente. O mesmo efeito não ocorre em CSQ dado que a área é irrigada com vinhaça e conta com cobertura do solo, garantindo a sua umidade. Já em CCQ não foram encontradas nem minhocas, nem um número expressivo de agregados biogênicos apontando os efeitos negativos do manejo realizado na área.

Em relação a estabilidade dos agregados do solo, o resultado encontrado foi diferente do esperado, em que os agregados biogênicos seriam mais estáveis e maiores do que os circundantes como aponta o estudo de BEDANO *et al.* (2019). Porém, esse efeito pode ser justificado devido a textura do solo que é argilosa facilitando a estabilidade dos agregados circundantes. A revisão de AMÉZKETA (1999) considera argila um fator interno para estabilidade dos agregados, sendo assim, esse tipo de solo depende menos da atividade biológica para a formação de agregados estáveis. Já comparando os tratamentos, foi encontrado uma porcentagem dos agregados estáveis em água 16% maior em NA, tanto para os agregados biogênicos quanto para os circundantes. Para os valores de diâmetro médio ponderado os agregados biogênicos se mostraram 18% maiores em NA do que em CSQ e os circundantes (único dos dados com diferença significativa) 52% maior em NA. Para todos os dados, o tratamento NA obteve valores maiores provando que o local sem interferência humana apresenta melhores propriedades do solo. Infelizmente, não foi possível realizar a análise para o tratamento CCQ. Porém, a meta análise realizada por THOMAZ (2021) explora os efeitos da queima na estabilidade dos agregados em solos argilosos e conclui que a queima não mostra efeitos

significativos na estabilidade dos agregados. O conteúdo de argila é inversamente relacionado a estabilidade dos agregados quando o solo é submetido a queima. Sendo assim, queima não necessariamente aumenta a estabilidade dos agregados em solos argilosos, mas o teor de matéria orgânica pode ser muito afetado e é um agente importante na cimentação dos agregados.

A matéria orgânica humificada é resultado de um processo de longo termo da atividade das minhocas (BEDANO *et al.*, 2019). Esse efeito é comprovado em NA + CSQ que apresentam uma diferença significativa e um aumento de 46% de MOH nos agregados biogênicos em relação aos circundantes, demonstrando que as minhocas contribuem para o acúmulo de MOH. Quando se compara o conteúdo de MOH entre os tipos de agregados, houve diferença significativa para NA mas não para CSQ, com um conteúdo de MOH 52% maior nos agregados biogênicos, indicando que as minhocas tiveram um efeito por estarem presentes por um longo período em NA. Entre os tratamentos não houve diferença significativa para nenhum dos tipos de agregados.

Na matéria orgânica particulada está presente o carbono lábil, sendo o resultado da presença das minhocas por um médio período de tempo (BEDANO *et al.*, 2019). Para MOP não foi encontrada nenhuma diferença significativa. Para os agregados biogênicos, a presença de MOP foi 14% maior em CSQ do que em NA, apontando o efeito de médio prazo produzido pelas minhocas na área.

As informações encontradas para matéria orgânica demonstram que o tratamento CSQ apresenta aporte de matéria orgânica semelhante ao NA, mesmo em condições de agricultura. Não foi possível realizar a análise de MOP e MOH para CCQ, mas o estudo de RAZAFIMBELO *et al.* (2006) mostra que o manejo de cana com queima acumula menos matéria orgânica que o manejo sem queima devido a palhada deixada no solo. Os resultados do presente estudo apontam o mesmo. O tratamento CCQ apresentou um número muito pequeno de agregados biogênicos que tinham tamanhos pequenos também. Com a atividade das minhocas tão pequena, se torna irrelevante a diferenciação do conteúdo de matéria orgânica nos diferentes agregados. Isso é um forte indicativo de que o uso do fogo é prejudicial para as minhocas e a produção de agregados biogênicos.

Este trabalho conclui que a presença de minhocas, observadas pela presença de agregados biogênicos, é importante para preservar a estabilidade dos agregados do solo sob cultivo de cana de açúcar. O tratamento CSQ propiciou a presença e as

contribuições positivas das minhocas de maneira muito similar ao NA, enquanto o tratamento CCQ erradicou as minhocas e qualquer vestígio da sua atividade.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Article.

AL-MALI, S.; SCULLION, J. Interactions between earthworms and residues of differing quality affecting aggregate stability and microbial dynamics. **Applied Soil Ecology**, 64, p. 56-62, 2013/02/01/ 2013.

AMÉZKETA, E. Soil Aggregate Stability: A Review. **Journal of Sustainable Agriculture**, 14, n. 2-3, p. 83-151, 1999/07/16 1999.

BEDANO, J. C.; VAQUERO, F.; DOMÍNGUEZ, A.; RODRÍGUEZ, M. P. *et al.* Earthworms contribute to ecosystem process in no-till systems with high crop rotation intensity in Argentina. **Acta Oecologica**, 98, p. 14-24, 2019/07/01/ 2019.

BOSSUYT, H.; SIX, J.; HENDRIX, P. F. Rapid incorporation of carbon from fresh residues into newly formed stable microaggregates within earthworm casts. **European Journal of Soil Science**, 55, n. 2, p. 393-399, 2004/06/01 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1351-0754.2004.00603.x>.

CASTILHO, S. C. D. P. **Influência da transformação floresta - pastagem nos atributos do solo em área de agricultura familiar no oeste do Estado do Pará**. 2014. (Tese de Doutorado) - Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CHUNGOPAST, S.; PHANKAMOLSIL, N.; THAYMUANG, W.; PHOMMUANGKHUK, A. *et al.* Correlation of Soil Physiochemical Properties, Microorganism Numbers, and Bacterial Communities Following Unburned and Burned Sugarcane Harvest. **Applied and Environmental Soil Science**, 2023, p. 9618349, 2023/03/08 2023.

CRISTALE, J.; SILVA, F. S.; ZOCOLO, G. J.; MARCHI, M. R. R. Influence of sugarcane burning on indoor/outdoor PAH air pollution in Brazil. **Environmental Pollution**, 169, p. 210-216, 2012/10/01/ 2012.

DE MATOS, M.; SANTOS, F.; EICHLER, P. Chapter 1 - Sugarcane world scenario. *In*: SANTOS, F.; RABELO, S. C., *et al.* (Ed.). **Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives**: Academic Press, 2020. p. 1-19.

EL CHAMI, D.; DACCACHE, A.; EL MOUJABBER, M. What are the impacts of sugarcane production on ecosystem services and human well-being? A review. **Annals of Agricultural Sciences**, 65, n. 2, p. 188-199, 2020/12/01/ 2020.

FAOSTAT. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.

GALANTINI, J. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. *In*, 2005. p. 103-114.

GALDOS, M. V.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, 153, n. 3, p. 347-352, 2009/11/15/ 2009.

GEE, G.; OR, D. 2.4 Particle-Size Analysis. *In*, 2002. p. 255-293.

IBGE. Produção de Cana-de-açúcar. 2021.

JIMÉNEZ, J. J.; CEPEDA, A.; DECAËNS, T.; OBERSON, A. *et al.* Phosphorus fractions and dynamics in surface earthworm casts under native and improved grasslands in a Colombian savanna Oxisol. **Soil Biology and Biochemistry**, 35, n. 5, p. 715-727, 2003/05/01/ 2003.

LAL, R.; SHUKLA, M. K. **Principles of Soil Physics**. CRC Press, 2004. 736 p.

LAVELLE, P. Earthworm activities and the soil system. **Biology and Fertility of Soils**, 6, n. 3, p. 237-251, 1988/05/01 1988.

PLA, I. Sistema integrado agua-cultivosuelo-manejo para evaluar la calidad de agua para riego. **Proc. Int. Symp. on "Isotope and Radiation Techniques in Soil Physics and Irrigation Studies"**, p. 191-206, 01/01 1983.

RAZAFIMBELO, T.; BARTHÈS, B.; LARRÉ-LARROUY, M.-C.; LUCA, E. F. D. *et al.* Effect of sugarcane residue management (mulching versus burning) on organic matter in a clayey Oxisol from southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 115, n. 1, p. 285-289, 2006/07/01/ 2006.

RIBEIRO, H. Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. **Revista de Saúde Pública**, 42, 2008.

RONQUIM, C. C. **Queimadas na colheita da cana-de-açúcar: impactos ambientais, sociais e econômicos**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 45 p.

SÃO PAULO **Lei Nº 11.241, de 19 de setembro de 2002** Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. São Paulo, Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei-11241-19.09.2002.html#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20elimina%C3%A7%C3%A3o%20gradativa,a%C3%A7%C3%B5e%20d%C3%A1%20provid%C3%Aancias%20correlatas>. Acesso em: 18/05/2023

SOUZA, R. A.; TELLES, T. S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M. *et al.* Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 155, p. 1-6, 2012/07/15/ 2012.

THOMAZ, E. L. Effects of fire on the aggregate stability of clayey soils: A meta-analysis. **Earth-Science Reviews**, 221, p. 103802, 2021/10/01/ 2021.

THOMAZ, E. L.; MARCATTO, F. S.; ANTONELI, V. Soil erosion on the Brazilian sugarcane cropping system: An overview. **Geography and Sustainability**, 3, n. 2, p. 129-138, 2022/06/01/ 2022.

VELASQUEZ, E.; PELOSI, C.; BRUNET, D.; GRIMALDI, M. *et al.* This ped is my ped: Visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates. **Pedobiologia**, 51, n. 1, p. 75-87, 2007/04/10/ 2007.

WIEDENFELD, B. Effects of green harvesting vs burning on soil properties, growth and yield of sugarcane in south Texas. **Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists**, 29, p. 102-109, 2009.