

LETÍCIA PASTORE MENDONÇA

**BALANÇO DE CARBONO NO SISTEMA SOLO-PLANTA-ATMOSFERA COM
APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMA DE
SEMEADURA DIRETA**

Botucatu

2020

LETÍCIA PASTORE MENDONÇA

**BALANÇO DE CARBONO NO SISTEMA SOLO-PLANTA-ATMOSFERA COM
APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMA DE
SEMEADURA DIRETA**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp, Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Juliano Carlos Calonego

Botucatu

2020

M539b	Mendonça, Letícia Pastore Balanço de carbono no sistema solo-planta-atmosfera com aplicação superficial de calcário e gesso em sistema de semeadura direta / Letícia Pastore Mendonça. -- Botucatu, 2020 117 p. : il., tabs. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientadora: Juliano Carlos Calonego 1. Sequestro de carbono. 2. Solos ácidos. 3. Gesso. 4. Humus. 5. Dióxido de carbono. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: BALANÇO DE CARBONO NO SISTEMA SOLO-PLANTA-ATMOSFERA COM APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO E GESSO EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

AUTORA: LETÍCIA PASTORE MENDONÇA

ORIENTADOR: JULIANO CARLOS CALONEGO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Dr. GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO
Gestão Territorial Estratégica / Embrapa Territorial

Prof. Dr. JOÃO PAULO GONSIORKIEWICZ RIGON
Pós-Doutorando - Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Pesquisador Dr. ANTONIO CARLOS DE ALMEIDA CARMEIS FILHO
/ Bayer Crop Science

Botucatu, 30 de março de 2020

Dedico

*A todos os professores e a todas as instituições de pesquisa e ensino
que contribuíram para minha formação.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, proteção e saúde que me permitiu chegar até aqui.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP – Botucatu/SP pela possibilidade de realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de doutorado.

Ao Prof. Dr. Juliano Carlos Calonego, pela orientação, profissionalismo, dedicação, paciência e compreensão que teve comigo nesses 4 anos.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol pela disponibilidade da área de estudo, e pelas contribuições para a execução do trabalho.

Aos demais professores que de alguma forma contribuíram para minha formação e para a realização deste trabalho.

A todos os funcionários da Fazenda e do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal em especial o Casimiro Edson Alves e Ciro Venâncio de Oliveira que sempre com boa vontade me ajudaram na condução do experimento em campo.

Ao Pietro Micheri pela parceria na condução do experimento.

João William Bossolani por toda ajuda na condução do experimento, e pela amizade.

Ao querido Fernando Augusto da Silveira pela disponibilidade e ajuda nas análises de multivariada.

A todos do laboratório Solo-Planta em especial a Júlia, Thalia, Dariele, Taís, Iara e Vinícius por toda ajuda, amizade e pelos momentos felizes que passamos.

Ao Hugo Leite e Igor Vilela por todo auxílio durante o experimento.

Ao João Paulo Gonsiorkiewicz Rigon por toda ajuda no processamento dos dados de gases.

Ao Gustavo Ferreira da Silva que mesmo de longe foi peça fundamental para que tudo acontecesse.

Aos amigos que conheci no doutorado e que são de grande importância: Sérgio Freitas, Hugo Mota, Erilene Romeiro, Tiara Guimarães e Prinscila Pâmela.

As minhas amigas de república Andréia Souza e Denise Basso pela parceria e amizade. Com vocês pude dividir momentos que levarei com muito carinho sempre comigo!

RESUMO

A calagem é uma prática agrícola indispensável para a correção da acidez em solos tropicais contribuindo para o aumento da produção de grãos e biomassa. A aplicação superficial de calcário e gesso em sistema de semeadura direta (SSD) tem sido uma estratégia usada para melhorar as propriedades químicas do solo em subsuperfície, todavia, existem poucas informações sobre os efeitos dessa prática no balanço de carbono no sistema solo-planta-atmosfera. Dessa forma, o trabalho teve como objetivo avaliar a emissão acumulada anual de C-CO₂, o estoque de C e N no solo, a qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) e a atividade biológica, bem como a deposição de C e N pela biomassa do sistema radicular e pelos resíduos produzidos no final do ciclo das culturas na superfície do solo, em função da aplicação superficial de calcário e gesso em um SSD de longa duração. O experimento foi instalado em 2002 em um delineamento experimental em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas e 4 repetições. A aplicação de calcário e gesso ocorreu nos anos de 2002, 2004, 2010 e por último em 2016 quando foi dado início a condução do presente trabalho. As parcelas foram constituídas por quatro níveis de calcário (ausência de aplicação, 3260, 6520 e 13040 kg ha⁻¹) e as subparcelas por dois níveis de gesso agrícola (ausência de aplicação e 10000 kg ha⁻¹). Ao final dos dois anos agrícolas a aplicação de calcário promoveu um aporte médio de 2,70 Mg ha⁻¹ de C e 150 kg ha⁻¹ de N pelo sistema radicular da soja, milho e *U. ruziziensis* em relação ao tratamento controle, respectivamente. A calagem promoveu um aporte médio de 14,00 Mg ha⁻¹ de C e 400 kg ha⁻¹ de N pela massa de matéria seca da parte aérea da soja, milho e *U. ruziziensis* em relação ao tratamento controle, respectivamente. A aplicação superficial de calcário e gesso não influenciaram os estoques de C e N no solo. A calagem superficial influenciou as frações da MOS, como também, os atributos biológicos do solo indicando uma possível condição de desequilíbrio. Os dados mostram que o calcário influenciou na emissão acumulada de C-CO₂, e a dose de 3260 kg ha⁻¹ de calcário apresentou emissão acumulada cerca de 10, 8 e 12% superior ao tratamento controle, dose de 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário, respectivamente. A aplicação de calcário e gesso resultou em uma produtividade média de grãos cerca de 38 e 10% superior ao tratamento controle nas safras da

soja, e 60 e 17% nas safras do milho, respectivamente. Os resultados sugerem que apesar da calagem influenciar na emissão de C-CO₂, sua utilização em combinação com o gesso refletiu em maiores entradas de C via resíduos vegetais, compensando as saídas, promovendo um balanço de C mais favorável para o sistema, principalmente quando a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário foi empregada.

Palavras-chave: Sequestro de carbono. Efeito estufa. Balanço de carbono. Fluxo de CO₂. Corretivos de solo.

ABSTRACT

Liming is an indispensable agricultural practice for the correction of acidity in tropical soils contributing to the increase in the production of grains and biomass. The superficial application of lime and gypsum in a direct seeding system (NT) has been a strategy used to improve the chemical properties of the soil in subsurface, however, there is little information about the effects of this practice on the carbon balance in the soil-plant-atmosphere system. Thus, the work aimed to evaluate the accumulated annual emission of C-CO₂, the stock of C and N in the soil, the quality of soil organic matter (SOM) and the biological activity, as well as the deposition of C and N by the biomass of the root system and by the residues produced at the end of the crop cycle on the soil surface, due to the superficial application of lime and gypsum in a long-term NT. The experiment was installed in 2002 in a randomized block design in a split plot and 4 replications scheme. The application of lime and gypsum occurred in the years 2002, 2004, 2010 and lastly in 2016 when the conduction of the present work began. The plots consisted of four levels of lime (no application, 3260, 6520 and 13040 kg ha⁻¹) and the subplots by two levels of agricultural gypsum (no application and 10,000 kg ha⁻¹). At the end of the two agricultural years, the application of lime promoted an average supply of 2.70 Mg ha⁻¹ of C and 150 kg ha⁻¹ of N by the root system of the soybean, corn and *U. ruziziensis* in relation to the control treatment, respectively. Liming promoted an average supply of 14.00 Mg ha⁻¹ of C and 400 kg ha⁻¹ of N by the dry matter mass of the aerial part of the soybean, corn and *U. ruziziensis* in relation to the control treatment, respectively. The superficial application of lime and gypsum did not influence the C and N stocks in the soil. The superficial lime influences the SOM fractions, as well as the biological attributes of the soil, indicating a possible imbalance condition. The data show that liming influenced the accumulated emission of C-CO₂, and the dose of 3260 kg ha⁻¹ of lime showed an accumulated emission about 10, 8 and 12% higher than the control treatment, dose of 6520 and 13040 kg ha⁻¹ of lime, respectively. The application of liming and gypsum resulted in an average grain yield of about 38 and 10% higher than the control treatment in soybean crops, and 60 and 17% in corn crops, respectively. The results suggest that although liming influences the emission of C-CO₂, its use in combination with gypsum reflected in higher C inputs via plant

residues, offsetting the outputs, promoting a more favorable C balance for the system, especially when the a dose of 13040 kg ha⁻¹ of lime was used.

Keywords: Carbon sequestration. Greenhouse effect. Carbon balance. CO₂ flow. Soil concealers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Precipitação diária, temperaturas máximas e mínimas e as datas de semeadura e colheita das culturas, durante o período experimental de 2016/2018.	34
Figura 2 – Fluxo de CO ₂ do solo com e sem gesso, temperatura e umidade aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra 2016/2017.	74
Figura 3 – Fluxo de CO ₂ do solo com e sem gesso, temperatura e umidade aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) do milho safra 2017.	76
Figura 4 – Fluxo de CO ₂ do solo com e sem gesso, temperatura e umidade aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra 2017/2018.	77
Figura 5 – Fluxo de CO ₂ do solo com e sem gesso, temperatura e umidade aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) do milho safra 2018.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características granulométricas do solo da área experimental.	34
Tabela 2 – Probabilidade de F dos valores de pH em (CaCl ₂) antes e aos 12 e 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.	48
Tabela 3 – Valores de pH do solo nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, antes e aos 12 e 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.	50
Tabela 4 – Aporte de C (Mg ha ⁻¹) pelo sistema radicular das culturas e braquiária na profundidade de 0,0-0,20 m nos dois anos agrícolas.	52
Tabela 5 – Aporte de N (Kg ha ⁻¹) pelo sistema radicular das culturas e braquiária na profundidade de 0,0-0,20 m nos dois anos agrícolas.	53
Tabela 6 – Interações entre calcário e gesso no aporte de N (kg ha ⁻¹) pelo sistema radicular na profundidade de 0,00-0,20 m.	54
Tabela 7 – Aporte de C (Mg ha ⁻¹) pela massa de matéria seca da parte aérea nos dois anos agrícolas.	55
Tabela 8 – Aporte de N (kg ha ⁻¹) pela massa de matéria seca da parte aérea nos dois anos agrícolas.	57
Tabela 9 – Interações entre calcário e gesso no aporte de N (Kg ha ⁻¹) pela massa de matéria seca da parte aérea.	59
Tabela 10 – Estoque de C no solo nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 m de profundidade, e acumulado 0,0-0,40 m, antes e 24 meses após reaplicação do calcário e gesso.	60
Tabela 11 – Estoque de N no solo nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, e acumulado 0,0-0,40 m, antes e 24 meses após reaplicação do calcário e gesso.	61
Tabela 12 – Probabilidade dos valores de F dos teores do C orgânico total (COT), C orgânico particulado (COP), C orgânico associado aos minerais (COM), e relação entre COP/COT no solo antes da reaplicação do calcário e gesso.	62
Tabela 13 – Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação COP/COT no solo antes da reaplicação do calcário e gesso.	63

Tabela 14 – Interações entre calcário e gesso nos teores do C orgânico particulado (COP) e relação entre COP/COT na profundidade 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m antes da reaplicação do calcário e gesso.	64
Tabela 15 – Probabilidade dos valores de F dos teores do C orgânico total (COT), C orgânico particulado (COP), C orgânico associado aos minerais (COM), e relação entre COP/COT no solo 12 meses após a reaplicação do calcário e gesso.	65
Tabela 16 – Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação COP/COT no solo 12 meses após a reaplicação do calcário e gesso.	66
Tabela 17 – Interações entre calcário e gesso nos teores do C orgânico associado aos minerais (COM), C orgânico particulado (COP) e relação entre COP/COT na profundidade 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m 12 meses após a reaplicação do calcário e gesso.....	67
Tabela 18 – Probabilidade dos valores de F dos teores do C orgânico total (COT), C orgânico particulado (COP), C orgânico associado aos minerais (COM), e relação entre COP/COT no solo 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.	68
Tabela 19 – Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação COP/COT no solo 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.	69
Tabela 20 – Interações entre calcário e gesso nos teores do C orgânico particulado (COP) e relação entre COP/COT na profundidade 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.....	70
Tabela 21 – Valores de C orgânico total (COT), N total (NT), C e N da biomassa microbiana (Cmic e Nmic), respiração basal do solo, quociente metabólico e quociente microbiano.	71
Tabela 22 – Interações entre calcário e gesso para os valores de C e N da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente metabólico e quociente microbiano.	73
Tabela 23 – Emissão acumulada de C-CO ₂ nos dois anos agrícolas (Mg ha ⁻¹).	80
Tabela 24 – Produtividades de grãos (Mg ha ⁻¹) e emissões relativas das safras de grãos (kg C-CO ₂ kg grãos ⁻¹).	82

Tabela 25 – Interações entre calcário e gesso na produtividade de grãos (Mg ha^{-1}) e emissões relativas das safras de grãos ($\text{kg C-CO}_2 \text{ kg grãos}^{-1}$).	84
Tabela 26 – Balanço de C do sistema (Mg ha^{-1}).	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	Calagem e gessagem no Sistema de Semeadura Direta (SSD)	25
2.2	Influência do calcário e gesso na matéria orgânica do solo (MOS)	27
2.3	Atributos biológicos como indicadores de qualidade do solo	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	Caracterização da área experimental	33
3.2	Histórico da área experimental	35
3.3	Delineamento experimental e tratamentos utilizados	35
3.4	Instalação e condução do experimento	36
3.4.1	Cultivo da soja – Safra 2016/17	37
3.4.2	Cultivo do milho consorciado com a braquiária – entressafra 2017	37
3.4.3	Cultivo da soja – Safra 2017/18	38
3.4.4	Cultivo do milho consorciado com a braquiária – entressafra 2018	39
3.5	Avaliações	39
3.5.1	Aporte de carbono e nitrogênio pelos resíduos culturais	39
3.5.2	Aporte de carbono e nitrogênio pelas raízes de soja, milho e braquiária	40
3.5.3	pH, carbono e nitrogênio total no solo	40
3.5.4	Fracionamento físico da matéria orgânica do solo	41
3.5.5	Análises Microbianas	42
3.5.6	Fluxo de CO ₂ do solo	45
3.5.7	Produtividade de grãos	46
3.5.8	Balanço de carbono	46
3.6	Análise estatística	47
4	RESULTADOS	48
4.1	pH do solo	48
4.2	Aporte de C e N pelo sistema radicular das culturas	51
4.3	Aporte de C e N pela massa de matéria seca da parte aérea	54
4.4	Estoque de carbono e nitrogênio no solo	59
4.5	Fracionamento físico da matéria orgânica do solo	62
4.6	Atributos biológicos do solo	70

4.7	Fluxo de CO ₂ do solo	74
4.8	Fluxo acumulado de C-CO ₂	80
4.9	Produtividade dos grãos e emissão relativa (<i>Yield-scaled</i>).....	81
4.10	Balanço de C	84
5	DISCUSSÃO.....	87
6	CONCLUSÕES.....	100
	REFERÊNCIAS	101

1 INTRODUÇÃO

O ciclo do carbono (C) tem sido bastante estudado por ser um elemento que está associado aos processos que envolvem mudanças climáticas globais (CARVALHO et al., 2010). Essas modificações no clima podem estar relacionadas com as emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE), visto que, incrementos consideráveis nas emissões vêm ocorrendo desde 1970 (IPCC, 2014). Assim, apesar do efeito estufa ser um fenômeno natural, as altas taxas de emissões, tem intensificado o processo, gerando preocupação de diversos setores na busca por alternativas que reduzam os níveis principalmente de CO₂ da atmosfera, dado que, esse gás é um dos principais responsáveis pelo aquecimento global (URQUIAGA et al., 2005).

Dentre os componentes do ciclo biogeoquímico do carbono C, os solos têm grande destaque por armazenar cerca de quatro vezes mais C que a biomassa vegetal, e quase três vezes mais que a atmosfera (HORWATH, 2015). Deste modo, como a agricultura é uma atividade que está intimamente relacionada com os solos, estudos intensos vêm sendo conduzidos visando desenvolver tecnologias que permitam aumentar os estoques de C, e reduzir os níveis de CO₂ da atmosfera (URQUIAGA et al., 2005; BAYER et al., 2006).

O solo pode funcionar como dreno de C, ou seja, o CO₂ fixado via fotossíntese é transferido para a matéria orgânica, podendo assim, promover incrementos consideráveis no estoque de C no solo (BAYER et al., 2011; BODDEY et al., 2012). Dessa forma, o balanço de C no solo depende da relação entre as adições de C via resíduos (parte aérea e raízes), e as perdas de C para a atmosfera resultante da oxidação microbiana do C orgânico a CO₂ (COSTA et al., 2008). Todavia, vale ressaltar que a entrada de C depende da cultura, das condições climáticas, das características de solo, e do sistema de manejo adotado (HASIBEDER et al., 2015; KONG et al., 2005; LUO et al., 2010; SOCHOROV'A et al., 2016).

Assim, dentre os sistemas de manejo que aumentam o influxo de C no solo, o sistema de semeadura direta (SSD) tem se mostrado uma boa alternativa, já que possibilita reduzir as emissões de CO₂ pela combinação do mínimo revolvimento ou mínima mobilização do solo, associado ao maior aporte de resíduos vegetais pela

rotação de culturas (DERPSCH et al., 2010; CAMPOS et al., 2013; SÁ et al., 2013; LAL, 2015) proporcionando dessa forma uma decomposição lenta e gradual do material orgânico (FRANZLUEBBERS et al., 2007), que associado com a fração mineral do solo, favorece o acúmulo e a proteção da matéria orgânica do solo (MOS).

No Brasil com o estabelecimento do SSD, a calagem que é uma das mais importantes práticas agrícolas usadas para reduzir ou neutralizar os efeitos da acidez, e aumentar a disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} (SORATTO e CRUSCIOL, 2008; JORIS et al., 2013) passou a ser realizada em superfície sem incorporação. Como os corretivos utilizados são pouco solúveis e os produtos da reação do calcário têm mobilidade baixa no perfil do solo, os efeitos ficam limitados as camadas superficiais (RAMPIM et al. 2011; ROSOLEM, et al., 2003; CIOTTA et al., 2004; CAIRES et al. 2011), comprometendo o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade (RAIJ, 2010). Apesar da maior parte das raízes de culturas anuais se concentrarem nas camadas superficiais, esse volume de solo explorado pode ser considerado insuficiente em períodos de limitação hídrica, situação recorrente em regiões tropicais que apresentam inverno seco, com déficit hídrico.

Dessa forma, o gesso agrícola por apresentar maior mobilidade no perfil do solo e maior solubilidade em comparação ao calcário (RAIJ, 2010), tem sido uma estratégia adotada para minimizar problemas de acidez, reduzir os efeitos da toxicidade por Al^{3+} e fornecer Ca e S em subsuperfície (NEIS et al., 2010; ZAMBROSI et al., 2007; CAIRES et al., 2011; CRUSCIOL et al., 2016).

Como o principal objetivo da calagem e gessagem é promover melhorias na fertilidade do solo, a maioria dos estudos são direcionados aos efeitos no pH, na saturação de Al, nos cátions trocáveis ou na produtividade das plantas. Diante disso, é de suma importância compreender o efeito dessas práticas a longo prazo na dinâmica do C no sistema solo-planta-atmosfera.

Recentemente, muitos questionamentos são levantados sobre influencia do calcário e do gesso no ciclo e na transformação do C no solo, visto que, a própria reação do calcário atua como fonte dissipadora de CO_2 para a atmosfera por meio da dissolução dos carbonatos (CaCO_3 e MgCO_3) (BERTRAND et al., 2007; HAMILTON et al., 2002; PAGE et al., 2009; HOLLAND et al., 2018). Segundo dados do IPCC (2006), a calagem agrícola é considerada uma fonte líquida de emissão de CO_2 , sendo assumido a ela fator de emissão de 100%, ou seja, parte do princípio

que todo o carbono do calcário aplicado é emitido na forma de CO_2 no ano da aplicação. No Brasil utiliza-se o fator de emissão de $0,44 \text{ t CO}_2 \text{ t}^{-1} \text{ CaCO}_3$ (MCTIC, 2016), que é calculado a partir da quantidade de calcário consumida na agricultura do país. Diante disso, é notório que as taxas de emissões de CO_2 associadas à calagem são estimativas, o que demonstra a importância de trabalhos que possam quantificar as emissões nessas condições.

Sendo assim, além da emissão direta de CO_2 pela dissolução dos carbonatos, a correção da acidez do solo também interfere aumentando a atividade biológica, e consequentemente a respiração do solo em função do aumento de pH (EKENLER e TABATABAI, 2003; PAGE et al., 2009; INAGAKI et al., 2017). Da mesma maneira que a calagem, o gesso agrícola também interfere na atividade microbiana (INAGAKI et al., 2017) por fornecer cálcio e enxofre que são componentes essenciais aos microrganismos. Dessa forma, o crescimento e a atividade da população microbiana podem ser alterados, como consequência, inúmeros processos metabólicos podem interferir aumentando ou reduzindo as emissões de CO_2 (NAHAS et al., 1997).

No entanto, esse efeito pode ser reduzido a longo prazo, pois, melhorias nos atributos químicos do solo como elevação do pH, fornecimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} e redução da toxidez de Al^{+3} , aumentam a produtividade de biomassa aérea e radicular, o que resulta em maior aporte de resíduos e consequentemente de MOS (HAYNES e NAIDU, 1998; BRIEDIS et al., 2012; FORNARA et al., 2011; CASTRO et al., 2015; CARMEIS FILHO et al., 2017; PARADELO et al., 2015; INAGAKI et al., 2016). Estudos recentes têm mostrado que manejos que buscam aumentar a produção de biomassa radicular podem contribuir para as frações estáveis da MOS (RASSE et al., 2005; JOHNSON et al., 2007). Segundo Carmeis Filho (2016), em regiões tropicais onde as taxas de decomposição da MOS são geralmente elevadas, as raízes podem desempenhar um importante papel incorporando C ao solo.

O calcário e o gesso também podem promover mudanças nos atributos físicos do solo, conferindo maior agregação, isso porque, maiores níveis de Ca^{2+} na solução do solo podem causar compressão da dupla camada, promovendo consequentemente à floculação das partículas, assim, a maior agregação do solo confere maior proteção física a MOS, e, portanto, atua como barreira para a ação

microbiana (HAYNES e NAIDU, 1998; BRIEDIS et al., 2012; SIX et al., 2004; BENNETT et al., 2014; PARADELO et al., 2015; CARMEIS et al., 2016).

Melhorias no índice de conservação de C no solo também foram atribuídas ao uso combinado de calcário e gesso, sugerindo que a prática é capaz de favorecer a mitigação das emissões de CO₂ (JANEGITZO, 2016). Segundo Carmeis Filho et al. (2017), o emprego do calcário e do gesso associado a sistemas de manejo conservacionistas como a rotação de cultura e o cultivo mínimo, são fatores chave para melhorias na produtividade e na sustentabilidade em regiões tropicais.

Ainda que a calagem e a gessagem traga diversos benefícios, evidências atuais ainda não permitem prever com precisão o seu efeito líquido sobre o balanço de carbono em diferentes condições, uma vez que, fatores como tipo de solo, sistema de manejo adotado, dose e frequência de aplicações, tipo de vegetação dentre outros, podem influenciar o processo (PARADELO et al., 2015).

Sendo assim, o trabalho teve como objetivo avaliar a emissão acumulada anual de C-CO₂, o estoque de C e N no solo, a qualidade da MOS, a atividade biológica do solo, bem como a deposição de C e N pela biomassa do sistema radicular e dos resíduos produzidos no final do ciclo das culturas na superfície do solo, em função da aplicação superficial de calcário e gesso em um SSD de longa duração.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Calagem e gessagem no Sistema de Semeadura Direta (SSD)

A calagem é a estratégia mais adotada na correção da acidez em sistemas agrícolas. Sua utilização pode conduzir ao aumento da CTC efetiva, aumento do pH solo, aumento da disponibilidade de nutrientes e redução de elementos prejudiciais como o Al^{+3} e Mn^{2+} (SORATTO et al., 2010; CAIRES et al., 2011; CRUSCIOL et al., 2016; JORIS et al., 2016). Dessa forma, favorece o desenvolvimento radicular promovendo maior aproveitamento de nutrientes, e maior capacidade produtiva (CAIRES et al., 2015).

Com o aumento das áreas sob SSD, a calagem passou a ser realizada em superfície, já que o revolvimento do solo é inadequado diante do princípio básico da agricultura conservacionista (NICOLODI et al., 2008; CAIRES et al., 2008; SORATTO e CRUSCIOL, 2008; COSTA e CRUSCIOL, 2016). Diante disso, muitos questionamentos foram levantados sobre a aplicação superficial, uma vez que, o calcário apresenta baixa solubilidade em água e os produtos da reação têm mobilidade limitada, cujos efeitos ficam restritos às camadas superficiais do solo (CAIRES et al., 2011; RAMPIM et al., 2011; CASTRO e CRUSCIOL, 2013; CRUSCIOL et al., 2016; COSTA et al., 2018; JORIS et al., 2016). Dessa forma, o crescimento radicular em subsuperfície pode ser limitado prejudicando a absorção de água, nutrientes e o rendimento de grãos, principalmente em períodos de limitação hídrica (DALLA NORA e AMADO, 2013; PAULETTI et al., 2014; ZANDONÁ et al., 2015; TIECHER et al., 2018). No entanto, vale ressaltar que a eficiência da correção pode variar de acordo com a região e o sistema de manejo adotado, dado que, fatores como, dose utilizada, granulometria, precipitação, rotação de culturas, tempo após a aplicação, aporte de MOS, dentre outros, podem interferir na velocidade de reação do corretivo (MIRANDA et al., 2005; GONÇALVES et al., 2011; RODRIGHERO et al., 2015).

Dessa forma, apesar da baixa solubilidade, alguns fatores podem contribuir para a movimentação do calcário e dos produtos da reação no SSD, como por exemplo, a decomposição dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo podem originar compostos orgânicos hidrossolúveis, que complexam Ca^{2+} ,

favorecendo sua movimentação em profundidade (RHEINHEIMER et al., 2000). Além disso, o calcário pode se deslocar em profundidade por meio de bioporos que são formados pela decomposição de raízes e mesofauna, mantidos intactos pelo não revolvimento do solo, ou seja, pela preservação das propriedades físicas do solo (AMARAL et al., 2004; RHEINHEIMER et al., 2000; COSTA e ROSOLEM, 2007; CAIRES, 2010; GONÇALVES et al., 2011).

Diante dos entraves da aplicação superficial do calcário na correção da acidez do subsolo, o uso do gesso agrícola de forma complementar ao calcário, passou a ser uma importante ferramenta (CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2005; SORATTO e CRUSCIOL, 2008; CAIRES et al., 2011). O gesso agrícola, subproduto da fabricação de ácido fosfórico, apresenta solubilidade aproximadamente 170 vezes maior que o calcário, como resultado, o ânion estável (SO_4^{2-}) pode formar par iônico com o Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , e com isso, carregar esses nutrientes ao longo do perfil do solo (BENNETT et al., 2014; CRUSCIOL et al., 2016). Além disso, o íon SO_4^{2-} pode ainda se ligar ao Al^{3+} nas camadas mais profundas do solo reduzindo sua atividade e efeitos nocivos as plantas (PAULETTI et al., 2014; CRUSCIOL et al., 2016; DALLA NORA et al., 2017). Além do papel condicionador, o gesso agrícola é fonte de Ca e S, elementos essenciais para as plantas (BENNETT et al., 2014; ZOCCA e PENN, 2017).

Segundo Rampim et al. (2011) a aplicação superficial de gesso agrícola no SSD, mostra ser uma importante ferramenta para elevar os teores de Ca e S, além de promover o deslocamento de K^+ e Mg^{2+} em profundidade, promovendo melhorias nos atributos químicos em subsuperfície, favorecendo o desenvolvimento de raízes em profundidade. Com isso, maior volume de solo pode ser explorado possibilitando as culturas alcançarem o potencial produtivo mesmo em períodos de limitação hídrica (SORATTO et al., 2010).

Nos últimos anos diversos estudos avaliaram a interação do calcário e gesso agrícola principalmente sob SSD, nas propriedades do solo e no rendimento de grãos das culturas (CAIRES et al., 2006, 2011; PAULETTI et al., 2014; CRUSCIOL et al., 2016; COSTA e CRUSCIOL, 2016). Todavia, segundo Fontoura et al. (2019) ainda são incipientes o número de trabalhos que avaliam o efeito de calcários com diferentes reatividades e diferentes doses combinadas com gesso agrícola principalmente a longo prazo, já que a curto prazo os resultados são contrastantes, e

como se sabe, o efeito residual do calcário e gesso pode durar mais de duas décadas, como verificado para calagem por Rheinheimer et al. (2018).

Além disso, outro entrave que vêm sendo discutido é sobre o método de recomendação de gesso agrícola, já que um único método cientificamente fundamentado para determinar as doses adequadas de aplicação em função dos diferentes tipos de solo e sistemas de cultivo, ainda não existe (ZOCA e PENN, 2017). Os mesmos autores relatam que grande parte dos trabalhos publicados se concentrou em avaliar o impacto da aplicação de gesso agrícola nas propriedades do solo, e não na produtividade das culturas.

Recentemente, Guimarães et al. (2015) através de pesquisas realizadas em ensaios de longa duração em 3 tipos de solos e fazendo uso do algoritmo M5'Rules, estimaram a recomendação de gesso através das equações de regressão que melhor se ajustaram, levando em conta a saturação por Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+} . Os autores constataram que saturação por Ca^{2+} na CTC foi o melhor atributo para esta estimativa em relação à saturação de Al^{3+} . Com base nesses resultados, Caires e Guimarães (2016) objetivando desenvolver critérios mais precisos para a recomendação de gesso, usaram inúmeros trabalhos disponíveis na literatura a respeito do aumento de produtividade de milho, soja e cereais de inverno em resposta ao uso de gesso em SSD. E empregando o algoritmo M5'Rules verificaram que as maiores produtividades de milho, soja, trigo e cevada ocorreram quando a saturação por Ca na capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe) do subsolo (0,20–0,40 m) variaram de 53 a 65%. C. Diante disso, um novo método de recomendação foi criado, todavia, os autores relatam que são necessários mais estudos principalmente nas condições tropicais visando avaliar sua eficiência.

2.2 Influência do calcário e gesso na matéria orgânica do solo (MOS)

A MOS é componente chave para a sustentabilidade dos sistemas produtivos, pois permite melhorias na qualidade física, química e biológica dos solos. Diante disso, nos últimos anos diversos estudos foram desenvolvidos buscando avaliar os impactos de técnicas de manejo sobre os fluxos de C no solo, no entanto, poucos estudos foram direcionados para avaliar a influência da calagem e gessagem na MOS (PARADELO et al., 2015; INAGAKI et al., 2016).

Os efeitos do calcário no estoque de C do solo foi revisado por Paradelo et al. (2015) que constataram que o calcário influencia na dinâmica do C das seguintes formas: a) melhora a estrutura física do solo promovendo maior agregação, e com isso, contribui com o aumento do estoque de C; b) contribui melhorando a fertilidade do solo propiciando melhores condições para o crescimento das plantas, refletindo em maior aporte de biomassa e maior estoque de C; c) reduz os estoques de C em detrimento do aumento da atividade microbiana que contribuiu para maior mineralização da MOS.

O calcário e gesso são as principais fontes de Ca em sistemas agrícolas (PAVAN et al., 1984), e segundo Tisdall e Oades (1982) o Ca juntamente com Fe e Al funcionam como agentes de ligação com a MOS formando pontes catiônicas. Esses íons se conectam com partículas de matéria orgânica e argila, formando partículas compostas denominadas de microagregados, que mais adiante, combinam com novas partículas compostas originando os macroagregados (SIX et al., 2004; DUIKER et al., 2003). Com maior agregação o COS fica fisicamente protegido da ação microbiana, e, portanto, há uma redução nas taxas de mineralização.

No entanto, vale ressaltar que o modo de aplicação do calcário pode interferir nessa dinâmica, já que Yagi et al. (2014) e Caires et al. (2006) observaram uma redução nos estoques de C após a incorporação do calcário no solo. Diante disso, diversos trabalhos têm reportado que a aplicação do calcário em superfície sob SSD é o método mais adequado para aumentar o conteúdo de C no solo (CAIRES et al., 2005; CAIRES et al., 2006; YAGI et al., 2014), estando aliado a melhorias nas propriedades físicas do solo, como densidade e porosidade (ANIKWE et al., 2016; AULER et al., 2017), estabilidade de agregados (CARMEIS FILHO et al., 2017) e estabilização física da MOS (BRIEDIS et al., 2012).

Em condições tropicais a acidez do solo caracterizada pela deficiência de nutrientes (como Ca^{2+} e Mg^{2+}) e elevada toxidez de Al^{3+} , são fatores que limitam o crescimento das plantas ocasionando uma redução na produção de biomassa (aérea e radicular) tendo reflexos diretos na dinâmica da MOS (SORATTO e CRUSCIOL, 2008; CRUSCIOL et al., 2016; CAIRES et al., 2006). Dessa forma, a calagem permite amenizar os problemas de acidez, propiciando melhores condições para o crescimento das plantas, como consequência, maiores aportes de resíduos

das culturas poderão contribuir para o estoque de COS (Carbono orgânico do solo) (HAYNES e NAIDU, 1998).

Além disso, diversos trabalhos na literatura tem destacado a importância do uso do gesso agrícola de forma complementar ao calcário buscando reduzir a toxidez do Al^{3+} e aumentar o Ca^{2+} em camadas mais profundas do solo (SUMNER et al., 1986; CAIRES et al., 2011; CRUSCIOL et al., 2016). A correção de camadas mais profundas permite maior crescimento de raízes que podem contribuir como fonte de MOS (OATES e CALSWELL, 1985; HAYNES e NAIDU, 1998), isso porque, segundo (KÄTTERER et al., 2011) o coeficiente de humificação do C derivado de raiz pode ser cerca de 2,3 vezes superior ao da parte aérea das plantas. De acordo com os autores essa maior contribuição se deve a natureza química de raízes (mais recalcitrante), como também, devido à associação com microrrizas e exsudados no interior de agregados, possibilitando proteção contra a ação microbiana. Além disso, Chenu et al. (2019) constataram que camadas subsuperficiais do solo apresentam menor concentração de COS, e por esse motivo, possuem maior potencial de armazenar C. Diante disso, práticas de manejo como a calagem gessagem que favorece o crescimento radicular em profundidade podem desempenhar papel de destaque na dinâmica da MOS em regiões tropicais (CARMEIS FILHO, 2016).

A calagem também pode atuar estimulando a curto prazo a atividade biológica (EDMEADES et al., 1981; HAYNES e SWIFT, 1988; BADALUCCO et al., 1992; FUENTES et al., 2006; MARCELO et al., 2012) levando ao aumento da mineralização da MOS. Fuentes et al. (2006) em um experimento de incubação constatou que a aplicação de calcário resultou em maiores taxas de respiração basal e decomposição do C do solo. Puget et al. (1999) verificaram que o aumento da mineralização da MOS devido a aplicação de calcário pode interferir na MO lábil que tem ação agregadora, e com isso, pode afetar negativamente a estabilidade dos agregados. Por outro lado, alguns autores relatam que o aumento da atividade microbiana também pode aumentar a estabilidade dos agregados, já que os microrganismos produzem polissacarídeos extracelulares que podem funcionar como agentes ligantes (BURNS e DAVIES, 1986; CHENU, 1989, 1995; CHESHIRE e HAYES, 1990). Segundo Inagaki et al. (2017) embora a atividade microbiana do solo aumente após 1 e 1,5 anos após a aplicação do calcário e gesso, não se observou esgotamento do COS em um SSD a longo prazo. Alguns trabalhos

sugerem que o aumento da atividade biológica devido à calagem associado a uma grande entrada de palha como ocorre em sistemas conservacionistas, pode compensar as perdas iniciais e manter o equilíbrio do sistema (XIÃO et al., 2018; INAGAKI et al., 2016; BRIEDIS et al., 2012).

Com relação ao gesso agrícola, a maior parte dos estudos relatando sua influência sob a MOS foram desenvolvidos em solos sódicos e/ou alcalinos, que não se aplicam a condições de solos ácidos e intemperizados (CAIRES et al., 1998; OLIVEIRA et al., 1994). No entanto, Wong et al. (2009) em um experimento de incubação constatou que a adição de gesso agrícola isoladamente não afetou os atributos biológicos, mas sua adição com incorporação de resíduos orgânicos aumentou a respiração basal e a biomassa microbiana. Inagaki et al. (2016) constataram que a aplicação de gesso agrícola em um SSD afetou significativamente as frações mais lábeis da MO e a atividade da enzima arilsulfatase, no entanto, os efeitos foram menos pronunciados que a aplicação do calcário. Os autores concluíram, que a aplicação de gesso em solos tropicais altamente intemperizados é uma estratégia eficiente para melhorar a atividade biológica, os estoques de C e a produtividade.

Dessa forma, mais estudos são necessários para avaliar principalmente como essas práticas de manejo podem contribuir para o sequestro de C em áreas agrícolas (INAGAKI, 2016).

2.3 Atributos biológicos como indicadores de qualidade do solo

Os atributos biológicos são importantes indicadores de qualidade do solo, e podem ser usados como ferramenta de monitoramento (TÓTOLA e CHAER, 2002). Esses atributos desempenham papel fundamental na dinâmica da MOS, e são amplamente alterados por práticas agrícolas como, adubação, calagem, sistemas de manejo, dentre outros (NOGUEIRA et al., 2014; BINI et al., 2013; SANTOS et al., 2015; CARDOSO et al., 2013; NAKATANI et al., 2011). Isso porque, essas práticas interferem em determinados parâmetros no solo como, potencial redox, temperatura, tipo de substrato orgânico (matéria orgânica), pH e umidade, que estão intimamente relacionados com o metabolismo microbiano (BRANDANI e SANTOS, 2016).

A biomassa microbiana é considerada um importante indicador de qualidade do solo, sendo considerada o principal constituinte da MOS viva, correspondendo 2 a 5% do carbono orgânico total (COT) em solos tropicais (STEVENSON, 1994; CERRI et al., 1992) e de 1 a 5% do nitrogênio total do solo (JENKINSON e POLWILSON, 1976). É responsável pelos processos de decomposição de resíduos, estabilização de agregados e formação de MOS estável, além de representar uma importante fonte lábil de nutrientes para as culturas (DICK et al., 2009). Como a biomassa microbiana responde rapidamente as práticas de manejo, as quantidades de C e N presentes em sua constituição são consideradas importantes indicadores de qualidade do solo.

A respiração basal do solo (RBS) é definida como o somatório de todas as funções metabólicas cujo CO_2 é produzido, e é influenciada por diversos fatores de solo como, temperatura, umidade, estrutura, disponibilidade de nutrientes, relação C/N, dentre outros (SILVA et al., 2007; TANG et al., 2006; SILVA et al., 2010). Segundo Moura et al. (2015) a RBS descreve o nível de atividade microbiana, e permite obter informações referentes ao teor e a decomposição da MOS. Juntamente com RBS pode-se obter o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), que corresponde a razão entre a RBS por unidade de C da biomassa microbiana e tempo, sendo empregado para avaliar a eficiência de uso de substrato pelos microrganismos (ANDERSON e DOMSCH, 1993). Segundo Alves et al. (2011) o $q\text{CO}_2$ expressa o quanto de CO_2 é liberado pela biomassa microbiana em função do tempo, e representa a taxa de respiração específica da biomassa microbiana. Essa variável pode ser utilizada como um indicador de estresse em situações cujo C da biomassa microbiana é afetado. Tanto a RBS como quociente metabólico são importantes ferramentas para auxiliar no entendimento da dinâmica da MOS (SILVA et al., 2007).

O quociente microbiano ($q\text{Mic}$) corresponde a relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total (DADALTO et al., 2015). Segundo Silva et al. (2010) essa variável tem sido utilizada como indicador da qualidade da matéria orgânica do solo, pois expressa a quantidade de carbono orgânico que está imobilizado na biomassa, demonstrando a eficiência dos microrganismos quanto a utilização dos compostos orgânicos. De acordo com Carneiro et al. (2009) áreas com baixa atividade microbiana apresentam baixos valores de quociente microbiano,

indicando menor reserva de compostos orgânicos. Todavia, altos valores indicam que a MOS está ativa estando sujeita a ser decomposta pela microbiota (DADALTO et al., 2015).

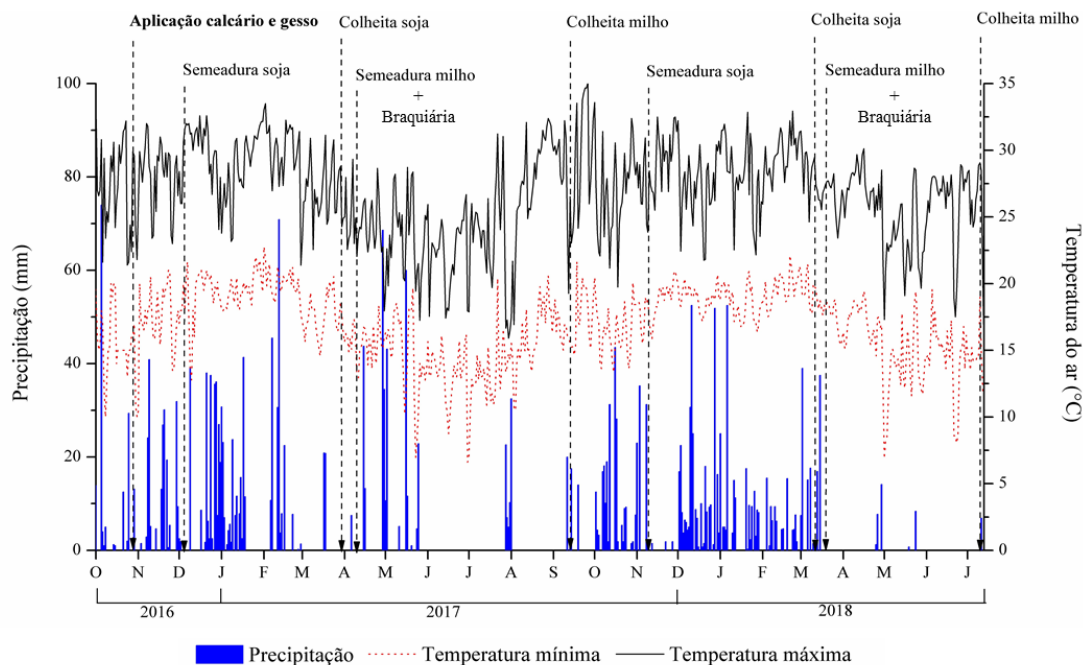
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado nas safras 2016/17 e 2017/18 em uma área manejada sob sistema de semeadura direta desde o ano de 2002, localizada na fazenda experimental da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, no município de Botucatu – sudeste do estado de SP (48° 42' 64" de longitude e 22° 83' 03" de latitude Sul, 765 m acima do nível do mar). Com base na classificação de Köppen, o clima da área de estudo é Cwa, caracterizada por apresentar invernos secos e verões chuvosos. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.400 mm, distribuídos principalmente de outubro a abril.

Os dados diários referentes às temperaturas mínimas e máximas, e precipitações pluviométricas referentes ao período de condução do experimento são apresentadas na figura 1, conforme a Estação Meteorológica da Fazenda Experimental Lageado, pertencente ao Departamento de Recursos Naturais – Setor de Climatologia.

Figura 1 – Precipitação diária, temperaturas máximas e mínimas e as datas de semeadura e colheita das culturas, durante o período experimental de 2016/2018.



O solo da área experimental é denominado Latossolo Vermelho Distroférico de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2013). A análise granulométrica encontra-se na tabela 1.

No início do experimento, em agosto de 2002, previamente à instalação, o solo da área apresentava as seguintes características químicas na camada de 0,0-0,20 m, segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001): pH (CaCl_2) de 4,9; 27,3 g dm^{-3} de M.O.; 35,1 mg dm^{-3} de P (resina); H+Al, Al, K, Ca, Mg e CTC de 35,2; 2,3; 1,1; 24,0; 10,0 e 70,0 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, e V(%) de 50,0.

Tabela 1 – Características granulométricas do solo da área experimental.

Profundidade (m)	Areia	Argila (g kg ⁻¹)	Silte	Textura do solo
0-0,20	545	347	108	Média
0,20-0,40	513	360	127	Argilosa
0,40-0,60	495	383	122	Argilosa

3.2 Histórico da área experimental

A área experimental começou a ser manejada sob SSD no ano de 2002, e ao longo desses anos, diferentes cultivos foram realizados no período de verão e outono/inverno/primavera juntamente com aplicação de calcário e/ou gesso seguindo sempre o tratamento padrão (dose recomendada), quando a saturação por bases encontrava-se abaixo de 50%.

Os respectivos cultivos no período de verão e outono/inverno/primavera e aplicações de calcário e/ou gesso foram: 2002/03 - arroz/aveia preta (2700 kg ha⁻¹ calcário e 2100 kg ha⁻¹ gesso); 2003/04 - feijão/aveia preta; 2004/05 - amendoim/aveia branca (2000 kg ha⁻¹ calcário e 2100 kg ha⁻¹ gesso); 2005/06 - amendoim/aveia branca; 2006/07 - milho/*Urochloa brizantha* cv. Marandu; 2007/08 - milho/*Urochloa brizantha* cv. Marandu; 2008/09 - soja/aveia preta; 2009/10 - soja/sorgo granífero; 2010/11 - milho/crambe/feijão-caupi (2000 kg ha⁻¹ calcário e 2100 kg ha⁻¹ gesso); 2011/12 - milho/crambe/feijão-caupi; 2012/13 - feijão/trigo; 2013/14 - feijão/trigo; 2014/15 - feijão/*Urochloa brizantha* cv. Marandu; 2015/16 - *Urochloa brizantha* cv. Marandu/*Urochloa brizantha* cv. Marandu.

3.3 Delineamento experimental e tratamentos utilizados

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por quatro doses de calcário dolomítico (0, ½, 1 e 2 vezes a dose recomendada para elevar a saturação por bases a 70%) e as subparcelas pela presença ou não de gesso agrícola. A área de cada subparcela correspondia a 48,6 m² (5,4 x 9,0 m).

Nos anos de 2002, 2004 e 2010 as doses de calcário foram definidas com base na análise química do solo na profundidade de 0,0-0,20 m no tratamento padrão, já no ano de 2016 as doses foram definidas com base na análise de solo na profundidade 0,0-0,40 m objetivando equilibrar as doses de calcário com uma elevada dose de gesso mediante a utilização de um novo método de recomendação, como descrito adiante. Em todos os anos as doses de calcário recomendadas foram definidas como descrito por Cantarella et al. (1997). No ano de 2016 as doses de

calcário utilizadas foram ausência de aplicação, 3260, 6520 e 13040 kg ha⁻¹, respectivamente para os tratamentos utilizados.

O cálculo para a recomendação de gesso foi realizado, nas três primeiras aplicações (2002, 2004 e 2010), de acordo Raij et al. (2001), sendo a dose recomendada baseada na equação 1:

$$NG \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{teor de argila da camada 0,20-0,40 m} \times 6 \quad (1)$$

No ano de 2016, a reaplicação de gesso foi realizada de acordo com o método proposto por Caires e Guimarães (2016) que se baseia em elevar a 60% a saturação por Ca na CTC efetiva (CTCe) do subsolo (0,20 – 0,40 m). Com base no novo método, foram aplicados 10.000 kg ha⁻¹ de gesso, seguindo a equação 2:

$$NG \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)} = ((0,6 \times CTCe) - \text{teor de Ca em mmol}_c \text{ dm}^{-3}) \times 0,64 \quad (2)$$

As características do calcário dolomítico e o gesso agrícola utilizados na última aplicação: Calcário - 31,14% de CaO, 13,92% de MgO e 69% de PRNT; Gesso - 28,13% de CaO e 14,86% de S.

3.4 Instalação e condução do experimento

No dia 29 de outubro de 2016, as doses de calcário e/ou gesso foram aplicadas em superfície. Antes da reaplicação dos insumos, foram retiradas amostras de solo representativas de cada unidade experimental, nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, objetivando caracterizar os atributos químicos e matéria orgânica do solo em cada subparcela. Nessa ocasião, a área estava sendo cultivada com *Urochloa brizantha* cv. Marandu, a qual foi submetida à dessecação química utilizando o herbicida glifosato (Roundup WG) na dose 2,0 kg ha⁻¹ de produto comercial (p.c).

3.4.1 Cultivo da soja – Safra 2016/17

A semeadura da soja variedade M5917 IPRO ocorreu no dia 06 de dezembro de 2016, utilizando o espaçamento de 0,45 m e 18 sementes viáveis m^{-1} . Previamente, as sementes foram tratadas com fungicida Carboxin + Thiran, inseticida Thiamethoxam e inoculante *Bradyrhizobium* sp. A adubação de semeadura consistiu na aplicação de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 e K_2O .

O controle de plantas daninhas foi realizado por meio da aplicação de herbicida glifosato, na dose 2 kg ha^{-1} (p.c) no dia 03/01/17. Posteriormente, o mesmo herbicida foi aplicado combinado com o inseticida (Acefato na dose de 1,70 kg ha^{-1} marca comercial Orthene© 750BR) no dia 25/01/17. O fungicida (Pyraclostrobin + Epoxiconazol, na dose de 0,6 L ha^{-1} nome comercial Opera®) foi aplicado de forma preventiva no dia 10/02/17 combinada com o inseticida (Metomil, na dose de 1,5 kg nome comercial Lanatte©). Aplicações posteriores também foram realizadas de forma combinadas de inseticidas principalmente para o controle da lagarta da soja e tripses em 15/02/17 e em 04/03/17 (Acefato na dose de 1,0 kg ha^{-1} de Orthene® 750BR + Metomil na dose de 2,0 kg Lanatte©).

No dia 20/03/17 foi realizada aplicação de inseticida (Tiametoxam na dose de 1,5 kg ha^{-1} Engeo©) para controlar o percevejo da soja e o percevejo marrom. No dia 31/03/17 a área foi dessecada por meio do herbicida (Paraquat, comercial Gramoxone©) para proceder à colheita.

3.4.2 Cultivo do milho consorciado com a braquiária – entressafra 2017

A semeadura do milho híbrido Dow 2A401 PW ocorreu no dia 03 de abril de 2017, no espaçamento de 0,45 m e 3,2 sementes viáveis m^{-1} . A adubação de semeadura consistiu no uso de 45 kg ha^{-1} de N, 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 40 kg ha^{-1} de K_2O . A semeadura da *Urochloa ruziziensis* utilizada para o consórcio ocorreu simultaneamente à do milho, misturadas juntamente ao adubo poucas horas antes da semeadura. Desta forma, as sementes foram aplicadas junto ao sulco, na profundidade de deposição do adubo, visando atraso em sua germinação para menor competição com a cultura do milho. Foi utilizado 12 kg de sementes ha^{-1} .

levando em conta um valor cultural de 78%. A adubação em cobertura ocorreu no dia 04/05/17 fazendo uso de 90 kg ha⁻¹ de N [(NH₄)₂SO₄ - 20% de N].

O controle de plantas daninhas no milho foi realizado mediante a aplicação de herbicida (2,4-D, Sal Dimetilamina na dose 1,0 L ha⁻¹ marca comercial Dma® 806 BR) no dia 28/04/17. No dia 08/05/17 foi aplicado o herbicida (Nicossulfurom na dose de 0,200 L ha⁻¹ marca comercial Sanson 40 SC). O controle de insetos praga foi realizado mediante a aplicação do inseticida (Tiametoxam + Lambda-Cialotrina na dose de 0,100 L ha⁻¹ marca comercial Engeo Pleno™ S). No dia 12/09/17 foi realizada a colheita de forma manual, na área útil de amostragem.

3.4.3 Cultivo da soja – Safra 2017/18

A semeadura da soja variedade TMG 7062 IPRO ocorreu no dia 06 de novembro de 2017, utilizando o espaçamento de 0,45 m e 18 sementes viáveis m⁻¹. Previamente, as sementes foram tratadas com fungicida Carboxin + Thiran, inseticida Thiamethoxam e inoculante *Bradyrhizobium* sp. A adubação de semeadura consistiu na aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O.

No dia 06/12/17 o controle de plantas daninhas foi realizado por meio da aplicação do herbicida glifosato, na dose 2 kg ha⁻¹ (p.c). Em 10/01/18 foi aplicado unicamente o fungicida (Trifloxistrobina +Protiocanazole, nome comercial Fox® na dose de 0,4 L ha⁻¹). No dia 01/02/18 foram aplicados o fungicida (Trifloxistrobina+ Tebuconazol na dose de 0,250 L ha⁻¹ marca comercial Nativo®) e o inseticida (Imidacloprido + Bifentrina na dose 0,200 L ha⁻¹ marca comercial Galil SC). No dia 21/02/18 o fungicida (Trifloxistrobina+ Protiocanazol na dose de 0,3 L p.c ha⁻¹ marca comercial Fox ®) e o inseticida (Imidacloprido + Bifentrina na dose 0,200 L ha⁻¹ marca comercial GALIL SC). Em 01/03/18 foi realizada a aplicação de inseticida (Tiametoxam na dose de 1,5 kg ha⁻¹ Engeo®). No dia 06/03/18 a área foi dessecada por meio de herbicida (Paraquat, marca comercial Gramoxone©) e a colheita ocorreu no dia 12/03/18.

3.4.4 Cultivo do milho consorciado com a braquiária – entressafra 2018

A semeadura do milho híbrido Impacto Viptera 3 ocorreu no dia 14 de março de 2018, com uma população de 70 mil plantas por ha^{-1} . A adubação de semeadura foi constituída pelo uso de 45 kg ha^{-1} de N, 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 40 kg ha^{-1} de K_2O . A semeadura da *Urochloa ruziziensis* utilizada para o consórcio ocorreu simultaneamente à do milho, conforme descrito no item (3.4.2). A adubação em cobertura ocorreu no dia 15/04/18 fazendo uso de 90 kg ha^{-1} de N $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 - 20\% \text{ de N}]$.

O controle de plantas daninhas no milho foi realizado no dia 11/04/18 mediante a aplicação de herbicida (6-chloro-N²-ethyl-N 4 -isopropyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine na dose $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ marca comercial Atrazina) e o herbicida (Nicossulfurom na dose de $0,200 \text{ L ha}^{-1}$ marca comercial Sanson 40 SC). O controle de insetos praga foi realizado mediante a aplicação do inseticida (Tiametoxam + Lambda-Cialotrina na dose de $0,100 \text{ L ha}^{-1}$ marca comercial Engeo Pleno™ S). Apesar de considerável teor de umidade no solo no plantio, o desenvolvimento da cultura foi prejudicado devido ao déficit hídrico que perdurou por todo o ciclo, o que acarretou em baixa produtividade da cultura nessa safra.

3.5 Avaliações

3.5.1 Aporte de carbono e nitrogênio pelos resíduos culturais

Foram amostrados os resíduos culturais das culturas produtoras de grãos (soja e milho) e da braquiária nas duas safras. As coletas foram realizadas com o auxílio de um quadro de aço com $0,25 \text{ m}^2$ de área ($0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$) em quatro repetições por parcela. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel, e secos em estufa de aeração forçada a 60° C até massa constante. Neste momento, procedeu-se a mensuração da massa de matéria seca dos resíduos. Em seguida, as amostras foram moídas e submetidas ao analisador elementar automático Modelo TruSpec™ CHNS, da LECO® (SWIFT, 1996) para determinação dos teores de C-

total e N-total, permitindo dessa maneira calcular o aporte de C e N via resíduos culturais.

3.5.2 Aporte de carbono e nitrogênio pelas raízes de soja, milho e braquiária

O aporte de C e N pelo sistema radicular para cada tratamento foi obtida baseada no aporte de C e N pelos resíduos culturais obtidos no item (3.5.1), utilizando relação C e N da parte aérea e radicular segundo Redin et al. (2018). Para a determinação do aporte de C pelas raízes da soja utilizou-se a relação 10, para milho 4,7 e para braquiária 4,3 (REDIN et al., 2018). Para a determinação do aporte de N pelas raízes da soja utilizou-se a relação 8,3, para milho 1,6 e para a braquiária 2,7 (REDIN et al., 2018). Dessa forma o aporte de C e N pelo sistema radicular das culturas produtoras de grãos e braquiária na profundidade de 0,0-0,20 m foi determinado.

3.5.3 pH, carbono e nitrogênio total no solo

Foram realizadas três coletas de solo durante o experimento, sendo a primeira em outubro de 2016 (antes da reaplicação do calcário e gesso), a segunda em outubro de 2017 (12 meses após a reaplicação do calcário e gesso) e a terceira em outubro de 2018 (24 meses após a reaplicação do calcário e gesso). Nas três coletas o solo foi amostrado nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, com auxílio de trado tipo sonda, sendo amostrados quatro subamostras por profundidade em cada subparcela. Em seguida as amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira com malha de 2 mm e submetidas à determinação do pH (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹). As amostras coletadas antes da reaplicação do calcário e gesso e 24 meses após foram moídas em moinho de bola, e em seguida, mediante o uso de analisador elementar automático Modelo TruSpec™ CHNS, marca LECO®, determinou-se os teores de C-total e N-total (SWIFT, 1996). De acordo com Moraes Sá et al. (2013), o teor de carbonatos em latossolos são insignificantes (<0,25% do conteúdo de COS). Por esse motivo, considerou-se o C determinado via combustão como o conteúdo total de C no solo.

A partir dos teores de C-total e N-total do solo e da densidade (avaliação realizada em outro trabalho simultâneo sendo os dados não apresentados) foram calculados os estoques de C e N nas diferentes camadas avaliadas, conforme a equação 3:

$$\text{Estoque} = d \times \mu \times e \quad (3)$$

Onde, estoque = estoque de C no solo (Mg ha^{-1}); d = densidade aparente do solo na camada estudada (g cm^{-3}); μ = teor de C no solo (%); e = espessura da camada estudada (cm).

3.5.4 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

Nas três coletas de solo durante o experimento (descrito no item 3.5.3), o fracionamento físico da MOS foi realizado conforme o método granulométrico adaptado de Cambardella e Elliot (1992) nas profundidades de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

O método tem como objetivo separar o carbono orgânico do solo em duas frações, sendo estas, o carbono orgânico particulado (COP), menos decomposto e mais recentemente depositado no solo, e o carbono associado a minerais (COM), mais recalcitrante e humificado.

Inicialmente, uma parte do solo foi submetida ao analisador elementar automático Modelo TruSpec™ CHNS, marca LECO®, para a determinação dos teores de C-total (SWIFT, 1996). Posteriormente, com a outra fração da amostra pesou-se 20 g de solo e adicionou-se 80 mL de $(\text{NaPO}_3)_6$ (5 g L^{-1}). As amostras foram agitadas por cerca de 15 horas e passadas em peneira de malha com abertura de 0,053 mm (270 Mesh) com o auxílio de jato de água. O material particulado retido na peneira, ou fração particulada, foi transferido para potes de alumínio, com auxílio de jatos de água, e seco em estufa de circulação de ar forçada a 50°C até atingir massa constante. Após a secagem, o material foi pesado, determinando-se assim a massa da fração particulada (MFP). Em seguida, o material foi moído e homogeneizado com auxílio de um bastão de vidro, e submetido à determinação de C em analisador elementar, obtendo-se o teor de carbono da

fração particulada do solo (CFP). Com base nesse valor, calculou-se o teor de carbono orgânico particulado (COP) do solo, de acordo com a equação 4:

$$COP = \frac{CFP \cdot MFP}{Ps} \quad (4)$$

Em que: *COP* = Carbono orgânico particulado do solo (g kg^{-1}); *CFP* = Carbono da fração particulada (g kg^{-1}); *MFP* = massa da fração particulada (g); *Ps* = massa da amostra inicial do solo (g).

O teor de Carbono associado a minerais (COM) foi calculado pela diferença entre o carbono orgânico total e o carbono orgânico particulado (Equação 5).

$$COM = COT - COP \quad (5)$$

Em que: *COM* = Carbono orgânico associado a minerais no solo (g kg^{-1}); *COT* = Carbono orgânico total do solo, (g kg^{-1}); *COP* = Carbono orgânico particulado do solo (g kg^{-1}).

3.5.5 Análises Microbianas

Na safra da soja 2017/18 uma coleta de solo na profundidade de 0,0-0,10 m foi realizada com auxílio de trado tipo sonda, coletando quatro amostras por subparcela. Em seguida as amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira com malha de 2 mm. Uma fração da amostra foi moída em moinho de bola, e em seguida, mediante o uso de analisador elementar automático Modelo TruSpec™ CHNS, marca LECO®, determinou-se os teores de C-total e N-total (SWIFT, 1996). O restante da amostra foi submetido às análises microbiológicas para a determinação do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico do solo.

3.5.5.1 Biomassa Microbiana

A análise de biomassa microbiana do solo (BMS) foi realizada em duplicata, utilizando a metodologia descrita por Ferreira et al. (1999). Inicialmente, o solo foi seco em estufa com ventilação a 30° C por 24 horas, em seguida, foram pesadas duas amostras de 50 g de cada parcela em erlenmeyer de 250 mL. Posteriormente, as amostras foram reumedecidas com 3 mL de água destilada para atingir aproximadamente 25% da capacidade de campo de um solo arenoso (REICHARDT, 1987), agitadas para uniformizar a distribuição da umidade, e em seguida, uma amostra de cada duplicata foi colocada para irradiar no micro-ondas por 70 segundos, tempo obtido pela equação 6:

$$T = r. mt/P \quad (6)$$

Em que: T= tempo real de exposição das amostras ao micro-ondas; R = 800J g⁻¹ de solo, quantidade de energia necessária para exposição; mt= Massa total das amostras a serem irradiadas em gramas; P = Potência real do aparelho em W.

A potência real do aparelho foi calculada pela equação 7:

$$P = (Cp. K. \Delta t. m)/T \quad (7)$$

Em que: P = Potência real do aparelho em W; Cp = 1 J ml⁻¹ °K⁻¹, capacidade da água de receber calor; K = 4,184, fator de correção de cal m⁻¹ ° K⁻¹ para watts (J s⁻¹); Δt = Variação de temperatura em °C de 1 L de água em 2 minutos de exposição; m = 1000g, massa da água em gramas; t = 120s, tempo de exposição da água ao micro-ondas.

As amostras irradiadas e não-irradiadas foram submetidas à extração com 50 mL de sulfato de potássio - K₂SO₄ (0,5 mol L⁻¹) por 30 minutos, em um agitador rotatório circular. Foram então deixadas para decantar, em seguida, filtradas em papel filtro. Deste filtrado, 10 mL foram utilizados para a análise do carbono, e 10 mL foram guardados em tubo rosca e mantidos sob refrigeração para a análise do

nitrogênio da biomassa microbiana, o qual foi realizado segundo Tedesco et al. (1995).

A determinação do carbono nos extratos irradiados e não irradiados foram feitas utilizando-se 10 mL do extrato, oriundo dos 50 mL após filtração, e adicionando-se em seguida 2 mL de $K_2Cr_2O_7$ ($0,066 \text{ mol L}^{-1}$), 10 mL de H_2SO_4 concentrado e 5 mL de H_3PO_4 concentrado. Após o resfriamento foi adicionado 50 mL de água destilada.

A titulação foi feita utilizando-se sulfato ferroso amoniacal ($0,04 \text{ mol L}^{-1}$) com fenilalanina como indicador. O C extraído do solo foi calculado pela equação 8:

$$C = \frac{(V_b - V_a) \cdot N \cdot 1000 \cdot V_{\text{extrator}}}{(\text{volume do extrato} \cdot \text{massa do solo seco})} \quad (8)$$

Em que: C = carbono extraído do solo (mg kg^{-1}); V_b = Volume (mL) do $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ gasto na titulação do branco; V_a = Volume (mL) do $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ gasto na titulação da amostra; N = normalidade exata do $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$, $N = 0,677$; V_{extrator} = Volume de K_2SO_4 utilizado na extração = 50mL; Volume do extrato = 10 mL; Massa do solo seco em gramas = 50 g.

O C_{mic} (mg Kg^{-1}) foi calculado pela equação 9:

$$C_{mic} = \frac{CI - CNI}{Kec} \quad (9)$$

Em que: CI = carbono extraído do solo irradiado; CNI = carbono extraído do solo não irradiado; Kec = proporção total do carbono microbiano extraído após irradiação = 0,21 (FRIGHETTO, 2000). O fator de correção Kec citados na literatura são muito variáveis (0,21 a 0,45), não havendo um consenso a respeito do valor a ser utilizado. Neste trabalho adotou-se o valor de 0,21 (FRIGHETTO, 2000).

3.5.5.2 Análise da respiração

A respiração do solo foi avaliada segundo Alef e Nanipieri (1995). Foram utilizadas amostras de 50 g de solo. Estas foram homogeneizadas e mantidas dentro

de frascos herméticos. Sobre a superfície do solo, em cada frasco colocou um becker de 50 mL contendo 40 mL de solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹. Os frascos ficaram incubados pelo período de 48 horas. Para avaliar a retenção de CO₂ na solução, utilizou o método condutimétrico (RODELLA e SABOYA, 1999) com leituras de condutividade na solução de NaOH a cada 24 horas, empregando-se um condutivímetro HI99301 (Hanna Instruments). A quantidade de CO₂ produzida pela respiração foi calculada utilizando-se fórmula definida por Rodella e Saboya (1999) e os resultados foram expressos em mg de C-CO₂ g⁻¹ h⁻¹.

3.5.5.3 Quociente metabólico qCO₂

O quociente metabólico foi calculado mediante a razão entre o C-CO₂ liberado pela respiração do solo e o C na biomassa microbiana, expresso em mg C-CO₂/g/Cmic/h (ANDERSON e DOMSCH, 1993).

3.5.6 Fluxo de CO₂ do solo

O fluxo de CO₂ foi mensurado por meio do analisador portátil (IRGA – Infrared Gas Analyzer) da marca LI-COR, modelo LI-8100A. O aparelho monitora a cada segundo as variações da concentração de CO₂ no interior da câmara por espectroscopia de absorção óptica no infravermelho. Desse modo, o aparelho foi configurado como leitura em 120 segundos, sendo 15 segundos para “limpeza” ou pré-purga e 15 segundos para pós-purga, resultando pela automática regressão o fluxo de CO₂ em μmol m⁻² s⁻¹, transformados posteriormente em g m² h⁻¹. Durante a leitura, a câmara do aparelho foi acoplada a um cilindro de PVC com 20 cm de diâmetro e 12 cm de altura, com a borda inferior aprofundada a 3 cm no solo na linha de semeadura de cada subparcela. Os cilindros de PVC foram retirados da área somente no momento da colheita ou manejo das culturas. Simultaneamente a leitura do fluxo, a temperatura e umidade volumétrica foram determinados a profundidade de 5 cm por meio de TDR (Time Domain Reflectometry) 5TM® (Decagon Devices).

As determinações foram realizadas aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) das culturas produtoras de grãos (soja e milho) nos dois anos agrícola.

Mediante a integração da área sob a curva dos picos de emissão de cada dia foram obtidas as emissões acumuladas em cada safra com auxílio do software Origin 8.6® (ORIGINLAB, 2011). Os dados foram convertidos em kg ha^{-1} de equivalente carbono (C-CO_2).

3.5.7 Produtividade de grãos

Nas duas safras de soja, a produtividade de grãos foi determinada pela coleta das plantas contidas nas 3 linhas úteis de cada parcela. Após a trilha mecânica, os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha^{-1} ao grau de umidade a 130 g kg^{-1} de água. E nas duas safras de milho, a produtividade dos grãos determinada pela coleta das espigas das plantas contidas nas 3 linhas úteis de cada parcela. Após a trilha mecânica, os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha^{-1} ao grau de umidade a 130 g kg^{-1} de água.

A partir dos valores de emissões acumuladas de CO_2 e a das produtividades das culturas da soja e milho, foi calculada a quantidade de C-CO_2 emitida em razão da produtividade de grãos, expressos em $\text{g C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ de grãos.

3.5.8 Balanço de carbono

Com base nos resultados de C-CO_2 emitidos anualmente e nos resultados de C aportado via resíduos vegetais (raízes + parte aérea), em cada subparcela, foi calculado o balanço de carbono, mediante a equação 10.

$$\text{Balanço} = C_{\text{entrada}} - C_{\text{saída}} \quad (10)$$

Onde: Balanço: é o saldo de C em kg ha^{-1} ; C_{entrada} : aportes de C (kg ha^{-1}) via resíduos vegetais (raízes + parte aérea) de soja, milho e braquiária; e $C_{\text{saída}}$: as perdas de C-CO_2 (kg ha^{-1}) do solo para a atmosfera.

3.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk. Atendido os pressupostos, foi realizada análise de variância e ao teste t de comparação de médias ao nível de 5% de probabilidade de erro utilizando-se o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA e MALDONADO, 2015).

4 RESULTADOS

4.1 pH do solo

Na tabela 2 encontram-se os valores de probabilidade de F, e na tabela 3 os respectivos valores de pH em CaCl_2 nas profundidades de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m antes e aos 12 e 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.

Antes da reaplicação do calcário e gesso observa-se que nas diferentes profundidades há uma diferença nos valores de pH devido as aplicações que historicamente vinham sendo empregadas na área, conforme relatado no item (3.2).

Tabela 2 – Probabilidade de F dos valores de pH em (CaCl_2) antes e aos 12 e 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.

Tratamentos	pH (CaCl_2)		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Probabilidade de F (Antes da reaplicação)			
Calcário	<0,01**	0,20NS	<0,01**
Gesso	0,60NS	0,14NS	0,76NS
Calc x Gess	0,77NS	0,14NS	0,90NS
CV calcário	8,55	18,99	7,07
CV gesso	5,82	12,15	7,91
Média geral	4,45	4,03	4,02
Probabilidade de F (12 meses após a reaplicação)			
Calcário	<0,01**	<0,01**	<0,01**
Gesso	0,84NS	0,28NS	0,05NS
Calc x Gess	0,34NS	0,26NS	0,08NS
CV calcário	4,31	6,36	4,60
CV gesso	7,55	5,27	4,80
Média geral	4,57	4,34	4,08
Probabilidade de F (24 meses após a reaplicação)			
Calcário	<0,01**	<0,01**	<0,01**
Gesso	<0,01**	0,05NS	0,35NS
Calc x Gess	0,56NS	0,80NS	0,80NS
CV calcário	5,33	7,44	3,85
CV gesso	3,88	3,46	3,01
Média geral	5,01	4,33	4,11

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F.

Observa-se que principalmente as camadas de 0,0-0,10 e 0,20-0,40 m de profundidade os maiores valores de pH foram associados as maiores doses de calcário que historicamente vinham sendo empregadas. Para todas as profundidades não houve efeito significativo quanto à aplicação de gesso agrícola (Tabela 3).

Após 12 meses da reaplicação do calcário e gesso, observa-se que a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário apresentou nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade os maiores valores de pH, sendo estes, cerca de 27, 25 e 16% superiores ao tratamento controle, respectivamente. Para todas as profundidades não houve efeito significativo quanto à aplicação de gesso (Tabela 3).

Após 24 meses da reaplicação do calcário e gesso, nota-se que a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário apresentou nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade valores de pH cerca de 34, 29 e 17% superiores ao tratamento controle, respectivamente. Na profundidade de 0,0-0,10 m a reaplicação de gesso agrícola promoveu um aumento de aproximadamente 5% no valor de pH em comparação ao tratamento controle, no entanto, não houve efeito significativo para as demais profundidades (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores de pH do solo nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, antes e aos 12 e 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.

Tratamentos	pH (CaCl ₂)		
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m
Calcário	Antes da reaplicação		
0	3,86 c	3,67	3,69 c
3260	4,28 bc	3,97	3,89 bc
6520	4,66 ab	3,94	4,09 ab
13040	5,00 a	4,53	4,39 a
Gesso			
0	4,43	3,89	4,03
10000	4,48	4,16	4,00
Calcário	12 meses após reaplicação		
0	3,85 d	3,88 c	3,77 c
3260	4,44 c	4,07 c	3,93 bc
6520	4,69 b	4,42 b	4,10 b
13040	5,32 a	4,99 a	4,53 a
Gesso			
0	4,56	4,30	4,01
10000	4,59	4,39	4,15
Calcário	24 meses após a reaplicação		
0	3,95 d	3,70 c	3,79 c
3260	4,81 c	4,03 bc	3,99 b
6520	5,20 b	4,36 b	4,15 b
13040	6,07 a	5,22 a	4,58 a
Gesso			
0	4,89 b	4,27	4,10
10000	5,13 a	4,38	4,14

*Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p < 0,05$).

De modo geral, as maiores mudanças nos valores de pH ao longo do tempo foram observadas na camada de 0,0-0,10 m. Nessa profundidade, os valores de pH 12 meses após a reaplicação de calcário foram cerca de 3,6% (dose 3260 kg ha⁻¹ de calcário), 0,63% (dose 6520 kg ha⁻¹ de calcário) e 6% (13040 kg ha⁻¹ de calcário) superiores aos valores antes da reaplicação. Os valores de pH 24 meses após a reaplicação de calcário foram cerca de 11% (dose 3260 kg ha⁻¹ de calcário), 10,38% (dose 6520 kg ha⁻¹ de calcário) e 17% (13040 kg ha⁻¹ de calcário) superiores aos valores antes da reaplicação (Tabela 3).

Na camada de 0,10-0,20 m, os valores de pH 12 meses após a reaplicação de calcário foram cerca de 2,4% (dose 3260 kg ha⁻¹ de calcário), 10,85% (dose 6520 kg ha⁻¹ de calcário) e 9,21% (13040 kg ha⁻¹ de calcário) superiores aos valores antes da reaplicação. Os valores de pH 24 meses após a reaplicação de calcário foram cerca de 1,48% (dose 3260 kg ha⁻¹ de calcário), 9,63% (dose 6520 kg ha⁻¹ de calcário) e 13,21% (13040 kg ha⁻¹ de calcário) superiores aos valores antes da reaplicação (Tabela 3).

Na camada de 0,20-0,40 m, os valores de pH 12 meses após a reaplicação de calcário foram cerca de 1,01% (dose 3260 kg ha⁻¹ de calcário), 0,24% (dose 6520 kg ha⁻¹ de calcário) e 3,09% (13040 kg ha⁻¹ de calcário) superiores aos valores antes da reaplicação. Os valores de pH 24 meses após a reaplicação de calcário foram cerca de 2,50% (dose 3260 kg ha⁻¹ de calcário), 1,44% (dose 6520 kg ha⁻¹ de calcário) e 4,14% (13040 kg ha⁻¹ de calcário) superiores aos valores antes da reaplicação (Tabela 3).

De modo geral, observa-se que as maiores doses de calcário promoveram aumentos nos valores de pH em maiores profundidades, e as menores doses apenas nas camadas superficiais. Além disso, nota-se que há efeito residual do calcário 24 meses após a reaplicação, até 0,20 m de profundidade, principalmente quando a maior dose de calcário foi empregada (13040 kg ha⁻¹).

4.2 Aporte de C e N pelo sistema radicular das culturas

Na tabela 4 encontram-se os respectivos aportes de C pela massa de matéria seca radicular das culturas produtoras de grãos e braquiária no primeiro ano agrícola, no segundo ano agrícola e no total dos dois anos agrícolas na profundidade de 0,0-0,20 m.

No primeiro ano agrícola, a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário promoveu os maiores aportes de C pelas raízes da soja, milho e braquiária (Tabela 4). Ao final do primeiro ano agrícola, constata-se que a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário apresentou um aporte de C pelas raízes cerca de 13, 28 e 38% superior à dose 6520, 3260 e controle, respectivamente. De modo geral, no primeiro ano, somente a cultura da soja apresentou resposta significativa à aplicação de gesso agrícola, refletindo num aumento de 7% em relação ao tratamento controle (Tabela 4).

Tabela 4 – Aporte de C (Mg ha⁻¹) pelo sistema radicular das culturas e braquiária na profundidade de 0,0-0,20 m nos dois anos agrícolas.

Tratamentos	Primeiro Ano				Segundo Ano				Σ 2 anos
	Soja	Milho	Braq	Total	Soja	Milho	Braq	Total	
Calcário									
0	0,12 c	0,52 c	0,56 c	1,20 c	0,11 d	0,20 d	0,41 c	0,73 d	1,95 d
3260	0,13 c	0,59 c	0,63 bc	1,35 c	0,12 c	0,23 c	0,48 b	0,84 c	2,20 c
6520	0,15 b	0,78 b	0,75 ab	1,70 b	0,14 b	0,32 b	0,72 a	1,20 b	2,85 b
13040	0,19 a	0,90 a	0,86 a	1,95 a	0,16 a	0,41 a	0,74 a	1,32 a	3,25 a
Gesso									
0	0,14 b	0,67	0,70	1,52	0,13	0,28 b	0,60	1,00	2,50
10000	0,15 a	0,72	0,70	1,57	0,13	0,30 a	0,57	1,00	2,60
Probabilidade de F									
Calcário	<0,01**	<0,01**	0,01*	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**
Gesso	<0,01**	0,17NS	0,94NS	0,35NS	0,10NS	0,01*	0,40NS	0,85NS	0,40NS
Calc x Gess	0,35NS	0,35NS	0,95NS	0,82NS	0,60NS	0,60NS	0,80NS	0,60NS	0,80NS
CV calcário	8,90	9,00	20,80	10,15	5,70	8,00	10,00	6,45	5,00
CV gesso	7,80	12,80	16,50	10,50	8,80	8,00	13,55	9,10	7,85
Média geral	0,15	0,70	0,70	1,55	0,13	0,29	0,59	1,00	2,55

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

No segundo ano agrícola, de modo geral, o maior aporte de C pelo sistema radicular foi observado na dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário para a soja e o milho, e as doses de 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário para a braquiária. Para o fator gesso apenas a cultura do milho apresentou diferença significativa (Tabela 4). De acordo com o aporte de C radicular total do segundo ano agrícola, a dose 13040 kg ha⁻¹ de calcário proporcionou um incremento de 9% no aporte de C em relação à dose 6520 kg ha⁻¹, 36% em relação à dose 3260 kg ha⁻¹ e 44% em relação ao tratamento controle. Para a variável analisada não houve diferença estatística quanto à aplicação de gesso agrícola (Tabela 4).

No total dos dois anos agrícolas apenas o fator calcário teve efeito significativo, cuja dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário promoveu um aporte de C pelo sistema radicular das culturas e braquiária cerca de 12, 32 e 40% em relação a dose de 6520, 3260 e 0 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 4).

Na tabela 5 encontram-se os respectivos aportes de N pela massa de matéria seca radicular das culturas produtoras de grãos e braquiária no primeiro ano agrícola, no segundo ano agrícola e no total dos dois anos agrícolas na profundidade de 0,0-0,20 m.

Tabela 5 – Aporte de N (Kg ha⁻¹) pelo sistema radicular das culturas e braquiária na profundidade de 0,0-0,20 m nos dois anos agrícolas.

Tratamentos	Primeiro Ano				Segundo Ano				Σ 2 anos
	Soja	Milho	Braq	Total	Soja	Milho	Braq	Total	
Calcário									
0	4,70 c	24,40 c	36,50 b	65,60 c	4,40 b	10,60 c	26,50 c	42,00 c	107,00 d
3260	5,80 b	27,10 c	41,50 ab	74,35 bc	5,00 b	11,20 c	32,00 b	48,50 b	122,85 c
6520	6,50 b	37,70 b	43,90 ab	88,10 b	5,20 b	15,80 b	40,80 a	63,00 a	151,30 b
13040	8,60 a	48,20 a	47,75 a	104,60 a	6,20 a	19,25 a	42,45 a	66,30 a	170,90 a
Gesso									
0	6,40	31,75	43,80	82,00	5,00 b	14,25	37,50	56,60	138,50
10000	6,40	36,95	41,00	84,35	5,55 a	14,20	33,40	53,20	137,50
Probabilidade de F									
Calcário	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**
Gesso	0,97NS	0,07NS	0,32NS	0,50NS	0,03*	0,92NS	0,05NS	0,15NS	0,80NS
Calc x Gess	4,80*	0,25NS	0,42NS	0,50NS	0,45NS	0,90NS	0,27NS	0,25NS	0,25NS
CV calcário	11,20	21,20	22,15	15,30	14,45	19,00	12,35	9,25	8,30
CV gesso	14,65	21,90	18,10	11,35	15,10	12,00	15,40	11,15	8,50
Média geral	6,40	34,35	42,40	83,00	5,20	14,20	35,46	54,90	138,00

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

No primeiro ano agrícola, a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário promoveu os maiores aportes de N pelas raízes da soja e milho (Tabela 5). Já o maior aporte de N pelas raízes de braquiária se deu na dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário que não diferiu das doses de 6520 e 3260. Ao final do primeiro ano agrícola, constata-se que a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário apresentou um aporte de N pelas raízes cerca de 16, 29 e 37% superior à dose 6520, 3260 e controle, respectivamente. De modo geral, no primeiro ano, não houve diferença significativa para o fator gesso em nenhuma variável analisada (Tabela 5).

No segundo ano agrícola, de modo geral, o maior aporte de N pelo sistema radicular foi observado na dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário para a soja e o milho, e as doses de 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário para a braquiária. Para o fator gesso apenas a cultura da soja apresentou diferença significativa (Tabela 5). Com base nos aportes de N pelo sistema radicular no segundo ano nota-se que não houve diferença estatística entre as doses de 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário que apresentaram aporte médio de 25 e 35% superior às doses de 6520 e 3260 kg ha⁻¹

de calcário, respectivamente. Para a variável analisada não houve diferença estatística quanto à aplicação de gesso agrícola (Tabela 5).

No total dos dois anos agrícolas apenas o fator calcário teve efeito significativo, cuja dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário promoveu um aporte de N pelo sistema radicular das culturas e braquiária cerca de 11, 28 e 37% em relação a dose de 6520, 3260 e 0 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 5).

O aporte de N pelo sistema radicular na cultura da soja apresentou interação significativa entre o calcário e o gesso no primeiro ano (Tabela 6). O tratamento controle combinado com gesso agrícola reduziu o aporte de N pelo sistema radicular, no entanto, a dose de 6520 kg ha⁻¹ combinada com gesso maior aporte de N foi observado (Tabela 6).

Tabela 6 – Interações entre calcário e gesso no aporte de N (kg ha⁻¹) pelo sistema radicular na profundidade de 0,00-0,20 m.

Gesso	Calcário			
	0	3260	6520	13040
Soja primeiro ano				
0	5,40 Ba	6,10 B	5,50 Bb	8,55 A
10000	4,00 Cb	5,50 B	7,45 Aa	8,65 A
LSD	1,44			

* Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem ao teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4.3 Aporte de C e N pela massa de matéria seca da parte aérea

Na tabela 7 encontram-se os respectivos aportes de C pela massa de matéria seca da palha das culturas no primeiro ano agrícola (soja, milho e braquiária), no segundo ano agrícola (soja, milho e braquiária) e no total dos dois anos agrícolas.

Tabela 7 – Aporte de C (Mg ha⁻¹) pela massa de matéria seca da parte aérea nos dois anos agrícolas.

Tratamentos	Primeiro Ano				Segundo Ano				Σ 2 anos
	Soja	Milho	Braq	Total	Soja	Milho	Braq	Total	
Calcário									
0	1,20 c	2,50 c	2,40 c	6,10 c	1,10 d	0,95 d	1,80 c	3,85 d	9,95 d
3260	1,30 c	2,80 b	2,70 bc	6,80 c	1,20 c	1,10 c	2,10 b	4,40 c	11,20 c
6520	1,50 b	3,65 b	3,20 ab	8,40 b	1,40 b	1,50 b	3,10 a	6,00 b	14,35 b
13040	1,90 a	4,20 a	3,72 a	9,85 a	1,65 a	1,90 a	3,20 a	6,75 a	16,60 a
Gesso									
0	1,40 b	3,20	3,03	7,60	1,30	1,30 b	2,60	5,20	12,80
10000	1,55 a	3,40	3,01	7,95	1,35	1,45 a	2,50	5,30	13,20
Probabilidade de F									
Calcário	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**
Gesso	<0,01**	0,17NS	0,94NS	0,22NS	0,10NS	<0,01**	0,40NS	0,60NS	0,22NS
Calc x Gess	0,35NS	0,35NS	0,95NS	0,77NS	0,60NS	0,60NS	0,80NS	0,55NS	0,70NS
CV calcário	8,90	9,00	20,82	8,34	5,70	8,10	10,00	5,95	4,05
CV gesso	7,80	12,80	16,51	9,35	8,80	8,00	13,55	7,35	6,90
Média geral	1,45	3,30	3,02	7,80	1,30	1,40	2,50	5,25	13,00

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

No primeiro ano agrícola, a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário promoveu os maiores aportes de C pela palha na cultura da soja, milho e braquiária (Tabela 7). Ao final do primeiro ano agrícola, constata-se que a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário apresentou um aporte de C pela palha cerca de 15, 31 e 38% superior à dose 6520, 3260 e controle, respectivamente. De modo geral, no primeiro ano, somente a cultura da soja apresentou resposta significativa à aplicação de gesso agrícola, refletindo num aumento de 10% no aporte de C em relação ao tratamento controle (Tabela 7).

No segundo ano agrícola, de modo geral, o maior aporte de C pela palha foi observado na dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário para a soja e o milho, e as doses de 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário para a braquiária. Nesse ano agrícola a aplicação de gesso foi estatisticamente significativa apenas para o milho (Tabela 7).

De acordo com o aporte de C total dos dois anos agrícolas, a dose 13040 kg ha⁻¹ de calcário proporcionou um incremento de 14% no aporte de C em relação à dose 6520 kg ha⁻¹, 32% em relação à dose 3260 kg ha⁻¹ e 40% em relação ao

tratamento controle. Para a variável analisada não houve diferença estatística quanto à aplicação de gesso agrícola (Tabela 7).

Na tabela 8 encontram-se os respectivos aportes de N pela massa de matéria seca da palha das culturas no primeiro ano agrícola (soja, milho e braquiária), no segundo ano agrícola (soja, milho e braquiária) e no total dos dois anos agrícolas.

Tabela 8 – Aporte de N (kg ha⁻¹) pela massa de matéria seca da parte aérea nos dois anos agrícolas.

Tratamentos	Primeiro Ano				Segundo Ano				Σ 2 anos
	Soja	Milho	Braq	Total	Soja	Milho	Braq	Total	
Calcário									
0	40,00 c	39,00 c	98,50 b	176,60 c	36,37 b	16,90 c	71,60 c	124,90 c	301,50 d
3260	48,10 b	43,30 c	111,95 ab	203,40 bc	43,20 b	17,95 c	86,55 b	147,80 b	351,20 c
6520	53,84 b	60,35 b	118,45 ab	232,65 b	41,50 b	25,30 b	114,60 a	181,40 a	414,05 b
13040	71,50 a	77,15 a	128,90 a	277,60 a	51,75 a	30,80 a	110,20 a	182,80 a	470,35 a
Gesso									
0	53,10	59,10	118,20	222,10	40,50 a	22,70	101,32	164,50	386,65
10000	53,20	50,80	110,70	223,00	45,90 b	22,78	90,20	158,90	381,90
Probabilidade de F									
Calcário	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**
Gesso	0,95NS	0,07NS	0,32NS	0,90NS	0,03*	0,90NS	0,05NS	0,40NS	0,70NS
Calc x Gess	0,01*	0,25NS	0,40NS	0,20NS	0,46NS	0,90NS	0,30NS	0,30NS	0,15NS
CV calcário	11,20	21,20	22,10	12,00	14,45	19,90	12,35	7,60	5,85
CV gesso	14,65	21,90	18,10	10,00	15,10	12,10	15,40	11,30	8,25
Média geral	53,10	55,00	114,46	222,55	43,20	22,70	95,75	161,70	384,30

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t

(p<0,05).

No primeiro ano agrícola, o maior aporte de N pela palha foi observado na dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário para a soja e o milho, para a braquiária não houve diferença estatística entre as doses de 3260, 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário. Nesse ano agrícola não houve diferença significativa quanto à aplicação de gesso (Tabela 8).

No total do primeiro ano agrícola, observa-se que a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário apresentou o maior aporte de N sendo 16, 26 e 36% superior à dose de 6520, 3260 e 0 kg ha⁻¹ de calcário, respectivamente. Para a variável analisada o gesso agrícola não foi estatisticamente significativo (Tabela 8).

No segundo ano agrícola, na cultura da soja e milho a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário promoveu os maiores incrementos no aporte de N, já para a braquiária não houve diferença estatística entre as doses de 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário. A aplicação de gesso agrícola foi estatisticamente significativa apenas para a cultura da soja (Tabela 8). No total do segundo ano, as doses de 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário promoveram os maiores aportes de N pela palha, sendo em média, 20 e 31% superiores à dose de 3260 kg ha⁻¹ de calcário e tratamento controle, respectivamente. A aplicação de gesso agrícola não foi estatisticamente significativa para nenhuma variável (Tabela 8).

De acordo com o aporte de N total dos dois anos agrícolas, a dose 13040 kg ha⁻¹ de calcário proporcionou um incremento de 12% no aporte de N em relação à dose 6520 kg ha⁻¹, 25% em relação à dose 3260 kg ha⁻¹ e 35% em relação ao tratamento controle. Para a variável analisada não houve diferença estatística quanto à aplicação de gesso agrícola (Tabela 8).

No primeiro ano, na cultura da soja, houve interação significativa entre o calcário e o gesso no aporte de N pela massa de matéria seca da palha (Tabela 9). Observa-se que a dose zero combinada com gesso reduziu o aporte de N, já a dose de 6520 kg ha⁻¹ calcário combinadas com 10000 kg ha⁻¹ de gesso agrícola proporcionaram maiores aportes de N.

Tabela 9 – Interações entre calcário e gesso no aporte de N (Kg ha^{-1}) pela massa de matéria seca da parte aérea.

Gesso	Calcário			
	0	3260	6520	13040
Soja primeiro ano				
0	45,10 Ba	50,60 B	45,60 Bb	70,95 A
10000	33,00 Cb	45,65 B	62,00 Aa	72,00 A
LSD	12,00			

* Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem ao teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4.4 Estoque de carbono e nitrogênio no solo

Na tabela 10 encontram-se os respectivos estoques de C no solo nas profundidades de 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,0-0,40 m, antes e 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.

De modo geral, nas diferentes épocas de coleta não houve diferença estatística para o fator calcário e gesso nas profundidades avaliadas. Todavia, observa-se que de modo geral houve um aumento no estoque de C 24 meses após a reaplicação para todos os tratamentos (Tabela 10). Com base nos resultados, observa-se que se compararmos os valores de estoque de C antes da reaplicação e aos 24 meses após os valores de sequestro de C variaram de 0,8 a 2,0 Mg ha^{-1} ano.

Tabela 10 – Estoque de C no solo nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 m de profundidade, e acumulado 0,0-0,40 m, antes e 24 meses após reaplicação do calcário e gesso.

Tratamentos	Carbono (Mg ha ⁻¹)			
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m	0,0-0,40 m
Calcário	Antes da reaplicação			
0	17,55	12,90	23,40	56,00
3260	21,34	15,10	26,00	64,00
6520	17,60	15,76	29,75	65,60
13040	18,50	15,70	26,45	61,15
Gesso				
0	19,50	15,25	25,85	60,90
10000	19,20	14,50	26,45	62,00
Probabilidade de F (antes da reaplicação)				
Calcário	0,12NS	0,20NS	0,10NS	0,12NS
Gesso	0,72NS	0,30NS	0,41NS	0,43NS
Calc x Gess	0,26NS	0,40NS	0,70NS	0,08NS
CV calcário	15,45	18,20	12,00	12,40
CV gesso	11,60	13,20	9,00	7,00
Média geral	19,35	15,00	26,10	61,45
Calcário	24 meses após a reaplicação			
0	20,25	14,40	24,00	58,70
3260	22,50	16,55	29,20	68,00
6520	20,80	16,60	29,80	67,20
13040	21,56	15,15	29,52	63,85
Gesso				
0	20,85	15,70	28,00	65,50
10000	21,70	15,65	28,26	64,46
Probabilidade de F (24 meses após a reaplicação)				
Calcário	0,80NS	0,40NS	0,15NS	0,40NS
Gesso	0,30NS	0,90NS	0,82NS	0,96NS
Calc x Gess	0,52NS	0,70NS	0,06NS	0,10NS
CV calcário	22,20	19,80	18,60	18,00
CV gesso	11,15	8,30	10,60	8,00
Média geral	21,30	15,70	28,15	64,50

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

Na tabela 11 os respectivos estoques de N no solo nas profundidades de 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,0-0,40 m, antes e 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso. De modo geral, nas diferentes épocas de coleta não houve diferença estatística para o fator calcário e gesso nas profundidades avaliadas. No

entanto, observa-se que de modo geral houve um aumento no estoque de N 24 meses após a reaplicação para todos os tratamentos (Tabela 11).

Tabela 11 – Estoque de N no solo nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, e acumulado 0,0-0,40 m, antes e 24 meses após reaplicação do calcário e gesso.

Tratamentos	Nitrogênio (Mg ha ⁻¹)			
	0,0-0,10 m	0,10-0,20 m	0,20-0,40 m	0,0-0,40 m
Calcário	Antes da reaplicação			
0	1,39	1,26	2,18	4,84
3260	1,37	1,31	2,44	5,13
6520	1,29	0,98	2,38	4,66
13040	1,42	0,97	1,95	4,35
Gesso				
0	1,37	1,18	2,29	4,85
10000	1,36	1,08	2,19	4,64
Probabilidade de F (Antes da reaplicação)				
Calcário	0,90NS	0,12NS	0,30NS	0,50NS
Gesso	0,86NS	0,30NS	0,60NS	0,40NS
Calc x Gess	0,88NS	0,70NS	0,12NS	0,30NS
CV calcário	25,65	28,00	23,54	21,30
CV gesso	15,88	22,20	21,69	14,25
Média geral	1,37	1,13	2,24	4,75
Calcário	24 meses após a reaplicação			
0	2,00	1,16	2,06	5,22
3260	2,19	1,31	2,43	5,93
6520	2,05	1,32	2,36	5,73
13040	2,09	1,18	2,26	5,53
Gesso				
0	2,12	1,25	2,28	5,65
10000	2,08	1,24	2,29	5,61
Probabilidade de F (24 meses após a reaplicação)				
Calagem	0,74NS	0,40NS	0,60NS	0,60NS
Gessagem	0,50NS	0,75NS	0,20NS	0,80NS
Calc x Gess	0,80NS	0,58NS	1,72NS	0,55NS
CV calcário	12,31	18,95	24,25	16,04
CV gesso	9,50	7,25	14,05	8,4
Média geral	2,10	1,24	2,28	5,65

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p < 0,05$).

4.5 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

Na tabela 12 encontram-se os valores de probabilidade de F, e na tabela 13 os valores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação COP/COT nas profundidades 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 m no solo antes da reaplicação do calcário e gesso.

Tabela 12 – Probabilidade dos valores de F dos teores do C orgânico total (COT), C orgânico particulado (COP), C orgânico associado aos minerais (COM), e relação entre COP/COT no solo antes da reaplicação do calcário e gesso.

Tratamentos	COT -----	COP (g kg ⁻¹)	COM -----	COP/COT (%)
Probabilidade de F (0,0-0,10 m)				
Calcário	0,48NS	<0,01**	0,60NS	<0,01**
Gesso	0,72NS	0,94NS	0,71NS	0,52NS
Calc x Gess	0,82NS	0,34NS	0,86NS	0,64NS
CV calcário	20,76	23,52	21,54	22,24
CV gesso	13,23	17,04	14,00	15,20
Média geral	11,72	1,43	10,29	12,38
Probabilidade de F (0,10-0,20 m)				
Calcário	0,71NS	<0,01**	0,70NS	<0,01**
Gesso	0,66NS	0,16NS	0,70NS	0,93NS
Calc x Gess	0,40NS	<0,01**	0,35NS	<0,01**
CV calcário	19,22	25,55	19,66	19,50
CV gesso	22,70	16,06	24,00	21,15
Média geral	9,35	0,50	8,84	5,61
Probabilidade de F (0,20-0,40 m)				
Calcário	0,35NS	0,35NS	0,35NS	0,80NS
Gesso	0,72NS	0,85NS	0,70NS	0,66NS
Calc x Gess	0,52NS	0,01*	0,50NS	0,04*
CV calcário	25,17	29,10	25,7	36,00
CV gesso	24,37	27,86	25,2	34,00
Média geral	8,37	0,28	8,08	3,55

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F.

Na profundidade de 0,0-0,10 m, para o fator calagem, apenas as variáveis COP e COP/COT apresentaram diferença estatística. De modo geral, observa-se

que as doses de 3260 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário apresentaram os maiores valores de COT, COP, COM e COP/COT em comparação a dose 13040 kg ha⁻¹ e tratamento controle. Para essa profundidade, a aplicação de gesso agrícola não apresentou diferença estatística para nenhuma variável analisada (Tabela 13).

Tabela 13 – Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação COP/COT no solo antes da reaplicação do calcário e gesso.

Tratamentos	COT -----	COP (g kg ⁻¹)	COM -----	COP/COT (%)
0,0-0,10 m				
Calcário				
0	10,75	1,10 b	9,65	10,67 b
3260	12,10	1,95 a	10,19	16,56 a
6520	12,60	1,47 b	11,11	11,76 b
13040	11,40	1,19 b	10,21	10,53 b
Gesso				
0	11,82	1,42	10,38	12,60
10000	11,62	1,43	10,19	12,16
0,10-0,20 m				
Calcário				
0	9,37	0,31 b	9,05	3,70 b
3260	9,43	0,59 a	8,83	6,56 a
6520	9,84	0,61 a	9,23	6,31 a
13040	8,78	0,51 a	8,27	5,88 a
Gesso				
0	9,52	0,53	8,99	5,63
10000	9,19	0,48	8,70	5,60
0,20-0,40 m				
Calcário				
0	7,30	0,25	7,05	3,58
3260	9,00	0,31	8,68	3,87
6520	9,06	0,31	8,75	3,53
13040	8,13	0,26	7,86	3,23
Gesso				
0	8,50	0,28	8,22	3,65
10000	8,24	0,28	7,95	3,45

*Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

Na profundidade de 0,10-0,20 m, novamente apenas as variáveis COP e COP/COT apresentaram diferença estatística quanto à aplicação de calcário. Para essas variáveis as diferentes doses de calcário diferiam estatisticamente apenas do tratamento controle (Tabela 13). A aplicação de gesso agrícola não apresentou

diferença estatística na profundidade de 0,10-0,20 m para nenhuma variável analisada (Tabela 13).

Na profundidade de 0,20-0,40 m, o fator calcário e gesso não influenciaram estatisticamente em nenhuma variável analisada (Tabela 13).

Nas profundidades de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m houve interação significativa entre calcário e gesso para os teores COP e relação COP/COT (Tabelas 14). Na profundidade de 0,10-0,20 m, a dose de 3260 kg ha⁻¹ calcário combinada com 10000 kg ha⁻¹ de gesso aumentou os valores de COP e COP/COT, entretanto, efeito contrário foi constatado quando a dose de 13040 kg ha⁻¹ calcário foi combinada com 10000 kg ha⁻¹ de gesso (Tabela 14). Na profundidade de 0,20-0,40 m, a dose de 6520 kg ha⁻¹ calcário combinada com 10000 kg ha⁻¹ de gesso aumentou o valor de COP e COP/COT (Tabela 14).

Tabela 14 – Interações entre calcário e gesso nos teores do C orgânico particulado (COP) e relação entre COP/COT na profundidade 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m antes da reaplicação do calcário e gesso.

Gesso	Calcário			
	0	3260	6520	13040
COP (0,10-0,20 m)				
0	0,35 B	0,51 Ab	0,66 A	0,59 Aa
10000	0,28 C	0,68 Aa	0,55 A	0,42 BCb
LSD	0,12			
COP/COT (0,10-0,20 m)				
0	4,11 C	5,15 BCb	6,28 AB	6,99 Aa
10000	3,30 C	7,97 Aa	6,34 A	4,78 BCb
LSD	1,83			
COP (0,20-0,40 m)				
0	0,26 B	0,25 Ba	0,40 Aa	0,25 B
10000	0,25 B	0,40 Ab	0,25 Bb	0,30 AB
LSD	0,12			
COP/COT (0,20-0,40 m)				
0	3,87	2,61 b	4,22	3,12
10000	3,29 AB	5,14 Aa	2,84 B	3,34 AB
LSD	1,85			

* Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem ao teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Na tabela 15 encontram-se os valores de probabilidade de F, e na tabela 16 os valores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP),

carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação COP/COT nas profundidades 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m no solo 12 meses após a reaplicação do calcário e gesso.

Tabela 15 – Probabilidade dos valores de F dos teores do C orgânico total (COT), C orgânico particulado (COP), C orgânico associado aos minerais (COM), e relação entre COP/COT no solo 12 meses após a reaplicação do calcário e gesso.

Tratamentos	COT -----	COP (g kg ⁻¹)	COM -----	COP/COT (%)
Probabilidade de F (0,0-0,10 m)				
Calcário	0,30NS	0,04*	0,25NS	0,01*
Gesso	0,50NS	0,09NS	0,70NS	0,24NS
Calc x Gess	0,85NS	0,35NS	0,85NS	0,60NS
CV calcário	23,38	26,25	24,72	22,30
CV gesso	14,94	26,00	16,11	25,09
Média geral	10,71	1,10	9,60	10,5
Probabilidade de F (0,10-0,20 m)				
Calcário	0,21NS	<0,01**	0,30NS	0,28NS
Gesso	0,80NS	4,25NS	0,46NS	0,06NS
Calc x Gess	0,07NS	2,75NS	0,04*	0,04*
CV calcário	25,50	25,65	27,30	36,00
CV gesso	8,62	23,76	9,24	22,00
Média geral	7,31	0,60	6,71	8,41
Probabilidade de F (0,20-0,40 m)				
Calcário	0,90NS	0,02*	0,28NS	0,01*
Gesso	0,26NS	0,03*	0,75NS	0,11S
Calc x Gess	0,90NS	0,01*	0,10NS	0,01*
CV calcário	28,50	24,60	29,00	17,00
CV gesso	11,62	15,24	12,25	20,00
Média geral	7,03	0,44	6,58	6,36

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F.

Na profundidade de 0,0-0,10 m, para o fator calagem, apenas as variáveis COP e COP/COT apresentaram diferença estatística, cuja dose de 6520 kg ha⁻¹ de calcário apresentou o maior valor de COP e relação COP/COT em comparação aos demais tratamentos (Tabela 16). Para essa profundidade, a aplicação de gesso agrícola não apresentou diferença estatística para nenhuma variável analisada (Tabela 16).

Na profundidade de 0,10-0,20 m, as doses de 3260 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário não diferiram estatisticamente quanto a variável COP, que por sua vez, apresentaram valores superiores em comparação à dose de 13040 kg ha⁻¹ e tratamento controle (Tabela 16). O fator gesso não foi estatisticamente significativo para nenhuma variável na profundidade de 0,10-0,20 m.

Tabela 16 – Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação COP/COT no solo 12 meses após a reaplicação do calcário e gesso.

Tratamentos	COT -----	COP (g kg ⁻¹)	COM -----	COP/COT (%)
Calcário				
0,0-0,10 m				
0	10,20	0,95 b	9,25	9,40 b
3260	12,27	1,07 b	11,20	9,04 b
6520	10,30	1,41 a	8,89	13,62 a
13040	10,08	0,99 b	9,09	9,94 b
Gesso				
0	10,51	1,01	9,49	9,93
10000	10,92	1,20	9,72	11,07
Calcário				
0,10-0,20 m				
0	6,35	0,43 c	5,92	6,88
3260	8,28	0,64 ab	7,63	8,10
6520	7,84	0,78 a	7,05	10,06
13040	6,78	0,55 bc	6,23	8,60
Gesso				
0	7,34	0,55	6,79	7,73
10000	7,28	0,65	6,62	9,09
Calcário				
0,20-0,40 m				
0	6,00	0,37 b	5,62 a	6,30 b
3260	7,23	0,52 a	6,70 a	7,60 a
6520	8,12	0,50 a	7,62 a	6,21 b
13040	6,77	0,36 b	6,40 a	5,35 b
Gesso				
0	7,04	0,46 a	6,60	6,00
10000	7,012	0,41 b	6,54	6,75

*Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

Na profundidade de 0,20-0,40 m, as variáveis COP e COP/COT apresentaram diferença estatística quanto à aplicação de calcário. Observa-se que as doses de 3260 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário apresentaram os maiores valores de COP, e a dose de 6520 kg ha⁻¹ apresentou a maior relação COP/COT em relação aos demais

tratamentos. Para essa profundidade, a aplicação de gesso agrícola foi estatisticamente significativa, todavia a dose de 10000 kg ha⁻¹ de gesso reduziu os valores de COP (Tabela 16).

Nas profundidades de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m houve interação significativa entre calcário e gesso para os teores COM, COP e relação COP/COT (Tabelas 17). Na profundidade de 0,10-0,20 m, a dose de 3260 kg ha⁻¹ calcário combinada com 10000 kg ha⁻¹ de gesso reduziu o COM, e aumentou a relação COP/COT. Na profundidade de 0,20-0,40 m, a dose de 6520 kg ha⁻¹ calcário combinada com 10000 kg ha⁻¹ de gesso aumentou o valor de COP e COP/COT (Tabela 17).

Tabela 17 – Interações entre calcário e gesso nos teores do C orgânico associado aos minerais (COM), C orgânico particulado (COP) e relação entre COP/COT na profundidade 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m 12 meses após a reaplicação do calcário e gesso.

Gesso	Calcário			
	0	3260	6520	13040
COM (0,10-0,20 m)				
0	5,65 B	8,30 Aa	7,07 A	6,13 B
10000	6,18	6,96 b	7,03	6,32
LSD	0,95			
COP/COT (0,10-0,20 m)				
0	8,15	6,59 b	8,74	7,44
10000	5,62 B	9,61 Aa	11,39 A	9,77 A
LSD	2,95			
COP (0,20-0,40 m)				
0	0,42 A	0,46 Ab	0,44 Ab	0,32 B
10000	0,31 B	0,59 Aa	0,55 Aa	0,40 B
LSD	0,10			
COP/COT (0,20-0,40 m)				
0	7,30 Aa	5,97 Ab	5,72 A	4,93 B
10000	5,33 Bb	9,21 Aa	6,70 B	5,77 B
LSD	1,96			

* Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem ao teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Na tabela 18 encontram-se os valores de probabilidade de F, e na tabela 19 os valores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação COP/COT nas

profundidades 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m no solo 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.

Tabela 18 – Probabilidade dos valores de F dos teores do C orgânico total (COT), C orgânico particulado (COP), C orgânico associado aos minerais (COM), e relação entre COP/COT no solo 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.

Tratamentos	COT -----	COP (g kg ⁻¹)	COM -----	COP/COT (%)
Probabilidade de F (0,0-0,10 m)				
Calcário	0,84NS	0,11NS	0,80NS	0,40NS
Gesso	0,40NS	0,58NS	0,46NS	0,64NS
Calc x Gess	0,56NS	0,01*	0,60NS	0,02*
CV calcário	22,49	21,24	26,1	31,30
CV gesso	11,14	25,24	12,28	25,23
Média geral	13,02	1,32	11,69	10,4
Probabilidade de F (0,10-0,20 m)				
Calcário	0,44NS	0,03*	0,52NS	0,12NS
Gesso	0,80NS	0,50NS	0,92NS	0,60NS
Calc x Gess	0,80NS	<0,01**	0,85NS	<0,01**
CV calcário	21,25	24,73	22,03	27,19
CV gesso	8,15	22,82	8,68	22,27
Média geral	9,64	0,57	9,07	5,93
Probabilidade de F (0,20-0,40 m)				
Calcário	0,60NS	<0,01**	0,65NS	<0,01**
Gesso	0,60NS	<0,01**	0,85NS	<0,01**
Calc x Gess	0,09NS	0,07NS	0,10NS	0,09NS
CV calcário	26,15	27,21	26,85	25,00
CV gesso	11,39	15,44	11,98	16,40
Média geral	8,87	0,61	8,26	6,92

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F.

Na profundidade de 0,0-0,10 m, as diferentes doses de calcário não diferiram estatisticamente para nenhuma variável avaliada. Com relação à aplicação de gesso agrícola, observa-se que apesar de não apresentar diferença estatística, a aplicação de 10000 kg ha⁻¹ de gesso promoveu um incremento nos valores de todas as variáveis avaliadas (Tabela 19).

Tabela 19 – Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação COP/COT no solo 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.

Tratamentos	COT -----	COP (g kg ⁻¹)	COM -----	COP/COT (%)
Calcário			0,0-0,10 m	
0	12,52	1,29	11,23	10,34
3260	13,73	1,35	12,38	10,18
6520	12,68	1,53	11,15	12,00
13040	13,14	1,13	12,01	9,10
Gesso				
0	12,79	1,29	11,50	10,18
10000	13,24	1,36	11,88	10,62
Calcário			0,10-0,20 m	
0	8,86	0,42 b	8,43	4,72
3260	10,36	0,68 a	9,68	6,74
6520	10,12	0,58 a	9,54	5,75
13040	9,22	0,59 a	8,62	6,51
Gesso				
0	9,61	0,55	9,06	5,81
10000	9,67	0,58	9,08	6,05
Calcário			0,20-0,40 m	
0	7,95	0,52 b	7,42	6,48 b
3260	9,47	0,87 a	8,59	9,52 a
6520	9,08	0,45 b	8,63	5,05 b
13040	9,00	0,58 b	8,41	6,65 b
Gesso				
0	8,78	0,54 b	8,23	6,24 b
10000	8,97	0,67 a	8,29	7,61 a

*Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

Na profundidade de 0,10-0,20 m, a variável COP apresentou diferença estatística quanto à aplicação de calcário, cujo COP diferiu estatisticamente apenas do tratamento controle (Tabela 19). Para a profundidade avaliada não houve efeito significativo da aplicação de gesso agrícola.

Na profundidade de 0,20-0,40 m, as variáveis COP e COP/COT apresentaram diferença estatística quanto à aplicação de calcário. Observa-se que para o COP e relação COP/COT na dose de 3260 kg ha⁻¹ de calcário foi estatisticamente superior aos demais tratamentos. Para essa profundidade, a aplicação de 10000 kg ha⁻¹ de gesso agrícola foi estatisticamente significativa para as variáveis COP e relação COP/COT (Tabela 19).

Nas profundidades de 0,0-0,10 e 10-0,20 m, houve interação significativa entre calcário e gesso para os teores COP e relação COP/COT (Tabela 20). Na profundidade de 0,0-0,10 m a dose de 6520 kg ha⁻¹ calcário combinadas com 10000 kg ha⁻¹ de gesso aumentou o teor de COP e a relação COP/COT. Na profundidade de 0,10-0,20 m a dose de 3260 kg ha⁻¹ calcário combinadas com 10000 kg ha⁻¹ de gesso reduziu o COP e a relação COP/COT, entretanto, efeito contrario foi encontrado quando 13040 kg ha⁻¹ calcário foi combinada com gesso (Tabela 20).

Tabela 20 – Interações entre calcário e gesso nos teores do C orgânico particulado (COP) e relação entre COP/COT na profundidade 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso.

Gesso	Calcário			
	0	3260	6520	13040
COP (0,0-0,10 m)				
0	1,30 A	1,60 A	1,15 Bb	1,10 B
10000	1,25 B	1,10 B	1,90 Aa	1,20 B
LSD	0,45			
COP/COT (0,0-0,10 m)				
0	10,95	11,75	9,15 b	8,90
10000	9,75 B	8,60 B	14,85 Aa	9,25 B
LSD	4,05			
COP (0,10-0,20 m)				
0	0,46 B	0,79 Aa	0,56 B	0,40 Bb
10000	0,38 C	0,57 BCb	0,60 Ab	0,78 Aa
LSD	0,2			
COP/COT (0,10-0,20 m)				
0	5,40 B	7,86 Aa	5,64 B	4,61 Bb
10000	4,33 B	5,61 Bb	5,86 B	8,41 Aa
LSD	1,83			

* Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem ao teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4.6 Atributos biológicos do solo

Na tabela 21 encontram-se os valores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), C e N da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente metabólico e quociente microbiano do solo na profundidade de 0,0-0,10 m na safra da soja 2017/2018.

O teor de carbono orgânico total apresentou diferença estatística apenas para o fator calcário, cujas doses de 3260, 6520 e 13040 kg ha⁻¹ apresentaram valores médios 25% superior ao tratamento controle (Tabela 21). Para a variável NT as doses de 3260 e 6520 kg ha⁻¹ apresentaram valores médios 20% superior as doses 0 e 13040 kg ha⁻¹, que por sua vez, não diferiram estatisticamente (Tabela 21).

Tabela 21 – Valores de C orgânico total (COT), N total (NT), C e N da biomassa microbiana (Cmic e Nmic), respiração basal do solo, quociente metabólico e quociente microbiano.

Tratamentos	COT	NT	Cmic	Nmic	Resp.	qCO ₂	qMIC
Calcário							
0	12,03 b	0,92 c	316,46 a	18,59 b	0,13	0,42 b	2,53 a
3260	16,60 a	1,22 a	238,15 b	22,06 a	0,11	0,52 b	1,61 b
6520	15,76 a	1,11 ab	238,87 b	11,85 c	0,14	0,58 ab	1,48 b
13040	16,07 a	1,01 bc	226,58 b	10,75 c	0,14	0,73 a	1,61 b
Gesso							
0	15,06	1,05	258,51	19,25 a	0,12	0,51	1,90
10000	15,16	1,08	251,52	12,37 b	0,13	0,61	1,72
Probabilidade de F							
Calcário	<0,01**	<0,01**	0,03*	<0,01**	0,25NS	0,04*	0,02*
Gesso	0,76NS	0,30NS	0,76NS	<0,01**	0,48NS	0,11NS	0,30NS
Calc x Gess	0,95NS	0,30NS	0,02*	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**
CV calcário	14,70	12,15	22,06	16,79	20,47	32,60	34,10
CV gesso	6,20	6,20	25,20	21,17	25,96	29,28	25,10
Média geral	15,10	1,06	255,02	15,81	0,15	0,56	1,80

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p < 0,05$). COT e NT (g kg⁻¹); Cmic e Nmic (mg/kg de solo); Respiração basal do solo (mg C-CO₂/Kg/dia); Quociente metabólico (mg C-CO₂/g/Cmic/h) e Quociente microbiano (%).

O Cmic apresentou diferença estatística apenas para o fator calagem cujo tratamento controle foi em média 26% superior aos demais tratamentos (Tabela 21). Já a variável Nmic o fator gesso agrícola teve efeito significativo, cujo tratamento controle foi cerca de 35% superior a dose de 10000 kg ha⁻¹, já para o fator calagem, a dose de 3260 kg ha⁻¹ apresentou o maior valor, seguido do tratamento controle, e das doses de 6520 e 13040 kg ha⁻¹ com os menores valores (Tabela 21).

O quociente metabólico (qCO₂) que corresponde a razão entre a respiração basal do solo por unidade de C da biomassa microbiana e tempo, apresentou

diferença estatística apenas para o fator calagem. De acordo com os dados observa-se um crescente aumento nos valores de qCO_2 a medida que maiores doses de calcário foram utilizadas indicando uma possível condição de desequilíbrio (Tabela 21).

O quociente microbiano ($qMic$) que corresponde a relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total apresentou diferença estatística apenas para o fator calagem (Tabela 21). De acordo com os dados nota-se que o tratamento controle apresentou o maior valor em relação aos demais tratamentos, que não apresentaram diferença estatística entre si. Os baixos valores de $qMic$ relacionados as dose de 3260, 6520 e 13040 $kg\ ha^{-1}$ sugerem que menor quantidade de C está imobilizado na biomassa, já o tratamento controle que apresentou o maior valor indica que MOS está ativa estando sujeita a ser decomposta pela microbiota.

Para as variáveis $Cmic$, $Nmic$, respiração basal do solo, qCO_2 e $qMic$ houve interação significativa entre calcário e gesso (Tabela 22). Para a variável $Cmic$ observa-se que as doses 0 e 13040 $kg\ ha^{-1}$ sem gesso agrícola apresentaram baixa atividade da enzima. Para os tratamentos com gesso agrícola observa um aumento na atividade à medida que aumenta as doses de calcário (Tabela 22). Para a variável $Nmic$ houve uma redução drástica nas doses de 6520 e 13040 $kg\ ha^{-1}$ calcário combinadas com 10000 $kg\ ha^{-1}$ de gesso. Já para as mesmas doses de calcário sem gesso houve uma redução à medida que as doses de calcário aumentaram (Tabela 22). Para a variável respiração basal do solo o tratamento controle sem gesso apresentou o maior valor, todavia, para os tratamentos com gesso observa-se que um crescente aumento de acordo com a dose de calcário empregada (Tabela 22). Para a variável qCO_2 o tratamento controle sem gesso apresentou o maior valor, no entanto, uma redução ocorreu no mesmo tratamento combinado com gesso (Tabela 22). Já para a variável $qMic$ as doses de 3260 e 6520 $kg\ ha^{-1}$ sem gesso apresentaram os menores valores, por outro lado, a presença de gesso agrícola promoveu um decréscimo nos valores de $qMic$ a medida que as doses de calcário aumentaram (Tabela 22).

Tabela 22 – Interações entre calcário e gesso para os valores de C e N da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente metabólico e quociente microbiano.

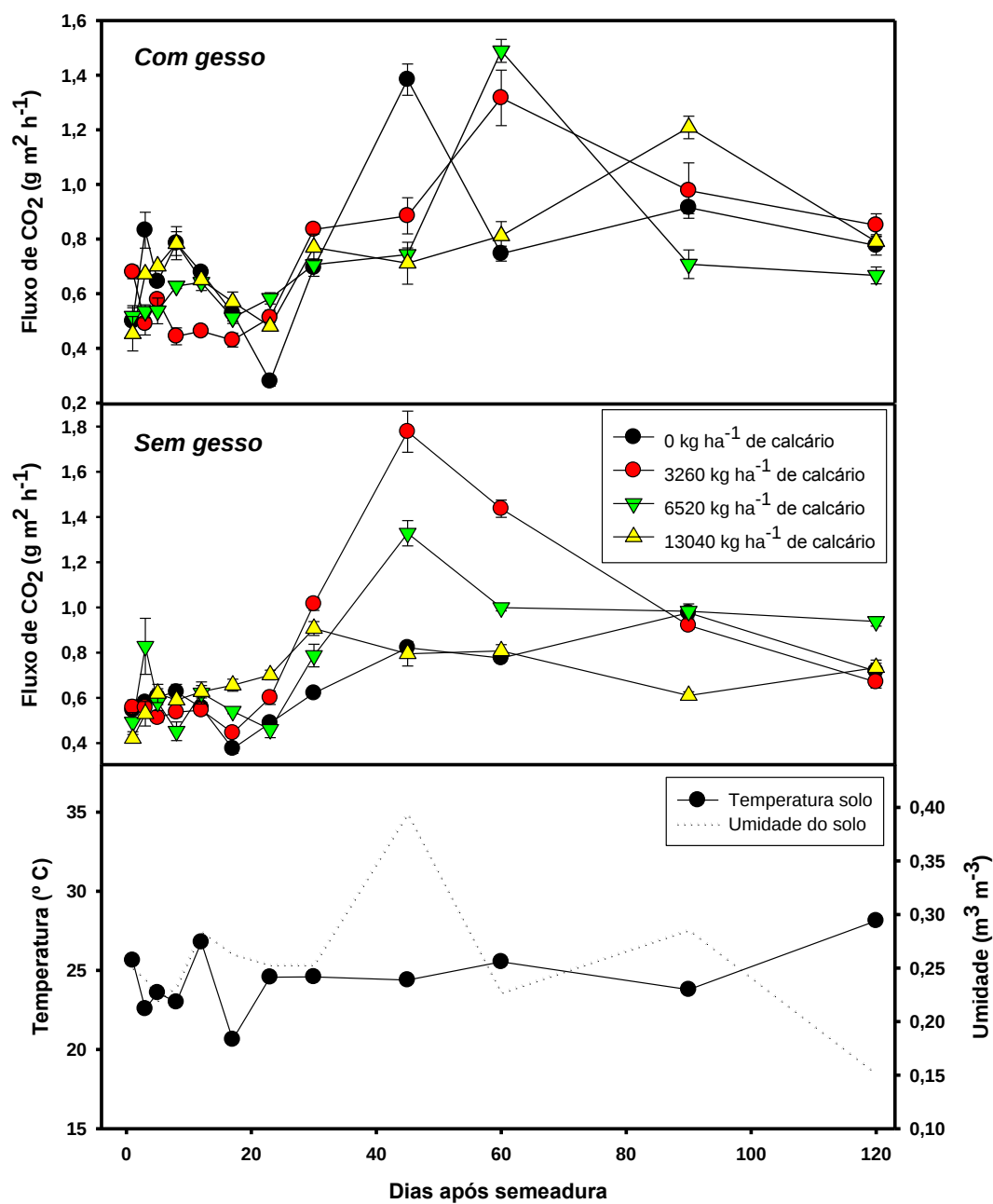
Gesso	Calcário			
	0	3260	6520	13040
Cmic				
0	377,40 Aa	196,70 B	204,40 B	255,50 B
10000	255,50 b	279,60	273,30	197,65
LSD	99,00			
Nmic				
0	21,26 Aa	20,24 Ab	19,58 Aa	15,92 Ba
10000	15,92 Bb	23,88 Aa	4,12 Cb	5,58 Cb
LSD	5,15			
Resp				
0	0,17 Aa	0,11 B	0,14 A	0,09 Cb
10000	0,09 Cb	0,12 B	0,14 B	0,19 Aa
LSD	0,05			
qCO ₂				
0	0,45	0,60	0,61	0,38 b
10000	0,38 B	0,44 B	0,55 B	1,08 Aa
LSD	0,25			
qMIC				
0	3,00 Aa	1,30 BC	1,22 C	2,05 Ba
10000	2,00 Ab	1,92 AB	1,74 AB	1,20 Bb
LSD	0,70			

* Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem ao teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4.7 Fluxo de CO₂ do solo

Na figura 2, encontram-se as emissões de CO₂, temperatura e umidade do solo aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra 2016/2017.

Figura 2 – Fluxo de CO₂ do solo com e sem gesso, temperatura e umidade aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra 2016/2017.



No 17º DAS foi observado um aumento nas emissões de CO₂ acompanhada pelo aumento da umidade do solo que possivelmente influenciou a reação do calcário no solo. Além disso, a umidade elevada associada à temperatura média que nesse período foi em torno de 23°C foram condições favoráveis à atividade microbiana (Figura 2).

A partir do 23º DAS todos os tratamentos com gesso apresentaram um aumento nas emissões, sendo que, a dose 0 de calcário apresentou um pico de emissão de 1,4 g m² CO₂ h⁻¹ ao 45º DAS, e as doses de 3260 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário apresentaram pico de emissão de 1,3 e 1,5 g m² CO₂ h⁻¹ ao 60º DAS, respectivamente (Figura 2). Já a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário o pico de emissão (1,2 g m² CO₂ h⁻¹) ocorreu no 90º DAS, ou seja, mais tarde em comparação aos demais tratamentos (Figura 2).

Nos tratamentos sem gesso também foi constatado um aumento nas emissões a partir do 23º DAS, todavia, as doses 3260 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário apontaram um pico de emissão de 1,8 e 1,3 g m² CO₂ h⁻¹ no 45º DAS, respectivamente. Já as emissões nas doses 0 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário não ultrapassaram 1,0 g m² CO₂ h⁻¹, apresentando um pouco mais estável ao longo do tempo (Figura 2).

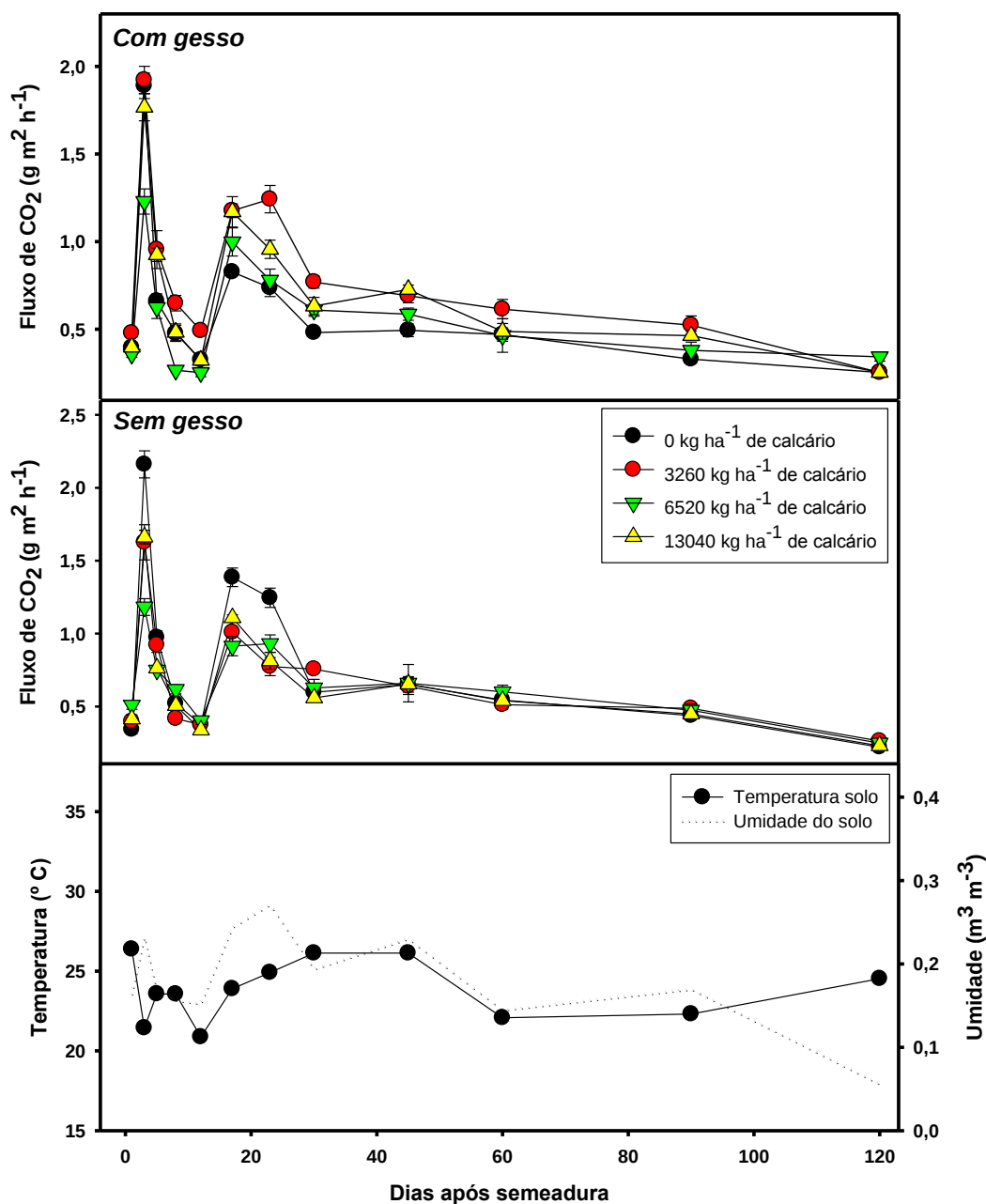
Na figura 3, encontram-se as emissões de CO₂, temperatura e umidade do solo aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 DAS do milho safra 2017.

No 3º DAS foi observado um pico nas emissões de CO₂ acompanhada por um pequeno aumento na umidade do solo (Figura 3). Os tratamentos com gesso apresentaram um pico de emissão cujas doses 0, 3260, 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário emitiram cerca de 1,8; 1,9; 1,25 e 1,7 g m² CO₂ h⁻¹ respectivamente. Posteriormente, no 12º DAS um novo acréscimo nas emissões, umidade e temperatura do solo foi constatado, e no 17º DAS às doses de 0, 3260, 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário emitiram 0,8; 1,2; 1,0 e 1,2 g m² CO₂ h⁻¹ respectivamente (Figura 3). Nota-se que em comparação ao primeiro pico as taxas de emissão no 17º DAS foram menos expressivas.

Nos tratamentos sem gesso um pico de emissão foi constatado no 3º DAS, as doses 0, 3260, 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário emitiram cerca de 2,1; 1,6; 1,2 e 1,6 g m² CO₂ h⁻¹, respectivamente. E novamente no 17º DAS as doses de 0, 3260, 6520

e 13040 kg ha⁻¹ de calcário apresentaram um pico de emissão de 1,4; 1,1; 0,9 e 1 g m² CO₂ h⁻¹ respectivamente (Figura 3).

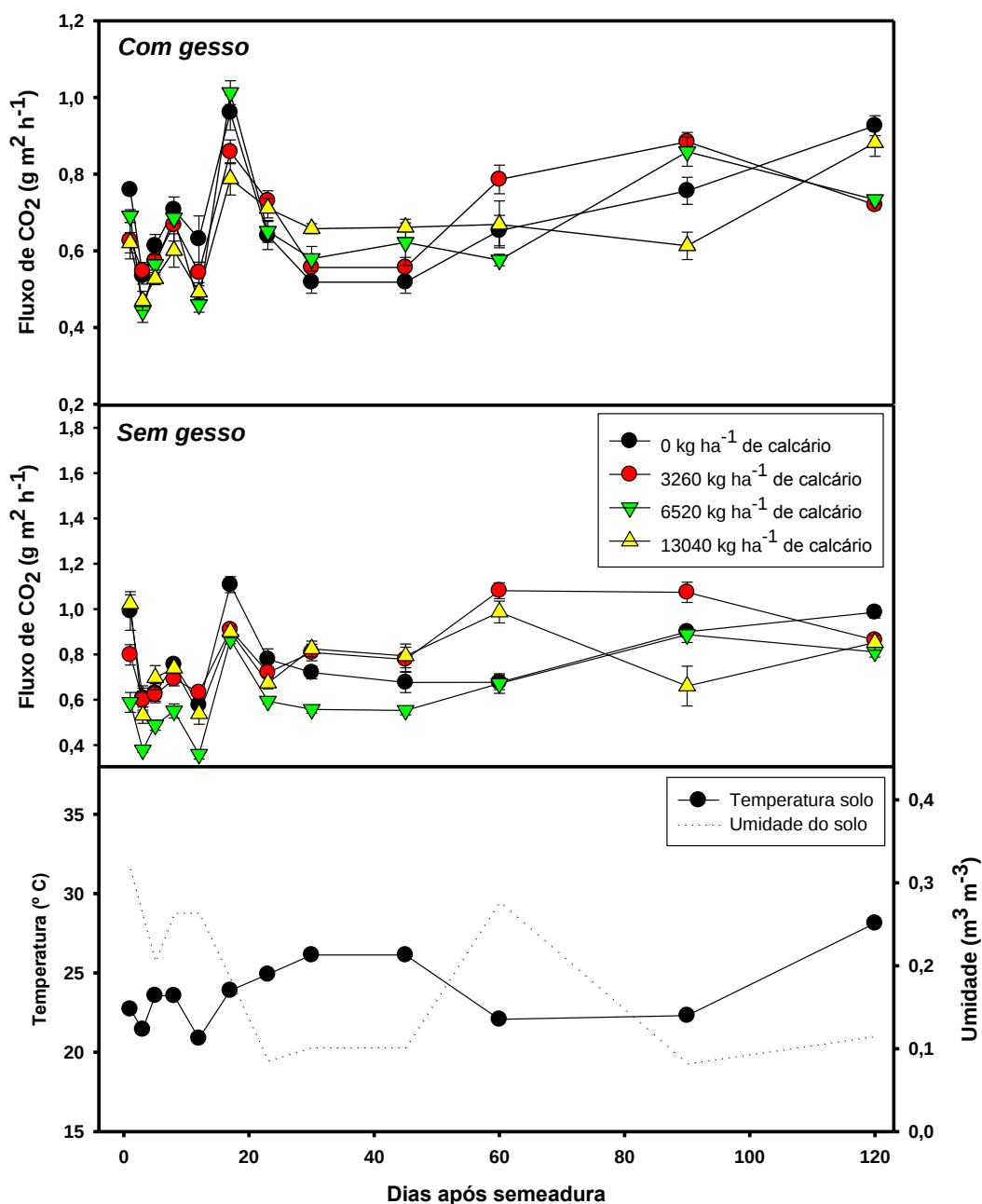
Figura 3 – Fluxo de CO₂ do solo com e sem gesso, temperatura e umidade aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) do milho safra 2017.



Na figura 4, encontram-se as emissões de CO₂, temperatura e umidade do solo aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 DAS da soja safra 2017/2018.

Ao longo do ciclo foram observados picos de emissão aos 1, 8, 17, 60, 90 e 120 DAS que foram acompanhados pelo aumento da umidade do solo que possivelmente influenciou a reação do calcário no solo. Além disso, durante toda safra a temperatura média variou de 20 a 30°C, sendo esta, favorável à atividade microbiana (Figura 4).

Figura 4 – Fluxo de CO₂ do solo com e sem gesso, temperatura e umidade aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra 2017/2018.



Aos 1, 8 e 17 DAS as doses de 0 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário apresentaram as maiores emissões, com picos médios variando de 0,7, 0,65 e 1 g m² CO₂ h⁻¹ respectivamente. Posteriormente, no 45º DAS um novo acréscimo nas emissões, umidade e temperatura do solo foi constatado, e no 60º DAS as doses de 0, 3260, 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário emitiram 0,6; 0,8; 0,5 e 0,6 g m² CO₂ h⁻¹ respectivamente (Figura 4). No 90º DAS as doses de 0, 3260, 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário emitiram 0,9; 1,1; 0,9 e 0,7 g m² CO₂ h⁻¹ respectivamente. Ao final do ciclo, no 120º DAS houve um aumento nas emissões principalmente das doses de 0 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário que emitiram 0,9 e 0,8 g m² CO₂ h⁻¹ respectivamente, e as doses de 3260 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário apresentaram uma leve redução emitindo ambas as doses 0,7 g m² CO₂ h⁻¹ (Figura 4).

Nos tratamentos sem gesso os picos de emissões ocorreram conforme nos tratamentos com gesso, aos 1, 8, 17, 60, 90 e 120 DAS. Aos 1 e 8 DAS as doses 0 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário foram as que mais emitiram (1 e 0,7 g m² CO₂ h⁻¹), respectivamente. No 17º DAS o tratamento controle foi o que mais emitiu (1,1 g m² CO₂ h⁻¹), as demais doses apresentam taxas de emissão similares, sendo entorno de 0,7 g m² CO₂ h⁻¹ (Figura 4). Ao 60º DAS as doses 0, 3260, 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário emitiram 0,7, 1,1, 0,7 e 1,0 g m² CO₂ h⁻¹, no 90º DAS a dose 3260 kg ha⁻¹ de calcário manteve a emissão, e as doses 0, 6520 e 13040 emitiram 0,9, 0,9 e 0,7 respectivamente. Ao final do ciclo, no 120º DAS o tratamento controle apresentou a maior emissão (1,0 g m² CO₂ h⁻¹), e os demais tratamentos apresentaram emissões similares, variando de 0,8 a 0,9 g m² CO₂ h⁻¹ (Figura 4).

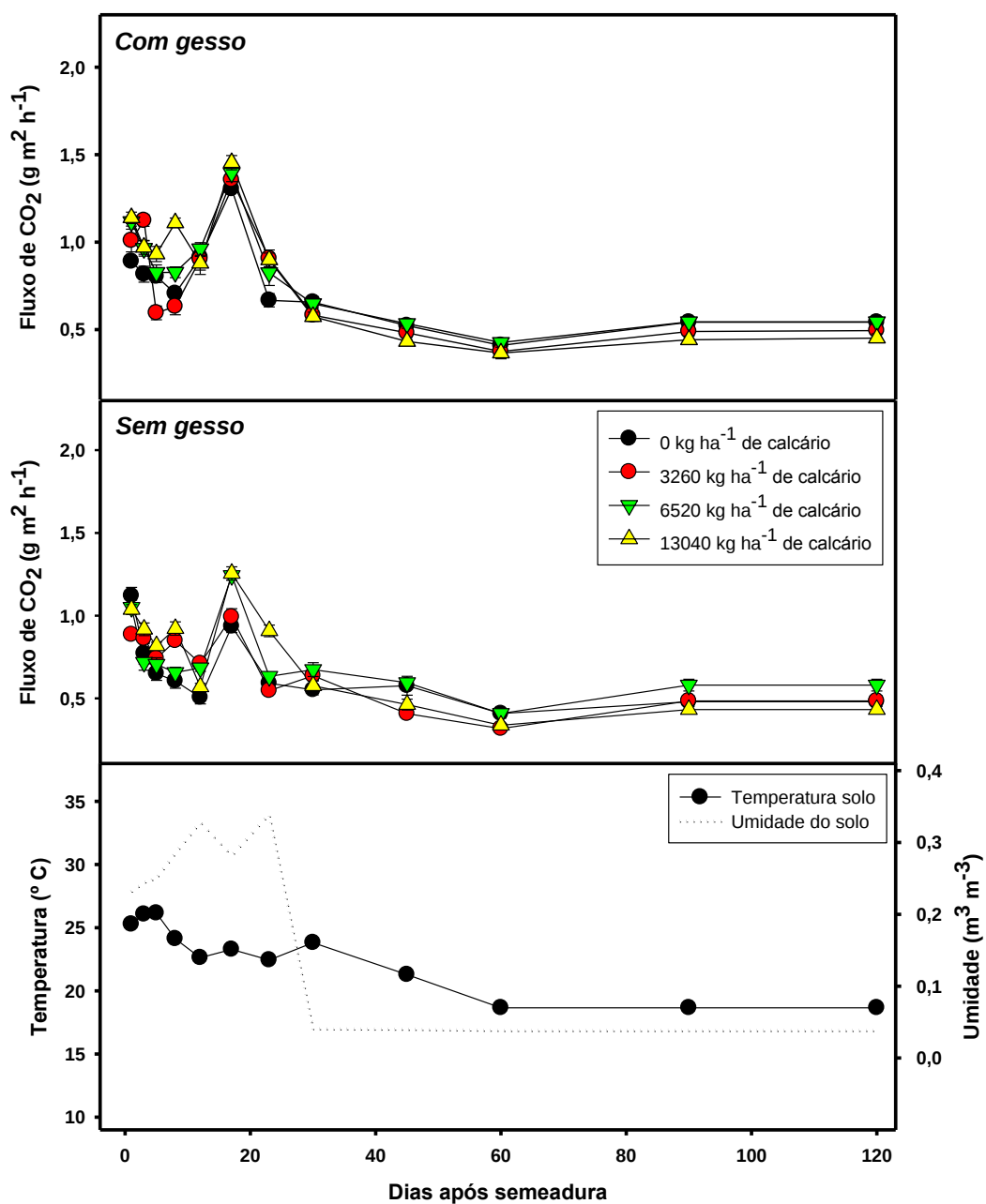
Na figura 5, encontram-se as emissões de CO₂, temperatura e umidade do solo aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) do milho 2018.

Ao longo do ciclo foram observados picos de emissão aos 1, 8 e 17 DAS que novamente foram acompanhados pela elevação da umidade no solo. A partir do 20º DAS houve uma queda drástica na umidade do solo em decorrência de um veranico severo na região, assim como, uma redução na temperatura, que possivelmente influenciou nas baixas taxas de emissões em todos os tratamentos.

Nos tratamentos com gesso o maior pico de emissão ocorreu no 17º DAS, e as doses 0, 3260, 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário emitiram 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 g m² CO₂ h⁻¹, respectivamente (Figura 5). Nos tratamentos sem gesso o maior pico de emissão também ocorreu no 17º DAS, e as doses 0, 3260, 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de

calcário emitiram 0,9, 1,0, 1,2 e 1,2 g m² CO₂ h⁻¹ respectivamente (Figura 5). A partir do 23º DAS todos os tratamentos com ou sem gesso, apresentaram uma redução drástica nas emissões que se mantiveram constantes até o final do ciclo.

Figura 5 – Fluxo de CO₂ do solo com e sem gesso, temperatura e umidade aos 1, 3, 5, 8, 12, 17, 23, 30, 45, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) do milho safra 2018.



4.8 Fluxo acumulado de C-CO₂

As emissões acumuladas do primeiro ano (soja e milho), segundo ano (soja e milho) e total dos dois anos agrícolas encontram-se na tabela 23.

No primeiro ano, na safra da soja, a menor emissão de C-CO₂ ocorreu no tratamento com a maior dose de calcário (13040 kg ha⁻¹) e no tratamento controle (0 kg ha⁻¹). Ambos os tratamentos emitiram cerca de 25% menos C-CO₂ que a dose de 3260 kg ha⁻¹ de calcário. Na safra do milho não houve diferença significativa nas emissões quanto à aplicação de calcário, todavia, nota-se que a maior emissão novamente ocorreu na dose 3260 kg ha⁻¹ de calcário (Tabela 23).

Tabela 23 – Emissão acumulada de C-CO₂ nos dois anos agrícolas (Mg ha⁻¹).

Tratamentos	Primeiro Ano			Segundo Ano			Σ 2 anos
	Soja	Milho	Total	Soja	Milho	Total	
Calcário							
0	5,94 bc	4,22	10,15 b	6,40	4,55	10,96	21,10 ab
3260	7,82 a	5,05	12,86 a	6,24	4,15	10,40	23,25 a
6520	6,70 b	4,72	11,42 ab	5,40	4,72	10,10	21,55 ab
13040	5,84 c	4,83	10,70 b	5,75	4,20	9,75	20,40 b
Gesso							
0	6,48	4,88	11,35	6,30 a	4,20	10,50	21,90
10000	6,66	4,54	11,20	5,45 b	4,60	10,05	21,25
Probabilidade de F							
Calcário	<0,01**	0,35NS	0,01*	0,43NS	0,34NS	0,50NS	0,02*
Gesso	0,32NS	0,20NS	0,62NS	0,02*	0,15NS	0,20NS	0,13NS
Calc x Gess	0,12NS	0,10NS	0,15NS	0,27NS	0,90NS	0,55NS	0,41NS
CV calcário	10,60	19,35	11,55	23,60	16,40	15,85	8,90
CV gesso	7,80	15,20	7,90	16,30	14,95	10,50	5,30
Média geral	6,60	4,70	11,30	5,90	4,00	10,30	21,60

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

No total emitido no primeiro ano agrícola, houve diferença estatística entre os tratamentos. A dose de 3260 kg ha⁻¹ de calcário apresentou a maior emissão de C-CO₂, sendo esta cerca de 21% superior ao tratamento controle, 11% a dose de 6520 kg ha⁻¹ e 16% a dose de 13040 kg ha⁻¹. De modo geral, não houve efeito significativo quanto à aplicação de gesso em nenhuma variável no primeiro ano agrícola (Tabela 23).

No segundo ano, não houve diferença estatística entre os tratamentos quanto às emissões acumuladas na safra da soja, milho e no total do segundo ano. Entretanto, na safra da soja houve efeito significativo quanto à aplicação de gesso agrícola, que na dose de 10000 kg ha⁻¹ reduziu entorno de 13% a emissão acumulada de C-CO₂ (Tabela 23).

Ao final dos dois anos agrícolas, nota-se que a dose de 3260 kg ha⁻¹ de calcário apresentou a maior emissão C-CO₂ não diferindo estatisticamente das doses 0 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário. Em contrapartida, a menor emissão ao final dos dois anos agrícolas foi observada na dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário. O gesso agrícola não influenciou no total emitido dos dois anos agrícolas (Tabelas 23).

4.9 Produtividade dos grãos e emissão relativa (*Yield-scaled*)

A produtividade e a emissão relativa (*Yield-scaled*) das safras de grãos dos dois anos agrícolas encontram-se na tabela 24.

No primeiro ano agrícola, na safra da soja, a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário promoveu um aumento de 18, 34 e 51% na produtividade de grãos em comparação as doses de 6520, 3260 e 0 kg ha⁻¹ de calcário, respectivamente. A aplicação de 10000 kg ha⁻¹ de gesso agrícola promoveu um aumento de 9% na produtividade da soja em relação ao tratamento controle (Tabela 24).

Na safra do milho primeiro ano, a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário promoveu um aumento na produtividade de grãos de 7, 34 e 58% em relação as doses de 6520, 3260 e 0 kg ha⁻¹ de calcário, respectivamente. Já a aplicação de gesso agrícola resultou em um aumento de 19% na produtividade do milho em relação ao tratamento controle (Tabela 24).

A partir dos valores de emissão acumulada de ambas as safras (soja e milho) no primeiro ano, e os respectivos rendimentos de grãos, determinou-se a emissão relativa dos diferentes tratamentos por meio do *yield-scaled*. Com base nesses valores observa-se que não houve diferença estatística entre as doses 6520 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário, e que ambas tiveram emissão relativa de 0,91 e 0,79 kg C-CO₂ kg⁻¹ de grãos, respectivamente (Tabela 24). O tratamento controle apresentou a maior emissão relativa (1,62 kg C-CO₂ kg⁻¹ de grãos) seguido da dose 3260 kg ha⁻¹ de calcário (1,25 kg C-CO₂ kg⁻¹ de grãos). A aplicação de gesso agrícola resultou

num decréscimo de 22,48% na emissão relativa em relação ao tratamento controle (Tabela 24).

Tabela 24 – Produtividades de grãos (Mg ha⁻¹) e emissões relativas das safras de grãos (kg C-CO₂ kg grãos⁻¹).

Tratamentos	Primeiro Ano			Segundo Ano			Yield-scaled Σ 2 anos
	Soja	Milho	Yield-scaled	Soja	Milho	Yield-scaled	
Calcário							
0	2,65 d	3,85 c	1,62 a	2,76 d	0,75 d	2,90 a	2,10 a
3260	3,55 c	6,10 b	1,25 b	3,60 c	1,40 c	2,15 b	1,56 b
6520	4,40 b	8,45 a	0,91 c	4,30 b	3,00 b	1,40 c	1,05 c
13040	5,40 a	9,15 a	0,79 c	5,30 a	4,25 a	1,05 d	0,84 d
Gesso							
0	3,80 b	6,15 b	1,24 a	3,80 b	2,15 b	2,10 a	1,55 a
10000	4,20 a	7,60 a	1,00 b	4,20 a	2,50 a	1,70 b	1,24 b
Probabilidade de F							
Calcário	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**
Gesso	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**	<0,01**
Calc x Gess	0,45NS	0,80NS	0,01*	0,64NS	<0,01**	0,03*	<0,01**
CV calcário	7,34	14,00	15,85	5,10	5,75	5,50	9,30
CV gesso	4,35	8,60	11,30	6,70	6,35	8,00	6,60
Média geral	4,00	6,88	1,15	4,00	2,35	1,90	1,40

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t ($p < 0,05$).

No segundo ano agrícola, na safra da soja, a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário obteve produtividade média 18, 32 e 48% superior à dose de 6520, 3260 e 0 kg ha⁻¹ de calcário, respectivamente. E a aplicação de 10000 kg ha⁻¹ de gesso agrícola promoveu um aumento de 10% na produtividade da soja em relação ao tratamento controle (Tabela 24).

Na safra do milho segundo ano, houve uma redução significativa na produtividade em relação ao primeiro ano em detrimento de um veranico que comprometeu de forma significativa o desenvolvimento da cultura. No entanto, houve efeito significativo do fator calcário e gesso na obtenção de produtividade. A dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário promoveu rendimento cerca de 30, 67 e 82% superior à dose de 6520, 3260 e 0 kg ha⁻¹ de calcário, respectivamente. E a

aplicação de 10000 kg ha⁻¹ de gesso agrícola promoveu um aumento de 14% na produtividade do milho em relação ao tratamento controle (Tabela 24).

No segundo ano agrícola, nota-se que houve um aumento na emissão relativa para todos os tratamentos, esse efeito pode ser explicado pela queda na produtividade do milho no segundo ano. De acordo com os dados, a menor emissão relativa ocorreu na dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário (1,05 kg C-CO₂ kg⁻¹ de grãos), sendo esta, 25, 51 e 63% inferior às doses de 6520, 3260 e 0 kg ha⁻¹ de calcário, respectivamente. A aplicação de gesso agrícola resultou num decréscimo de 19% na emissão relativa em relação ao tratamento controle (Tabela 24).

Com base na emissão relativa total, que compreende a razão entre o somatório das emissões acumuladas e a soma das produtividades das safras nos dois anos agrícolas, observa-se que a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário apresentou a menor emissão relativa (0,84 kg C-CO₂ kg⁻¹ de grãos), sendo esta, 20, 46 e 60% inferior às doses de 6520, 3260 e 0 kg ha⁻¹ de calcário, respectivamente. Para o fator gesso, a dose de 10000 kg ha⁻¹ promoveu um decréscimo de 20% na emissão relativa em relação ao tratamento controle (Tabela 24).

No primeiro ano agrícola, houve interação significativa entre calcário e gesso na produtividade na emissão relativa do primeiro ano, na produtividade do milho segundo ano, na emissão relativa do segundo ano e do total dos dois anos agrícolas (Tabela 25).

Tabela 25 – Interações entre calcário e gesso na produtividade de grãos (Mg ha⁻¹) e emissões relativas das safras de grãos (kg C-CO₂ kg grãos⁻¹).

Gesso	Calcário			
	0	3260	6520	13040
Yields-Scaled primeiro ano				
0	1,87 Aa	1,42 Ba	0,96 Ca	0,72 D
10000	1,40 Ab	1,15 Bb	0,75 Cb	0,70 C
LSD	0,20			
Milho segundo ano				
0	0,78 D	1,40 C	2,75 bB	3,86 bA
10000	0,82 D	1,45 C	3,25 aB	4,60 aA
LSD	0,25			
Yield-scaled segundo ano				
0	3,21 aA	2,30 aB	1,46 aC	1,15 D
10000	2,60 bA	1,95 bB	1,35 bC	0,95 D
LSD	0,25			
Yield-scaled Σ 2 anos				
0	2,35 aA	1,73 aB	1,15 aC	0,90 D
10000	1,80 bA	1,40 bB	0,96 bC	0,80 C
LSD	0,08			

* Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem ao teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Para a emissão relativa do primeiro ano observa-se que as doses de 0, 3260 e 6520 kg ha⁻¹ calcário combinadas com gesso apresentaram uma redução nos valores de emissão relativa (Tabela 25). Para a variável produtividade do milho a dose de 6520 e 13040 kg ha⁻¹ calcário combinadas com 10000 kg ha⁻¹ de gesso aumentou a produtividade. Já para as emissões relativas do segundo ano e do total dos dois anos agrícolas todas as doses de calcário combinadas com gesso promoveram uma redução nas emissões relativas, com exceção da maior dose de calcário (Tabela 25).

4.10 Balanço de C

Com base nos resultados de C-CO₂ emitidos anualmente e nos aportes de C via resíduos vegetais (raízes + parte aérea), o balanço de C foi calculado para o primeiro ano, segundo ano e total dos dois anos agrícolas (Tabela 26).

Tabela 26 – Balanço de C do sistema (Mg ha⁻¹).

Tratamentos	Primeiro Ano			Segundo Ano			Balanço 2 anos
	Entrada	Saída	Balanço anual	Entrada	Saída	Balanço anual	
Calcário							
0	7,35 c	10,15 b	-2,81 ± 1,15	5,30 d	10,95	-5,60 ± 2,30	-8,50 ± 2,70
3260	8,15 c	12,85 a	-4,70 ± 1,03	6,10 c	10,40	-4,31 ± 1,30	-9,00 ± 1,60
6520	10,00 b	11,40 ab	-1,36 ± 2,33	8,40 b	10,11	-1,80 ± 1,00	-3,15 ± 2,33
13040	11,80 a	10,65 b	1,11 ± 1,90	9,40 a	9,75	-0,35 ± 0,80	0,74 ± 1,90
Gesso							
0	9,15	11,35	- 2,22 ± 2,30	7,20	10,55	-3,30 ± 2,85	-5,55 ± 4,50
10000	9,50	11,20	-1,67 ± 3,10	7,30	10,05	-2,75 ± 2,20	-4,40 ± 4,75
Probabilidade de F							
Calcário	<0,01**	0,01*	—	<0,01**	0,50NS	—	—
Gesso	0,25NS	0,60NS	—	0,65NS	0,20NS	—	—
Calc x Gess	0,80NS	0,15NS	—	0,60NS	0,55NS	—	—
CV calcário	8,60	11,55	—	6,10	15,86	—	—
CV gesso	9,60	7,90	—	7,50	10,47	—	—
Média geral	9,35	11,30	—	7,25	10,30	—	—

*, ** e NS, significativo a 5%, a 1% e não significativo pelo teste F. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem estatisticamente pelo teste t (p<0,05).

No primeiro ano agrícola houve diferença estatística entre os tratamentos quanto o aporte de C pelos resíduos vegetais (entrada). A dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário apresentou a maior entrada de C via resíduos vegetais, sendo esta, cerca de 15, 31 e 38% superior às doses de 6520, 3260 e 0 kg ha⁻¹ de calcário, respectivamente (Tabela 26). No mesmo ano agrícola, os dados mostram que as maiores saídas de C via C-CO₂ ocorreram nas doses de 3260 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário, e as menores ocorreram nas doses 0 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário. Para as variáveis entrada e saída, o fator gesso não apresentou diferença estatística nesse ano agrícola (Tabela 26).

De acordo com o balanço anual do primeiro ano, observa-se que à medida que as doses de calcário aumentam, o balanço de C tende a ficar menos negativo. De modo geral, as maiores doses de calcário promoveram as maiores entradas de C via resíduos vegetais, no entanto, não necessariamente foram as que apresentaram as maiores emissões C-CO₂. O balanço de C mais negativo ocorreu no tratamento controle que apesar de apresentar a menor emissão, aportou menos C para o sistema, já as doses 3260 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário apresentaram as maiores taxas de emissão de C via C-CO₂, todavia, o maior aporte de C via resíduos vegetais

possivelmente compensou as maiores saídas (Tabela 26). Por ultimo, a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário foi a que apresentou o balanço de C positivo em comparação aos demais tratamentos, visto que, promoveu a maior entrada de C via resíduos vegetais com uma taxa de emissão inferior as demais doses, e estatisticamente similar ao tratamento controle (Tabela 26).

No segundo ano agrícola houve diferença estatística entre os tratamentos quanto o aporte de C pelos resíduos vegetais (entrada). A dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário aportou cerca de 10, 35 e 43% superior às doses de 6520, 3260 e 0 kg ha⁻¹ de calcário, respectivamente. Para o mesmo ano agrícola, não houve diferença estatística para a variável saída, tampouco, efeito significativo do gesso agrícola (Tabela 26).

O balanço de C do segundo ano agrícola comportou-se de forma similar ao primeiro ano, cujas maiores doses de calcário promoveram as maiores entradas de C via resíduos vegetais, no entanto, não necessariamente foram as que apresentaram as maiores emissões C-CO₂. De acordo com os dados do balanço total de C dos dois anos agrícolas, observa-se que o balanço decresce à medida que as doses de calcário aumentam, ou seja, maiores doses de calcário promoveram maiores entradas, o que possivelmente compensou as emissões, possibilitando deste modo, um balanço de C mais favorável para o sistema (Tabela 26). Assim como a calagem, a aplicação de 10000 kg ha⁻¹ de gesso agrícola permitiu um balanço de C mais favorável para o sistema ao final dos dois anos agrícolas.

5 DISCUSSÃO

A calagem foi considerada uma prática viável para melhorar a acidez do solo aos 12 e 24 meses após a reaplicação do calcário, em um Latossolo conduzido sob SSD há 15 anos (Tabela 3). Caires et al. (2006) observaram que a calagem superficial sob um Latossolo argiloso em uma região com características climáticas distinta do presente trabalho, teve efeito limitado na correção da acidez em profundidades maiores que 0,10 m após 60 meses da aplicação. Caires et al. (2011) verificaram que a calagem superficial apresentou efeito positivo na correção da acidez do solo a uma profundidade de 0,60 m após 96 meses da aplicação. No entanto, Castro e Crusciol (2013) em condições similares ao presente trabalho, constaram que 6 meses após a aplicação superficial do calcário, os valores de pH do solo aumentaram até 0,10 m de profundidade, e aos 12 meses até 0,20 m de profundidade. Os resultados do presente trabalho mostram que aos 12 e 24 meses após a reaplicação do calcário efeitos positivos nos valores de pH foram observados até a profundidade de 0,40 m, no entanto, esses efeitos foram intensificados quando a dose de 13040 kg ha^{-1} de calcário foi empregada, ou seja, o dobro da dose recomendada. Segundo Auler et al. (2019), a calagem superficial é uma importante alternativa na adoção de SSD, todavia, para corrigir camadas mais profundas em menor tempo, altas doses de calcário são necessárias.

No presente trabalho, apenas na profundidade de 0,0-0,10 m 24 meses após a reaplicação do gesso apresentou diferença estatística no valor de pH do solo (Tabela 3). Apesar das demais profundidades não terem apresentado efeito estatisticamente significativo nos valores de pH quanto a aplicação de gesso agrícola, um aumento foi observado. Resultado diferente foi encontrado por Churka Blum et al. (2013) e Caires et al. (2003) que verificaram aumentos nos valores de pH, todavia, em camadas mais profundas do solo nas parcelas que receberam gesso. Os autores atribuíram esse aumento à adsorção de sulfato na superfície do Fe e óxidos de Al, substituindo OH^- e, assim, promovendo neutralização da acidez do solo (REEVE e SUMNER, 1972). Já Soratto e Crusciol (2008) observaram aumento nos valores de pH 3 meses após a aplicação de gesso junto à calagem. Segundo Carmeis Filho (2016) o gesso pode ser um importante complemento a calagem a longo prazo, pois desenvolvendo um trabalho na mesma área de estudo,

verificou que após 48 meses da reaplicação conjunta do calcário e gesso efeitos positivos foram observados no pH na camada 0,0-0,10 m.

A aplicação superficial de calcário e gesso foram práticas agrícolas viáveis para melhorar o crescimento radicular, e consequentemente o aporte de C e N no solo nos dois anos agrícolas (Tabela 4 e 5). O calcário e o gesso desempenham papel fundamental melhorando as propriedades químicas do solo, devido à neutralização do Al^{3+} e aumento da disponibilidade de cálcio, magnésio e enxofre ao longo do perfil, que por sua vez, proporcionam melhores condições para a proliferação e o desenvolvimento radicular (CAIRES et al., 2000; CARMEIS FILHO et al., 2017). Em regiões tropicais a acidez do subsolo é um fator que limita a produtividade das culturas devido à presença de veranicos frequentes (MARSH e GROVE 1992; SUMNER et al., 1986), diante disso, a aplicação superficial de calcário e gesso em SSD possibilita maior desenvolvimento do sistema radicular, que confere maior tolerância as plantas ao estresse hídrico, garantindo rendimentos satisfatórios (CAIRES et al., 2001; BOSSOLANI et al., 2018). No presente trabalho, esse efeito foi observado no campo principalmente na safra do milho 2018, cujo veranico severo limitou o desenvolvimento da cultura, no entanto, os tratamentos com as maiores doses de calcário e gesso apresentaram melhor desenvolvimento e maior produtividade em comparação as menores doses e ao tratamento controle. Dessa forma, fica evidente a influência principalmente do calcário no desenvolvimento do sistema radicular das culturas nos dois anos agrícolas, cuja maior dose de calcário apresentou um aporte de C e N cerca de 40 e 37% superior ao tratamento controle (Tabela 4 e 5).

Estratégias que melhoram a fertilidade do solo, como o emprego do calcário pode resultar em maior produtividade possibilitando retornos crescentes de matéria orgânica ao solo na forma de raízes e resíduos contribuindo para o estoque de C em comparação a uma área sem correção (PARADELO et al., 2015). Diferente do presente trabalho, Carmeis Filho et al. (2017) constatou que a calagem superficial é considerada uma importante ferramenta para aumentar a produção de biomassa refletindo em maiores aportes de MOS em Latossolos ácidos sob sistema conservacionista, todavia, os autores verificaram que o gesso não teve efeito sobre a produção de biomassa aérea e radicular, mas impactou positivamente sobre a disponibilidade de N e estabilização da MOS.

Estudos recentes têm mostrado importante contribuição das raízes para as frações estáveis da MOS (RASSE et al., 2005; JOHNSON et al., 2007), e segundo Kätterer et al. (2011) as raízes apresentam um coeficiente de humificação de carbono cerca de 2,3 vezes maior que os resíduos de parte aérea. Alguns autores atribuem esse efeito a estabilização física relacionada ao arranjo das partículas do solo protegendo o acesso de micro-organismo, enzimas e oxigênio (SIX et al., 2002; SIX et al., 2004). A maior contribuição das raízes no incremento de C ao solo em relação à biomassa aérea, também pode ser atribuída à recalcitrância dos compostos que predominam nas raízes, como por exemplo, a presença de lignina, que está associada à formação de substâncias húmicas (RASSE et al., 2005; BAYER et al., 2011).

Chenu et al. (2019) constataram que horizontes subsuperficiais apresentam menor concentração de carbono orgânico em comparação a camadas superficiais, pois se encontram mais saturadas, por esse motivo, possuem maior estoque potencial para armazenar C. Diante disso, os autores relatam que uma importante alternativa para sequestrar C seria a utilização de culturas com altos níveis de biomassa radicular, já que em profundidade o efeito priming é menor e a relação C/N é maior, proporcionando dessa forma menores taxas de mineralização (PRIES et al., 2018). Como consequência, o material preservado pode ser estabilizado quimicamente pelos minerais do solo ou fisicamente pelos agregados. Dentro desse contexto, o emprego de práticas agrícolas como a calagem e gessagem que possibilita o crescimento radicular em profundidade, pode ser uma importante estratégia para incorporar C ao solo em regiões tropicais (CARMEIS FILHO, 2016).

Como esperado, a calagem superficial promoveu melhorias na produção de massa de matéria seca da parte aérea das culturas e braquiária no total dos dois anos agrícolas, de modo que os maiores aportes de C e N foram associadas às maiores doses aplicadas (Tabela 7 e 8). Todavia, esse efeito não foi observado com a aplicação de gesso agrícola. Inagaki et al. (2016) avaliando a influência da aplicação superficial de calcário e gesso em um sistema de plantio direto, constataram que melhorias na fertilidade do solo promoveram aumentos significativos na produtividade das culturas e na entrada de C via biomassa, independente da aplicação de gesso. Assim como, Briedis et al. (2012) que verificaram maior produção de resíduos nas áreas que receberam calagem

superficial em um sistema de plantio direto a longo prazo. Esse maior aporte de C via resíduos, associados a sistemas conservacionistas com ausência de perturbações, pode desempenhar papel de grande relevância no sequestro de C no solo (HOK et al., 2015; SÁ et al., 2014; SÁ et al., 2015). De acordo com os resultados do presente trabalho, o aporte de C no primeiro ano agrícola pela massa de matéria seca da parte aérea variou de 6,10 Mg ha⁻¹ (Tratamento controle) a 9,85 Mg ha⁻¹ (Maior dose de calcário empregada), e no segundo ano agrícola de 3,85 Mg ha⁻¹ (Tratamento controle) a 6,75 Mg ha⁻¹ (Maior dose de calcário empregada). Nota-se que em comparação ao aporte de 2,83 a 3,19 Mg ha⁻¹ relatado por Inagaki et al. (2016) e o aporte de 4,40 a 4,68 relatado por Sá et al. (2014), a rotação de cultura e altas doses de calcário empregadas no presente trabalho pode ser uma estratégia para aumentar as entradas de C via resíduos, e assim, contrabalancear os efeitos negativos da calagem sobre a matéria orgânica do solo.

No presente trabalho, de modo geral não houve diferença estatística no estoque de C e N do solo antes e aos 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso (Tabela 10 e 11). Como se sabe a aplicação de calcário melhora as condições de pH do solo, no entanto, essa mudança pode estimular a curto prazo a atividade biológica aumentando as taxas de mineralização (HAYNES, 1984; HAYNES e SWIFT, 1988) e muito provavelmente acelerando as taxas de rotatividade da matéria orgânica no solo, se os demais fatores permanecerem constantes (PARADELO et al., 2015). Estudos mostram que a aplicação de calcário sob sistema de plantio direto a longo prazo pode aumentar os estoques de COS (BRIEDIS et al., 2012), no entanto, outros autores relataram uma redução (CHAN e HEENAN, 1999; FUENTES et al., 2006; AYE et al., 2016). Segundo Aye et al. (2016) o impacto da calagem no COS é fortemente influenciado por fatores primários como as entradas de C via aporte de resíduos, que pode compensar a mineralização extra em decorrência do aumento do pH. Os mesmos autores relatam que a calagem deve ser seguida de práticas de manejo que maximizam a entrada de biomassa e minimize a perturbação do solo, e que a aplicação superficial de doses relativamente altas de calcário pode melhorar a fertilidade do solo, e com o tempo, a acidez subterrânea estimulando a proliferação radicular e o acúmulo de COS em camadas mais profundas do solo. Essas suposições dos autores corroboram com o presente trabalho, já que 24 meses após a reaplicação do calcário, mesmo não havendo diferença estatística entre os tratamentos, observa-se um aumento no estoque de C do solo em

comparação aos resultados encontrados antes da reaplicação, sugerindo que as maiores entradas de C via biomassa aérea e radicular estariam compensando a mineralização extra a curto prazo. Estudos a longo prazo mostram que mesmo um aporte de C baixo variando de 2,8 a 3,2 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, incrementos significativos nos estoques de C são observados em resposta a aplicação de calcário e gesso (INAGAKI et al., 2016). De acordo com Inagaki et al. (2017) embora a atividade microbiana do solo aumente de 1 a 1,5 anos após a aplicação de calcário e gesso não leva ao esgotamento do COS do solo quando realizada em sistemas conservacionistas.

Com base nos resultados, observa-se que se compararmos os valores de estoque de C antes da reaplicação e aos 24 meses após (Tabela 17) os valores de sequestro de C variam de 0,8 a 2,00 Mg ha⁻¹ ano. Esses valores estão dentro dos descritos na literatura para clima tropical, que podem variar de 0,4 a 1,7 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, para a região do cerrado, e 0,5 a 0,9 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, para a região Sul do Brasil, considerando a camada 0,0-0,40 m de profundidade (BERNOUX et al., 2006). Bayer et al. (2006) avaliando o acúmulo de C em área manejadas sob SPD no Cerrado, constatou um sequestro de C variando de 0,30 e 0,60 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em solos com textura média e argilosa, respectivamente. Maiores valores de sequestro de C (0,8 a 2,8 ha⁻¹ ano⁻¹) foram observados por Carvalho et al. (2009) em uma área do Cerrado sob conversão de SPD para ILP (Integração Lavoura Pecuária). Os autores concluíram que necessitam de pesquisas de longa duração para o melhor entendimento da dinâmica do C nesse sistema. Além disso, ressalta a grande variabilidade de resultados nos solos do Brasil, visto que, condições climáticas, tipo de solo, manejo aplicado e tempo de implantação do SPD podem interferir nessa dinâmica.

Assim como o estoque de C, o estoque de N apresentou um aumento 24 meses após a reaplicação do calcário. Apesar desse aumento, os estudos sugerem que a calagem pode aumentar a mineralização do N como demonstrado em dois estudos na Irlanda do Norte (BAILEY, 1995; STEVENS e LAUGHLIN, 1996), que relatam aumentos significativos na mineralização do N, todavia, esses aumentos foram transitórios, corroborando com o presente trabalho, já que 24 meses após a reaplicação os estoques de N apresentaram um aumento. Segundo Holland et al. (2018) é provável que a aplicação de calcário aumente a mineralização do N no solo, mas que o impacto geral dependerá do equilíbrio entre a mineralização e a

imobilização, e em última análise da relação C:N dos vegetais retornados ao solo, como também das frações particuladas da MOS (WACHENDORF, 2015).

De acordo com os resultados do fracionamento físico da MOS do presente trabalho, observa-se que nas diferentes profundidades os teores de carbono orgânico particulado (COP) foram os mais afetados pela calagem superficial (Tabela 13, 16 e 19). Nas diferentes profundidades os maiores teores de COP e COP/COT foram relacionados às doses de 3260 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário aos 12 e 24 meses após a reaplicação, todavia, os menores teores foram encontrados nas doses de 0 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário. O aumento do pH ocasionado pela aplicação do calcário propicia um ambiente favorável para a atividade biológica do solo que é estimulada a curto prazo (EDMEADES et al., 1981; HAYNES, 1984; HAYNES e SWIFT, 1988). Com isso, há uma elevação nas taxas de mineralização que consequentemente leva a uma redução principalmente nas frações mais lábeis da MO como COP, principalmente se os demais fatores permanecerem constantes ou se as aplicações de calcário persistirem (PARADELO et al., 2015). Diante disso, fica evidente que os menores valores de COP relacionados à dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário, ou seja, o dobro da dose recomendada pode ter ocasionado um aumento considerável na atividade microbiana do solo em comparação as doses de 3260 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário, o que resultou em menores teores de COP aos 12 e 24 meses após a reaplicação.

Os maiores valores de COP particulado relacionado às doses de 3260 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário pode estar relacionado às atribuições positivas do calcário a estrutura do solo, já que altas concentrações de Ca²⁺ eleva a força iônica na solução do solo, e com isso, aumenta a floculação de minerais argilosos e, portanto, a formação de agregados. Além disso, a calagem promove melhorias na estrutura do solo pela ação cimentante dos carbonatos (DONER e LYNN, 1989; HAYNES e NAIDU, 1998). Sendo assim, melhor estabilidade na estrutura do solo confere maior proteção física ao COP contra o acesso de microrganismos, diminuindo as taxas de mineralização (PARADELO et al., 2015). Em contrapartida, a redução do COP na dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário pode estar relacionado ao aumento da mineralização e esgotamento das frações mais lábeis da MO como o COP, que apresenta ação agregadora (PUGET et al., 1999). Os resultados do presente trabalho dão indícios que a dose e o tempo após a aplicação do calcário são importantes fatores a serem considerados quanto ao equilíbrio entre as atribuições

positivas e negativas da calagem ao COS como relatado por Paradelo et al. (2015). Isso porque, 24 meses após a reaplicação do calcário e gesso, constatou-se uma recuperação nos teores de COP e um aumento nos teores de COT e COM principalmente na profundidade de 0,0-0,20 m. Alguns autores sugerem que o aumento da atividade microbiana, consumindo principalmente C lábil como o COP, pode aumentar a estabilidade dos agregados, uma vez que os microrganismos produzem polissacarídeos extracelulares que agem como agentes aglutinantes (BURNS e DAVIES, 1986; CHENU, 1989, 1995; CHESHIRE e HAYES, 1990) melhorando a agregação. Além disso, estudos mostram que esses materiais mais lábeis são processados com alta eficiência de uso de C pela microbiota (COTRUFO et al., 2013) produzindo compostos solúveis que pode contribuir para o aumento da MO estável do solo (WIEDER et al., 2014). Sendo assim, Briedis et al. (2012) verificaram que a calagem promoveu uma migração do COS instável para frações mais estáveis, no entanto, esse efeito só foi possível com adição contínua de resíduos culturais. Além disso, o emprego de rotação de culturas como no presente trabalho, é uma importante estratégia para aumentar o estoque de C, já que segundo Chen et al. (2018) a maior diversidade de palha e organismos pode resultar no aumento da MOS principalmente das frações mais estáveis. Segundo Page et al. (2009) solos corrigidos com calcário apresentam maior diversidade de microrganismos, e por isso são mais diversificados metabolicamente sendo capazes de explorar uma gama de materiais orgânicos e utilizá-los com maior eficiência.

De acordo com os resultados dos atributos biológicos do solo coletado na safra da soja 2017/2018 na profundidade de 0,0-0,10 m, observa-se que o menor teor de COT foi observado no tratamento controle ($12,03 \text{ g kg}^{-1}$) que diferiu estaticamente das demais doses que apresentaram valor médio de $16,35 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 21). Já os resultados de Cmic mostram que o tratamento controle apresentou o maior valor, ou seja, no tratamento controle grande parte do C está associada à microbiota que se encontra ativa (Tabela 21). De acordo com Guimarães (2016) desenvolvendo um trabalho na mesma área de estudo não houve diferença estatística nos valores de COT e Cmic 53 meses após a aplicação de calcário e gesso. Costa (2012), também avaliando a aplicação de calcário em combinação com fertilizantes, não encontrou efeito dessa prática nos estoques de carbono do solo. Todavia outros autores reportam aumento nos estoques de C após

a calagem (SIMEK et al., 1999; BRIEDIS et al., 2012; MUÑOZ et al., 2013) podendo ser explicado pela maior entrada de biomassa em detrimento da melhoria na fertilidade do solo (INAGAKI et al., 2016) como verificado no presente trabalho.

As doses de 3260 e 6520 kg ha⁻¹ apresentaram os maiores valores de NT (1,22 e 1,11 g kg⁻¹) respectivamente, e dose de 3260 kg ha⁻¹ o maior valor de Nmic (Tabela 21). Guimarães (2016) e Costa (2015) não verificaram diferença significativa nos teores de NT após a aplicação de calcário na camada 0,0-0,10 m. Mas, Guimarães (2016) desenvolvendo um trabalho na mesma área de estudo também constatou que o maior valor de Nmic foi associado à metade da dose recomenda 53 meses após a aplicação. Andrade et al. (1995) e Quadro et al. (2011) verificaram que o Nmic não foi alterado pela calagem.

Com relação a respiração basal do solo não houve diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 21). No entanto, para a variável qCO₂ que corresponde à quantidade de CO₂ liberado por unidade de biomassa, os maiores valores foram observados quando maiores doses de calcário foram utilizadas (Tabela 21). Essa variável indica a eficiência da comunidade microbiana em reter ou incorporar carbono na biomassa ou perdê-lo para a atmosfera na forma de CO₂ (QUADRO et al., 2011). Segundo Sala (2002) menores valores de qCO₂ sugere maior eficiência na utilização do carbono do solo.

O qMic indica a eficiência dos microrganismos em imobilizar C na sua biomassa, sendo assim, apenas a aplicação de calcário influenciou nessa dinâmica, cujo maior valor foi observado no tratamento controle indicando que a alteração do pH com as diferentes doses de calcário pode ter colocado a atividade microbiana sob condição de estresse (Tabela 21). Guimarães (2016) avaliando a influencia do calcário e gesso na mesma área de estudo verificou que o qMic médio de todos os tratamentos foi 1,34%, diferindo do presente trabalho que apresentou valor médio de 1,80%. Considerando que um solo equilibrado deva ter qMic variando de 2 a 5% (GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008) os baixos valores associados as diferentes doses de calcário é um indicativo que está havendo algum problema físico ou químico do solo.

Como já discutido, a calagem influencia o ciclo e a transformação do C no solo, visto que, a própria reação do calcário atua como uma fonte dissipadora de CO₂ para a atmosfera através da dissolução dos carbonatos (CaCO₃ e MgCO₃) (BERTRAND et al., 2007; HAMILTON et al., 2002; PAGE et al., 2009; HOLLAND et

al., 2018). Atualmente muitos questionamentos estão sendo levantados sobre o potencial impacto da calagem na emissão de CO₂, uma vez que dados do IPCC (2006) atribui que a calagem agrícola apresenta fator de emissão de 100%, ou seja, parte do princípio que todo o carbono do calcário aplicado é emitido na forma de CO₂ no ano da aplicação. Segundo Cho et al. (2019) embora sejam necessárias mais pesquisas sobre a emissão de CO₂ pelo calcário, estudos realizados na Korea sugerem fortemente que nem todo C adicionado ao solo via calcário são emitidos para a atmosfera como CO₂. Kunhiskrishan et al. (2016) fazendo um levantamento de diversos trabalhos constatou que a aplicação de calcário em solos ácidos apresenta emissão de CO₂ altamente variável, e dependem de fatores como qualidade do produto aplicado, dose, tempo após a aplicação, tipo de solo, nível de umidade, severidade da acidez, conteúdo de C no solo e práticas de manejo (PAGE et al., 2009; DUMALE et al., 2011).

De acordo com os dados do presente trabalho (Tabela 23), observa-se que no total emitido dos dois anos agrícolas, a maior emissão ocorreu na dose de 3260 kg ha⁻¹ de calcário (23,25 Mg ha⁻¹), seguida das doses de 6520 e 0 de calcário (21,55 e 21,10 Mg ha⁻¹), e por ultimo a dose de 13040 kg ha⁻¹ de calcário (20,65 Mg ha⁻¹). Guimarães (2016) avaliando a emissão acumulada de C-CO₂ após 53 meses da última reaplicação de calcário e gesso agrícola, na mesma área de estudo, verificou que a maior emissão também ocorreu na menor dose de calcário utilizada (1000 kg ha⁻¹ de calcário; emissão: 2,38 Mg ha⁻¹), todavia, a menor emissão diferente do presente trabalho foi verificada no tratamento controle. A autora também não verificou efeito nas emissões quanto à aplicação de gesso agrícola, corroborando com o presente trabalho. Outro aspecto importante verificado no presente trabalho foi que no primeiro ano agrícola os valores de C-CO₂ acumulados foram relativamente superiores ao total emitido no segundo ano agrícola. Esse comportamento corrobora com Fuentes et al. (2006) que avaliando a aplicação de diferentes doses calcário (4,40; 8,80 e 17,60 Mg ha⁻¹) em solos coletados de plantio direto a longo prazo, verificaram que a calagem aumentou consideravelmente a emissão de CO₂ até os 60 dias após a aplicação em comparação a um solo não corrigido, e que após esse período a maior emissão foi constatada no solo não corrigido.

Alguns estudos têm mostrado que esse efeito estimulante inicial se deve a emissão de CO₂ proveniente principalmente da dissolução do calcário, conforme relatado por Dumale et al. (2011) que mostraram que a quantidade de CO₂ derivado da dissolução do calcário consistia de 74-79% e 62-70% do total de CO₂ liberado em um Andisol e Ultisol, respectivamente, sob vários regimes de água em um período de incubação de 36 dias. Em um experimento de incubação usando um Luvisol Crômico, Ahmad et al. (2014) mostraram que de 64–100% do calcário aplicado em um solo sem cobertura morta é liberado como CO₂ durante um período de incubação de 96 dias. Biasi et al. (2008), em condições de laboratório, observaram que 53 a 70% do C-CO₂ emitidos se deram a partir da utilização de calcário, porém, os mesmos valores podem variar conforme a acidez e a reação, enquanto que, em condições de campo, em dois meses de avaliação, a emissão de carbono com o uso da calagem também foi aumentada em relação a testemunha.

No entanto, vale ressaltar que no presente trabalho em todas as safras as maiores emissões de CO₂ ocorreram nos momentos de maior umidade do solo que possivelmente auxiliou na reação do calcário no solo. Segundo Schaufler et al. (2010), fatores climáticos como temperatura e umidade potencializa a emissão de CO₂, conforme relatado por Janegitz (2016) que verificou uma correlação positiva entre o fluxo de CO₂ e a umidade do solo em um sistema de plantio direto sob aplicação de corretivos de acidez.

Com base nos resultados do presente trabalho, a aplicação superficial de calcário e gesso em um SSD a longo prazo influenciou positivamente a produtividade de grãos (Tabela 24). No primeiro ano agrícola a maior dose de calcário (13040 kg ha⁻¹) promoveram um incremento médio de 50 e 58% em relação ao tratamento controle nas safras da soja e milho, respectivamente. Já no segundo ano agrícola a maior dose de calcário (13040 kg ha⁻¹) promoveu um incremento de 48 e 82% em relação ao tratamento controle nas safras da soja e milho, respectivamente. Assim como o calcário, a aplicação de gesso agrícola possibilitou incrementos de 10% na safra da soja primeiro ano, 20% na safra milho primeiro ano, 10% na safra da soja segundo ano e 15% na safra do milho segundo ano. Na literatura diversos trabalhos sob sistema de plantio direto mostram aumentos na produção de grãos com aplicação de calcário (ERNANI et al., 2002; CAIRES et al., 2005; 2008; BLUM et al., 2013; CRUSCIOL et al., 2019; FONTOURA et al., 2019), gesso (TOMA et al., 1999; FARINA et al., 2000; CAIRES et al., 2011) e com a

combinação calcário e gesso (CRUSCIOL et al., 2016; COSTA e CRUSCIOL, 2016; DALLA NORA et al., 2017). A aplicação de calcário e gesso em solos tropicais alivia a toxicidade do Al^{+3} e melhora o ambiente radicular, aumentando a eficiência na absorção de nutrientes e água beneficiando o crescimento e o rendimento das culturas (TOMA et al., 1999; FARINA et al., 2000; CAIRES et al., 2011). Segundo Caires e Guimaraes (2018) o gesso agrícola é usado na agricultura tropical e subtropical quando a acidez do subsolo é um fator limitante para o rendimento, contudo, as condições que aumentam o rendimento das culturas sob SSD a longo prazo ainda continua incerta.

No presente trabalho, houve uma redução drástica na produtividade do milho na segunda safra, essa redução se deve a um veranico longo ocorrido na fase de desenvolvimento da cultura, todavia, observa-se que a maior dose calcário, e a aplicação de gesso agrícola nessas condições promoveram um incremento de 82 e 15% na produtividade do milho em relação ao tratamento controle, respectivamente. Diante disso, a elevada acidez do solo relacionada ao tratamento controle pode ter influenciado na baixa produtividade do milho nesse período de limitação hídrica, todavia, as parcelas que recebeu calcário e gesso apresentaram produtividade substancialmente superior mesmo nessas condições. De acordo com Pauletti et al. (2014) em períodos de veranico a exploração do solo pelo sistema radicular pode estar limitada a camada superficial, principalmente em casos de elevada acidez e baixos níveis de cálcio em profundidade, reduzindo a absorção de água e nutrientes. Sendo assim, práticas que aliviam a acidez do subsolo pode promover maior desenvolvimento radicular das espécies cultivadas, aumentando a tolerância das plantas ao estresse hídrico durante períodos de seca, permitindo alcançar altos rendimentos (CAIRES et al., 2001; BOSSOLANI et al., 2018). Diante disso, fica evidente que práticas que melhoram o crescimento radicular em subsolo conforme verificado no presente trabalho é uma importante ferramenta para manter o rendimento das culturas em condições de deficiência hídrica (RITCHIEY et al., 1980). Diversos autores tem destacado a importância do calcário e gesso agrícola no maior crescimento e distribuição do sistema radicular no perfil do solo promovendo aumento na absorção de água e nutrientes (CAIRES et al., 2001; CAIRES et al., 2003; CARVALHO e RAIJ, 1997). Corroborando com Pauletti et al. (2014) que constataram que a aplicação de gesso aumentou a produtividade do milho e trigo, e

influenciou positivamente a soja em safra sob deficiência hídrica. Segundos os mesmos autores na ausência de deficiência hídrica, altas doses de gesso afetou negativamente a cultura da soja por provável indução de deficiência de magnésio.

De acordo com os dados de *yield-scaled*, medida métrica integrada que possui como objetivo a proteção ambiental e segurança alimentar (Tabela 24) os maiores valores foram observados no tratamento controle, e a partir daí foi ocorrendo uma redução cujo menor valor foi observado nas doses de 6420 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário (1,05 e 0,84) no total dos dois anos agrícolas, respectivamente. Com relação ao fator gesso nota-se que para ambos os anos e para o total dos dois anos agrícolas a aplicação de 10000 kg ha⁻¹ de gesso promoveu uma redução média de 20% nos valores de *yield-scaled* em relação ao tratamento controle. Guimarães (2016) avaliando o efeito da reaplicação do calcário e gesso 53 meses da última aplicação na mesma área de estudo do presente trabalho constatou que para as doses de 2000 e 4000 kg ha⁻¹ de calcário os valores de *yield-scaled* foram de 0,95 e 0,80, respectivamente. De modo geral, os valores de *yield-scaled* das doses de 6420 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário ao final dos dois anos agrícolas estavam praticamente dentro da faixa de 0,98 e 1,13 relatada por Linquist et al. (2012) que analisaram dados de CO₂ equivalente nas culturas do milho, trigo e arroz. Vale ressaltar, que no segundo ano agrícola para todos os tratamentos houve um aumento nos valores de *yield-scaled* ocasionados pela menor produtividade de grãos na safra do milho devido à limitação hídrica, como já relatado.

Sendo assim, fica evidente que a calagem e a gessagem são práticas agrícolas que reduzem a emissão de gases de efeito estufa por quilograma produzida de grãos, diante disso, Godfray et al. (2011) relata que a intensificação da agricultura aliadas à práticas sustentáveis de produção possibilita minimizar os danos ao meio ambiente e recursos naturais, além de garantir a segurança alimentar mundial.

Com base nos resultados de C-CO₂ emitidos anualmente e nos aportes de C via resíduos vegetais (raízes + parte aérea) o balanço de C do sistema foi calculado (Tabela 26). Os resultados mostram que nas condições de estudo a aplicação superficial de calcário e gesso sob sistema de manejo conservacionista, apresentou balanço de C mais favorável ao sistema 24 meses após a reaplicação, em comparação ao tratamento controle. Segundo Carmeis Filho et al. (2017) o emprego do calcário e do gesso associado a sistemas de manejo conservacionistas são

fatores chave para melhorias na produtividade e na sustentabilidade em regiões tropicais. Lochon et al. (2019) também destacou o potencial da calagem na sustentabilidade das pastagens fertilizadas na França.

Apesar do efeito favorável do calcário e gesso no balanço de C nas condições de estudo, é de suma importância conhecer a magnitude das mudanças induzidas pela prática a longo prazo.

6 CONCLUSÕES

Os resultados sugerem que apesar da calagem influenciar na emissão de C-CO₂, sua utilização em combinação com o gesso refletiu em maiores entradas de C via resíduos vegetais, compensando as saídas, promovendo um balanço de C mais favorável para o sistema. No entanto, vale ressaltar que esses efeitos foram mais pronunciados à medida que maiores doses de calcário foram empregadas.

A aplicação superficial de calcário foi considerada uma prática apropriada na redução da acidez do solo na profundidade de 0,0-0,40 m 12 meses após a reaplicação, no entanto, essa resposta foi observada quando a dose de 13040 Kg ha⁻¹ de calcário foi empregada.

Ao final dos dois anos agrícolas apenas a aplicação superficial de calcário promoveu maior aporte de C e N pela massa de matéria da parte aérea e radicular. E os maiores aportes de C e N seja via raiz ou parte aérea ocorreram na dose de 13040 Kg ha⁻¹ de calcário.

A aplicação superficial de calcário e gesso não influenciaram os estoques de C e N no solo.

A calagem superficial influenciou o COP, cujos maiores teores foram relacionados às doses de 3260 e 6520 kg ha⁻¹ de calcário aos 12 e 24 meses após a reaplicação, e os menores foram encontrados nas doses de 0 e 13040 kg ha⁻¹ de calcário.

Os atributos biológicos do solo foram afetados pela calagem à medida que maiores doses foram utilizadas, indicando uma possível condição de desequilíbrio.

A aplicação superficial de calcário e gesso resultaram em maior produtividade de grãos, e em menor emissão de C-CO₂ por quantidade de grãos produzidos.

REFERÊNCIAS

AHMAD, W.; SINGH, B.; DIJKSTRA, F. A.; DALAL, R. C.; GEELAN-SMALL, P. Temperature sensitivity and carbon release in an acidic soil amended with lime and mulch. **Geoderma**, Amsterdam, v. 214-2015, p.168-176, 2014.

ANDRADE, D.S; COLOZZI-FILHO. A.; PAVAN, M.A.; BALOTA, E.L.; CHAVES, J.C.D. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19. p.191-196, 1995.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as ph, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 25, n. 3, p. 393–395, 1993.

ALVES, T. D. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p.341-347, 2011.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. **Academic Press**, London, p. 576, 1995.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 359-367, 2004.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 393-395, 1993.

ANIKWE, M. A. N.; EZE, J. C.; IBUDIALO, A. N. Influence of lime and gypsum application on soil properties and yield of cassava (*Manihot esculenta Crantz.*) in a degraded Ultisol in Agbani, Enugu southeastern Nigeria. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 158, p.32–38, 2016.

AULER, A. C.; CAIRES, E. F.; PIRES, L. F.; GALETTO, S. L.; ROMANIW, J; CHARNOBAY, A. C. Lime effects in a no-tillage system on Inceptisols in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v.16, p. 00-206, 2019.

AULER, A. C.; PIRES, L. F.; DOS SANTOS, J. A. B.; CAIRES, E. F.; BORGES, J. A. R.; GIAROLA, N. F. B. Effects of surface-applied and soil-incorporated lime on some physical attributes of a Dystrudept soil. **Soil Use and Management**, Hoboken, v. 33(1), p. 129-140, 2017.

AYE, N. S.; SALE, P. W. G.; TANG, C. The impact of long-term liming on soil organic carbon and aggregate stability in low-input acid soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin Heidelberg, v. 52, n. 5, p. 697-709, 2016.

BADALUCCO, L.; GREGO, S.; DELL'ORCO, S.; NANNIPIERI, P. Effect of liming on some chemical, biochemical, and microbiological properties of acid soils under spruce (*Picea abies* L.). **Biology and Fertility of Soils**, Berlin Heidelberg, v.14. p.76–83, 1992.

BAILEY, J. S. Liming and nitrogen efficiency: Some effects of increased calcium supply and increased soil pH on nitrogen recovery by perennial ryegrass. **Communications in soil science and plant analysis**, Philadelphia, v. 26, p. 1233-1246, 1995.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO, J. W. **AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, p. 396, 2015.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, p. 237-245, 2006.

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. P.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSO, R. S.; CARVALHO, P. C. F. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, v. 7, p. 55-118, 2011.

BENNETT, J. M. C. L.; GREENE, R. S. B.; MURPHY, B. W.; HOCKING, P.; TONGWAY, D. Influence of lime and gypsum on long-term rehabilitation of a Red Sodosol, in a semiarid environment of New South Wales. **Soil Research**, Melbourne, v. 52, p. 120–128, 2014.

BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; NETO, M. S.; METAY, A.; PERRIN, A. S.; SCOPEL, E.; TANTELY, R.; BLAVET, D.; PICCOLO, M. C.; PAVEI, M.; MILNE, E. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. **Agronomy for Sustainable Development**, França, v. 26, p. 1-8, 2006.

BERTRAND, I.; DELFOSSE, O.; MARY, B. Carbon and nitrogen mineralization in acidic, limed and calcareous agricultural soils: apparent and actual effects. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 39, p. 276-288, 2007.

BIASI C.; MEYER, H.; RUSALIMOVA, O.; HAMMERLE, R.; KAISER, C.; BARANYI, C.; DAIMS, H.; LASHCHINSKY, N.; BARSUKOV, P.; RICHTER, A. Initial effects of experimental warming on carbon exchange rates, plant growth and microbial dynamics of a lichen-rich dwarf shrub tundra in Siberia. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 307, p. 191-205, 2008.

BINI, D.; SANTOS, C. A.; CARMO, K. B.; KISHINO, N.; ANDRADE, G.; ZANGARO, W.; NOGUEIRA, M. A. Effects of land use on soil organic carbon and microbial processes associated with soil health in southern Brazil. **European Journal of Soil Biology**, Montrouge, v. 55, p. 117–123, 2013.

BOSSOLANI, J. W.; LAZARINI, E.; SANTOS, F. L.; SANCHES, I. R.; MENEGHETTE, H. H. A.; PARRA, L. F.; SOUZA, L. G. M. Surface Reapplication of Lime and Gypsum on Maize Cultivated Sole and Intercropped with Urochloa. **Communications in soil science and plant analysis**, Philadelphia, V. 49, p. 1855-1868, 2018.

BRIEDIS, C.; DE MORAES SÁ, J. C.; CAIRES, E. F.; DE FÁTIMA NAVARRO, J.; INAGAKI, T. M.; BOER, A.; DOS SANTOS, J. B. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, Amsterdam, v. 170, p. 80-88, 2012.

BRIEDIS, C.; MORAES SÁ, J. C.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, F. J.; INAGAKI, T. M., BOER, A.; BÜRKNER, J. S. Changes in organic matter pools and increases in carbon sequestration in response to surface liming in an Oxisol under long-term no-till. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 76, p. 151-160, 2012.

BURNS, R. G.; DAVIES, J. A. The microbiology of soil structure. In: Lopez-Real, J. M., Hodges, R. D. (Eds.), *The Role of Micro-organisms in a Sustainable Agriculture*. **Academic Publishers**, Berkhamsted, p. 9–27, 1986.

CAIRES E. F.; GARBUIO F. J.; CHURKA S.; JORIS H. A. W. Use of gypsum for crop grain production under a subtropical no-till cropping system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, p. 1804-181, 2011.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 275-86, 2003.

CAIRES, E. F.; PEREIRA FILHO, P. R. S.; ZARDO FILHO, R.; FELDHAUS, I. C.. Soil acidity and aluminium toxicity as affect by surface liming cover oat residues under a no-till system. **Soil Use and Management**, Hoboken, v. 24, p. 302–309, 2008.

CAIRES, E. F. Manejo da acidez do solo. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Ed.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI, v. 1, p. 281-338, 2010.

CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 791-798, 2005.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 161-169, 2000.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, 275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F. J.; FERRARI, R. A.; MORGANO, M. A. Soybean yield and quality a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, p. 370-379, 2006.

CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. (2018). A Novel Phosphogypsum Application Recommendation Method under Continuous No-Till Management in Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 110, p. 1987-1995, 2018.

CAIRES, E. F.; JORIS, A. W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 27, p. 45–53, 2011.

CAIRES, E.; BARTH, G.; GARBUIO, F. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam. v. 89, p. 3– 12, 2006.

CAIRES, E.; HALISKI, A.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 66, p. 41-53, 2015.

CAIRES, E.F.; ALLEONI, L. R.; CAMBRI, M. A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, Madison. v. 97, p. 791–798, 2005.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C. & BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 1029-1040, 2001.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 777- 783, 1992.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; FREITAS, B. I. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, p. 304-312, 2013.

CANTARELLA, H.; VAN RAIJ, B.; CAMARGO, C. E. O. CEREAIS. IN: VAN RAIJ, B; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J. A; FURLANI, A. M. C. (eds). Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. **Instituto Agronômico Campinas**, (Boletim Técnico 100), Brasil, p. 43–71, 1997.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, p. 274-289, 2013.

CARMEIS FILHO, A. C. **Soil acidity management on an oxisol quality and wheat-common bean growth under a long term no-tillage system**. Tese (Doutorado em Agronomia: Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

CARMEIS FILHO, A. C.; PENN, C. J.; CRUSCIOL, C. A.; CALONEGO, J. C. Lime and phosphogypsum impacts on soil organic matter pools in a tropical Oxisol under long-term no-till conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 241, p. 11-23, 2017.

CARMEIS FILHO, C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; GUIMARÃES, T. M.; CALONEGO, J. C.; MOONEY, S. J. Impact of amendments on the physical properties of soil under tropical long-term no till conditions. **PloS one**, Austrália, v. 11, p. 132-152, 2016.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M.L. N.; MELO, C. R. de; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v.34, p.277-290, 2010.

CARVALHO, M. C. S.; VAN RAIJ, B. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 192, p. 37-48, 1997.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 195-196, p. 234–242, 2013.

CASTRO, G. S.; CRUSCIOL, C. A.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Management impacts on soil organic matter of tropical soils. **Vadose Zone Journal**, Madison v. 14, p. 1-8, 2015.

CERRI, C. C.; ANDREAU, F.; EDUARDO, B. P. O. Ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, E.J.B.N., TSAI, S.M., NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 360, 1992.

CHAN, K. Y.; HEENAN, D. P. CHAN, K. Y.; HEENAN, D. P. Lime-induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 6, p. 1841-1844, 1999.

CHEN, J.; HEILING, M.; RESCH, C.; MBAYE, M.; GRUBER, R.; DERCON, G. Does maize and legume crop residue mulch matter in soil organic carbon sequestration?. **Agriculture, ecosystems & environment**, Amsterdam, v. 265, p. 123-131, 2018.

CHENU, C. Extracellular polysaccharides: an interface between microorganisms and soil constituents. **Environmental impact of soil component interactions**, Chelsea, v. 1, p. 217-233, 1995.

CHENU, C. Influence of a fungal polysaccharide, scleroglucan, on clay microstructures. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 21, p. 299-305, 1989.

CHENU, C.; ANGERS, D. A.; BARRÉ, P.; DERRIEN, D.; ARROUAYS, D.; BALESSENT, J. Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 188, p. 41-52, 2019.

CHESHIRE, M. V.; HAYES, M. H. B. Composition, origins, structures, and reactivities of soil polysaccharides. In: De Boodt, M. F.; Hayes, M. H. B.; Herbillon, A. (Eds.). **Soil Colloids and Their Associations in Aggregates**. Plenum, New York, p. 307–336, 1990.

CHO, S. R.; JEONG, S. T.; KIM, G. Y.; LEE, J. G.; KIM, P. J.; KIM, G. W. Evaluation of the carbon dioxide (CO₂) emission factor from lime applied in temperate upland soil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 337, p. 742-748, 2019.

CHURKA BLUM, S.; CAIRES, E. F.; ALEONE, L. R. F. Lime and phosphogypsum application and sulfate retention in subtropical soils under no-till system. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Temuco, v. 13, p. 279-300, 2013.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa. V. 28, p. 317-326, 2004.

COSTA C. H. M.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; GUIMARÃES, T. M. Intensive annual crop production and root development in a tropical acid soil under long-term no-till and soil-amendment management. **Crop and Pasture Science**, Austrália, v. 69, p. 488-505, 2018.

COSTA, A.; ROSOLEM, C. A. Liming in the transition to no-till under a wheat-soybean rotation. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 97, p. 207-217, 2007.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean-oat-sorghum rotation and soil chemical properties. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 74, p. 119-132, 2016.

COSTA, F. D. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. C.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de

manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32 p.323-332, 2008.

COSTA, M. C. G. Soil and crop responses to lime and fertilizers in a fire-free land use system for smallholdings in the northern Brazilian Amazon. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 121, p. 27–37, 2012.

COTRUFO, M. F.; WALLENSTEIN, M. D.; BOOT, C. M.; DENEFF, K.; PAUL, E. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter?. **Global Change Biology**, Illinois, v. 19(4), p. 988-995, 2013.

CRUSCIOL, C. A.; ARTIGIANI, A. C.; ARF, O.; CARMEIS FILHO, A. C.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A. S.; ALVAREZ, R. C. Soil fertility, plant nutrition, and grain yield of upland rice affected by surface application of lime, silicate, and phosphogypsum in a tropical no-till system. **Catena**, Amsterdam, v. 137, p. 87-99, 2016.

CRUSCIOL, C. A.; MARQUES, R. R.; CARMEIS FILHO, A. C.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H.; NETO, J. F.; FRANZLUEBBERS, A. J. Lime and gypsum combination improves crop and forage yields and estimated meat production and revenue in a variable charge tropical soil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 115, p. 347-372, 2019.

CRUSCIOL, C. A.; MARQUES, R. R.; CARMEIS FILHO, A. C.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H.; NETO, J. F.; DE CASTILHOS, A. M. Annual crop rotation of tropical pastures with no-till soil as affected by lime surface application. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 80, p. 88-104, 2016.

DADALTO, J. P., FERNANDES, H. C., TEIXEIRA, M. M., CECON, P. R., & MATOS, A. D. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 506-513. 2015.

DALLA NORA, D.; AMADO, T. J. C. Improvement in chemical attributes of Oxisol subsoil and crop yields under no-till. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 1393-1403, 2013.

DALLA NORA, D.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; GRUHN, E. M. Modern high-yielding maize, wheat and soybean cultivars in response to gypsum and lime application on no-till Oxisol. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 41, p. 1–21, 2017.

DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A.; HONGWEN, L. Current status of adoption of no till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Assunción, v. 3, p. 1-25 p, 2010.

DICK, D.P. et al. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, R.F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, 2009.

DUMALE JR, W. A.; TSUYOSHI, M.; KENTA, H.; TAKU, N. SOC turnover and lime-CO₂ evolution during liming of an acid Andisol and Ultisol. **Open Journal of Soil Science**, v. 1, p. 49-53, 2011.

EDMEADES, D. C.; JUDD, M.; SARATHCHANDRA, S. U. The effect of lime on nitrogen mineralization as measured by grass growth. **Plant Soil**, Amsterdam, v. 60, p. 177-186, 1981.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, v. 3, p. 353, 2013.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; MAESTRI, L. Corn yield as affected by liming and tillage system on an acid Brazilian Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94(2), p. 305-309, 2002.

FARINA, M. P. W.; CHANNON, P.; THIBAUD, G. R. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity II. Long-term soil effects. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64(2), p. 652-658, 2000.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O. & VIDOR, C. Utilização de micro ondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 991-996, 1999.

FONTOURA, S. M. V.; DE CASTRO PIAS, O. H.; TIECHER, T.; CHERUBIN, M. R.; DE MORAES, R. P.; BAYER, C. Effect of gypsum rates and lime with different reactivity on soil acidity and crop grain yields in a subtropical Oxisol under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 193, p. 27-41, 2019.

FORNARA, D. A. Increases in soil organic carbon sequestration can reduce the global warming potential of long-term liming to permanent grassland. **Global Change Biology**, Oxford, v. 17, p. 1925-1934, 2011.

FRANZLUEBBERS, A. J.; SCHOMBERG, H. H.; ENDALE, D. M. Surface-soil responses to paraplowing of long-term no-tillage cropland in the Southern Piedmont USA. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, p. 303-315, 2007.

FRIGHETTO, R.T.S. Análise da biomassa microbiana em carbono: método de fumigação-extração. In: FRIGHETTO, R.T.S. & VALARINI, P.J., coords. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Jaguariúna, EMBRAPA, p. 157-166, 2000.

FUENTES, J. P.; BEZDICEK, D. F.; FLURY, M.; ALBRECHT, S.; SMITH, J. L. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. **Soil and Tillage Research**, v. 88, n. 1, p. 123-131, 2006.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A. et al. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, p. 159-170, 2008.

GODFRAY, H. C. J.; PRETTY, J.; THOMAS, S. M.; WARHAM, E. J.; BEDDINGTON, J. R. Linking policy on climate and food. **Science**, Washington, v. 331, p.1013-1014, 2011.

GONÇALVES, J. R. P.; MOREIRA, A.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; VILLAS BOAS, R. L. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, p. 369-375, 2011.

GUIMARÃES, A.M.; CAIRES, E.F.; SILVA, K.S.D.; ROCHA, J.C.F.D. Estimating gypsum equirement under no-till based on machine learning technique. **Revista Ciência Agrônômica**, Recife, v. 46, p. 250-257, 2015.

GUIMARÃES, T. M. **Emissão de gases do efeito estufa e estoque de carbono no sistema solo-planta em área com aplicação superficial de calcário e gesso em experimento de longa duração**. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

HAMILTON, S. K.; KURZMAN, A. L.; ROBERTSON, G. P. Liming of agricultural soils: a source or sink for CO₂. In: **USDA Symposium on Natural Resource Management to Offset Greenhouse Gas Emissions**. Raleigh, North Carolina. p. 19-21, 2002.

HASIBEDER, R.; FUCHSLUEGER, L.; RICHTER, A.; BAHN, M. Summer drought alters carbon allocation to roots and root respiration in mountain grassland. **New Phytologist**, Reino Unido, v. 205, p. 1117–1127, 2015.

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances in agronomy**, v. 37, p. 249-315, 1984.

HAYNES, R. J.; NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. **Nutrient cycling in agroecosystems**, Dordrecht, v. 51, p. 123-137, 1998.

HAYNES, R. J.; SWIFT, R. S. Effects of lime and phosphate additions on changes in enzyme activities, microbial biomass and levels of extractable nitrogen, sulphur and phosphorus in an acid soil. **Biology and Fertility of Soils**, Amsterdam, v. 6, p. 153-158, 1988.

HOK, L.; DE MORAES SÁ, J. C.; BOULAKIA, S.; REYES, M.; LENG, V.; KONG, R.; MAGNO, T. Short-term conservation agriculture and biomass-C input impacts on soil C dynamics in a savanna ecosystem in Cambodia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 214, p. 54-67, 2015.

HOLLAND, J. E.; BENNETT, A. E.; NEWTON, A. C.; WHITE, P. J.; MCKENZIE, B. M.; GEORGE, T. S.; HAYES, R. C. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 610, p. 316-332, 2018.

HORWATH, W. Carbon cycling: the dynamics and formation of organic matter. **Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry**, Fort Collins, v. 4, p. 339-382, 2015.

INAGAKI, T. M.; DE MORAES SÁ, J. C.; CAIRES, E. F.; GONÇALVES, D. R. P. Why does carbon increase in highly weathered soil under no-till upon lime and gypsum use? **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 599, p. 523-532, 2017.

INAGAKI, T. M.; DE MORAES SÁ, J. C.; CAIRES, E. F.; GONÇALVES, D. R. P. Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 231, p. 156-165, 2016.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. In: PACHAURI, R. K.; MEYER, L.A. (eds.). IPCC, Ginebra, Suiza, p. 157, 2014.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. In: BARROS et al. (Eds.). Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, p. 3-32, 2014.

JANEGITZ, M. C. **Emissão de gases de efeito estufa e estoque de carbono no solo em função do manejo e correção de acidez**. Tese (Doutorado em Agronomia: Agricultura). - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

JENKINSON, D. S.; POLWILSON, D. S. The effect of biocidal treatment on metabolism in soil, a method for measuring soil biomass. **Soil biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 82, p. 209-213, 1976.

JOHNSON, J. M. F. et al. Chemical composition of crop biomass impacts its decomposition. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, p. 155-162, 2017.

JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A.; HALISKI, A. Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system. **Plant and soil**, Dordrecht, v. 365, p. 409-424, 2013.

JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; SCHARR, D. A.; BINI, A. R.; HALISKI, A. Liming in the conversion from degraded pastureland to a no-till cropping system in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 162, p. 68-77, 2016.

KÄTTERER, T.; BOLINDER, M. A.; ANDRÉN, O.; KIRCHMANN, H.; MENICHETTI, L. Roots contribute more to refractory soil organic matter than aboveground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 141, p. 184-192, 2011.

- KONG, A.Y.Y.; SIX, J.; BRYANT, D. C.; DENISON, R. F.; VAN KESSEL, C. The relationship between carbon input, aggregation, and soil organic carbon stabilization in sustainable cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, V. 69, P. 1078-1085, 2005.
- KUNHIKRISHNAN, A; THANGARAJAN, R.; BOLAN, N. S.; XU, Y.; MANDAL, S.; GLEESON, D. B.; SESHADRI, B.; ZAMAN, M.; BARTON, L.; LUO, J.; DALAL, R.; DING, W.; KIRKHAM, M. B.; NAIDU, R. Chapter One-Functional Relationships of Soil Acidification, Liming, and Greenhouse Gas Flux. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 139, p. 1-71, 2016.
- LAL, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, EUA, v. 70, p. 55-62, 2015.
- LIMA, A. L.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. D. A.; URQUIAGA, S. Estoque de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira. In: BODDEY, R. M. et al. (Eds). **Estoques de carbono nos solos do Brasil: quantidade e mecanismos de acúmulo e preservação**. Embrapa Instrumentação, Brasília, p. 33, 2012.
- LINQUIST, B.; GROENIGEN, K. J.; BORBE, M. A. A.; PITTELKOW, C.; KESSEL, C. Na agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. **Global Change Biology**, Oxford, v. 18, p. 194-209, 2012.
- LOCHON, I.; CARRÈRE, P.; YVIN, J. C.; HOUDUSSE-LEMENAGER, D.; BLOOR, J. M. Impacts of low-level liming on soil respiration and forage production in a fertilized upland grassland in Central France. **Science of the Total Environment**, Amsterdam v. 697, p. 134098, 2019.
- LUO, Z. K.; WANG, E. L.; SUN, O. J. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 139, p. 224-231, 2010.
- MARCELO, A. V. et al. Influence of liming on residual soil respiration and chemical properties in a tropical no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 36, p. 45-50, 2012.
- MARSH, B. H.; GROVE, J. H. Surface and subsurface soil acidity: Soybean root response to sulfate-bearing spent lime. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 1837-1842, 1992.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES – MCTIC. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. (Eds.). Brasília, v. 3, p. 42, 2016.
- MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C.; REIN T. A. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 563-572, 2005.

MORAES SÁ, J. C.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; ROSA, J. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 26, p. 531-543, 2015.

MORAES SA, J. C.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; DOS SANTOS, J. Z.; DOS SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 136, p. 38-50, 2014.

MUÑOZ, C., TORRES, P., ALVEAR, M., ZAGAL, E. Physical protection of C and greenhouse gas emissions provided by soil macroaggregates from a Chilean cultivated volcanic soil. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B**, Copenhagen, v. 62, p. 739–748, 2013.

NAHAS, E.; DELFINO, J. H.; ASSIS, L. C. Atividade microbiana e propriedades bioquímicas do solo resultantes da aplicação de gesso agrícola na cultura do repolho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, p. 160-166, 1997.
NAKATANI, A.S. et al. Changes in the genetic structure of bacteria and microbial activity in an agricultural soil amended with tannery sludge. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 43, p. 106–114, 2011.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, 2010.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para a recomendação da calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 237–247, 2008.

NOGUEIRA, M. A.; TELLES, T. S.; FAGOTTI, D. D. S. L.; BRITO, O. R.; PRETE, C. E. C.; GUIMARÃES, M. D. F. Indicators of soil quality in the implantation of no-till system with winter crops. **Revista Ciência Agronômica**, V. 45, P. 990-998. 2014.

NORA, D. D; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. D. S.; GRUHN, E. M. Modern high-yielding maize, wheat and soybean cultivars in response to gypsum and lime application on no-till Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, p.1-21, 2017.

OATES, K. M.; CALSWELL, A. G. Use of by-product gypsum to alleviate soil acidity. **Soil Fertility and Plant Nutrition**. Amsterdam, v. 49, p. 915–918, 1985.

OLIVEIRA, E. D.; PAVAN, M.; OLIVEIRA, E. D. Redução da acidez do solo pelo uso de calcário e gesso e resposta da soja cultivada em plantio direto. **Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, v. 21, 1994.

PAGE, K. L.; ALLEN, D. E.; DALAL, R. C.; SLATTERY, W. Processes and magnitude of CO₂, CH₄, and N₂O fluxes from liming of acidic Australian soils: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria v. 47, p. 747-762, 2009.

PARADELO, R.; VIRTO, I.; CHENU, C. Net effect of liming on soil organic carbon stocks: a review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 202, p. 98-107, 2015.

PAULETTI, V.; PIERRI, L. D.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 495-505, 2014.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F.; PRATT, P. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 33-38, 1984.

PRIES, C. E. H.; SULMAN, B. N.; WEST, C.; O'NEILL, C.; POPPLETON, E.; PORRAS, R. C.; TORN, M. S. Root litter decomposition slows with soil depth. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 125, p. 103-114, 2018.

PUGET, P.; ANGERS, D. A.; CHENU, C. Nature of carbohydrates associated with water-stable aggregates of two cultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 31, p. 55-63, 1999.

QUADRO, M. S.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; VIVIAN, G. Biomassa e atividade microbiana em solo acrescido de dejetos suíno. **Current Agricultural Science and Technology**, Pelotas, v.17, p. 85-92, 2011.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1687-1698, 2011.

RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 269, p. 341-356, 2005.

REDIN, M.; RECOUS, S.; AITA, C.; CHAVES, B.; PFEIFER, I. C.; BASTOS, L. M.; GIACOMINI, S. J. Root and shoot contribution to carbon and nitrogen inputs in the topsoil layer in no-tillage crop systems under subtropical conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, p. 1-16, 2018.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 797-805, 2000.

RHEINHEIMER, D. S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; ZAFAR, M.; BRUNETTO, G. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 313, p. 7-16, 2018.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba: Manole, p. 188, 1987.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium Leaching to Increase Rooting Depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 40-44, 1980.

RODELLA, A. A.; SABOYA, L. V. Calibration for conductimetric determination of carbon dioxide. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 31, p. 2059-2060, 1999.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1723–1736, 2015.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 301-309, 2003.

SA, J. C. M.; SANTOS, J. B.; LAL, R.; MORAES, A.; TIVET, F.; SA, M. F. M.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A. O.; EURICH, G.; FARIAS, A.; FRIEDRICH, T. Soil-specific inventories of landscape carbon and nitrogen stocks under no-till and native vegetation to estimate carbon offset in a subtropical ecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 77, p. 2094-2110, 2013.

SALA, V. M. R. **Atividade Microbiana do Solo e a Interação de Diazotróficos Endofíticos e Fungos Micorrízicos Arbusculares na Cultura do Trigo**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SCHAUFLER, G.; KITZLER, B.; SCHINDLBACHER, A.; SKIBA, U.; SUTTON, A. M.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperature. **European Journal of Soil Science**, Bedford, v.6, p. 1683-1696, 2010.

SILVA, M. B.; KIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1755-1761, 2007.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

ŠIMEK, M.; HOPKINS, D.; KALCÍK, J.; PICEK, T.; ŠANTRUCKOVÁ, H.; STANA, J.; TRAVNIK, K. Biological and chemical properties of arable soils affected by long-term organic and inorganic fertilizer applications. **Biology and Fertility of Soils**, Elmsford, v. 29, p. 300–308, 1999.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79(1), p. 7-31, 2004.

SOCHOROV, A. L.; JANSÁ, J.; VERBRUGGEN, E.; HEJCMAN, M.; SCHELLBERG, J.; KIERS, E. T. Long-term agricultural management maximizing hay production can significantly reduce belowground C storage. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 220, p. 104-114, 2016.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. Dolomite and phosphogypsum surface application effects on annual crops nutrition and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 261-270, 2008.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 675-688, 2008.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Nutrição e produtividade de grãos da aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 715-725, 2008.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; MELLO, F. F. C. Componentes da produção e produtividade de cultivares de arroz e feijão em função de calcário e gesso aplicados na superfície do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 965-974, 2010.

STEVENS, R. J.; LAUGHLIN, R. J. Effects of lime and nitrogen fertilizer on two sward types over a 10-year period. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 127, p. 451-461, 1996.

STEVENS, R. J.; LAUGHLIN, R. J. Measurement of nitrous oxide and nitrogen emissions from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 52, p. 131-139, 1998.

SUMNER, M. E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an Acid Soil Profile through Deep Liming and Surface Application of Gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 1254-1258, 1986.

SWIFT, R. S. Organic Matter Characterization. In: SPARKS, D. L. et al. (Ed.). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods-SSSA Book Series nº 5*. Madison: Soil Science Society of America [etc.], p. 1011-1069, 1996.

TANG, X.; LIU, S.; ZHOU, G.; ZHANG, D.; ZHOU, C. Soil atmospheric exchange of CO₂, CH₄, and N₂O efflux in three subtropical forest ecosystems in southern China. **Global Change Biology**, Oxford, v. 12, p. 546-560, 2006.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, G.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEIS, S. I. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, v. 2, p. 174, 1995.

TIECHER, T.; PIAS, O. H. C.; BAYER, C.; MARTINS, A. P.; DENARDIN, L. G. O.; ANGHINONI, I. Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brazil: a systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, p. 1-17, 2018.

TISDALL, J.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **European Journal of Soil Science**, Bedford, v. 33, p. 141–163, 1982.

TOMA, M.; SUMNER, M. E.; WEEKS, G.; SAIGUSA, M. Long-term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, p. 891-895, 1999.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: V. ALVAREZ, V. H. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, v. 1, p. 487-592, 2002.

URQUIAGA, S.; SISTI, C.; ZOTARELLI, L.; ALVES, B.; BODDEY, R. Manejo de sistemas agrícolas para sequestro de carbono no solo. **Conhecimentos e técnicas avançadas para o estudo dos processos da biota no sistema solo-planta**. Brasília: Embrapa, 257-273 p, 2005.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Chemical analysis for fertility evaluation of tropical soils. **Inst. Agrônomo**: Campinas, 2001.

VAN, R. Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e técnicas de suporte**. INPI. Piracicaba, p. 349-82, 2010.

WACHENDORF, C. Effects of liming and mineral N on initial decomposition of soil organic matter and post-harvest root residues of poplar. **Geoderma**, Amsterdam, v. 259, p. 243-250, 2015.

WIEDER, W. R.; GRANDY, A. S.; KALLENBACH, C. M.; BONAN, G. B. Integrating microbial physiology and physio-chemical principles in soils with the Microbial-Mineral Carbon Stabilization (MIMICS) model. **Biogeosciences**, Alemanha, v. 11, p. 3899–3917, 2014.

WONG, V. N.; DALAL, R. C.; GREENE, R. S. Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: a laboratory incubation. **Applied Soil Ecology**, v. 41, n. 1, p. 29-40, 2009.

XIAO, D.; HUANG, Y.; FENG, S.; GE, Y.; ZHANG, W.; HE, X.; & WANG, K. Soil organic carbon mineralization with fresh organic substrate and inorganic carbon additions in a red soil is controlled by fungal diversity along a pH gradient. **Geoderma**, Amsterdam, v. 321, p. 79-89, 2018.

YAGI, R.; FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. A incorporação de calcário em sistema plantio direto consolidado reduz o estoque de carbono em macroagregados do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, p. 1962–1965, 2014.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 1010-117, 2007.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F., SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 128–137, 2015.

ZOCA, S. M.; PENN, C. An Important Tool With No Instruction Manual: A Review of Gypsum Use in Agriculture. In: **Advances in Agronomy**. San Diego, p. 1-44, 2017.