



Universidade Federal do Maranhão – UFMA
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

**ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MANUTENÇÃO DA PALHADA
NA CANA-DE-AÇÚCAR: EFEITOS NA VOLATILIZAÇÃO DE
AMÔNIA, PARÂMETROS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E
PRODUTIVIDADE**

ANDRÉ DA SILVA ALVES

Chapadinha

2020

ANDRÉ DA SILVA ALVES

**ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MANUTENÇÃO DA PALHADA
NA CANA-DE-AÇÚCAR: EFEITOS NA VOLATILIZAÇÃO DE
AMÔNIA, PARÂMETROS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E
PRODUTIVIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Orientador: Profa. Dra. Francirose Shigaki

Chapadinha

2020

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Alves, André da Silva.

ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MANUTENÇÃO DA PALHADA NA CANA-DE-
AÇÚCAR: EFEITOS NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA, PARÂMETROS
QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE / André da
Silva Alves. - 2020.

54 f.

Orientador(a): Francirose Shigaki.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Ciência Animal (25.06)/ccaa, Universidade Federal do
Maranhão, Chapadinha, 2020.

1. Adubação orgânica. 2. Fertilidade do solo. 3.
Saccharum officinarum. I. Shigaki, Francirose. II.
Título.

ANDRÉ DA SILVA ALVES

**ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MANUTENÇÃO DA PALHADA
NA CANA-DE-AÇÚCAR: EFEITOS NA VOLATILIZAÇÃO DE
AMÔNIA, PARÂMETROS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E
PRODUTIVIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Aprovada em 29 / 02 / 2020

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Francirose Shigaki
Universidade Federal do Maranhão
Orientadora

Profª. Dra. Rosane Cláudia Rodrigues
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Marcos Gervásio Pereira
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Anderson de Moura Zanine
Universidade Federal do Maranhão

“À Deus, por ser essencial em minha vida, autor do meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia; a minha mãe.”

Dedico.

AGRADECIMENTO

À Deus.

À Universidade Federal do Maranhão (UFMA), por intermédio do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, pela oportunidade de realizar este trabalho.

À minha mãe, Glaucinete Gonçalves da Silva por serve como uma verdadeira guerreira e sempre tem me apoiado os filhos nos estudos e a seguirem o caminho do bem.

A minha orientadora, Francirose Shigaki, pelo ensinamento e paciência.

As companheiras, amigos e amigas Dayana, Hyanne, Neliane, Maylla, Mayllane, as quais tive a oportunidade de dividir as tarefas diárias e tornaram-se grandes amigos.

A Tia Toinha, Julia e Alice, que nesses anos de luta aguentaram as minhas enjeiras e nesses tempos de luta, me acolheram como parte de sua família.

A todos os companheiros do Proagros: Elane, Taise, Ludhanna, Alessandro, Gildo, Diego e Gabi, sem vocês esse trabalho não se concretizaria.

Aos profissionais da limpeza pela preocupação e disposição em deixar nosso ambiente de trabalho sempre limpo e organizado.

Aos professores do Programa pelo conhecimento transmitido para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação, pela amizade e carinho.

A FAPEMA pela oportunidade de bolsa e incentivo à pesquisa científica.

O presente trabalho também foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização do meu aprimoramento pessoal e profissional o meu muito obrigado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	<i>Objetivo Geral</i>	14
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	<i>Fertilidade do solo</i>	15
2.2	<i>Fontes de adubação mineral</i>	16
2.3	<i>Fontes de adubação orgânica</i>	17
2.4	<i>Volatilização de amônia</i>	18
2.5	<i>Índices de qualidade do solo</i>	19
2.6	<i>Adubação orgânica</i>	19
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1	<i>Descrição da área experimental</i>	21
3.2	<i>Instalação, condução do experimento, e delineamento experimental</i>	22
3.3	<i>Avaliações e análises realizadas</i>	24
3.4	<i>Análise estatística</i>	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1	<i>Densidade e Porosidade total</i>	27
4.2	<i>pH em água</i>	28
4.3	<i>Ca, Mg, Al e H+Al</i>	28
4.4	<i>Fósforo (P)</i>	31
4.5	<i>Potássio (K)</i>	31
4.6	<i>Carbono Orgânico Total (COT)</i>	32
4.7	<i>Decomposição da Palhada</i>	34
4.8	<i>Volatilização de N-NH</i>	36
4.9	<i>Perdas Acumuladas</i>	38
4.10	<i>Produtividade da cana-planta (1^o ciclo)</i>	39
4.11	<i>Produtividade da primeira-soca (2^o Ciclo)</i>	41
4.12	<i>Custos Operacionais</i>	42
5	CONCLUSÃO.....	43
6	REFERÊNCIAS.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teor de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) dos adubos orgânicos e minerais utilizados no experimento.	23
Tabela 2. Densidade (g m^{-3}) e Porosidade total (%) em função da fonte nitrogenada.	28
Tabela 3. Análise química do solo do primeiro ano (sem fertilização) e do segundo ano (com fertilização), utilizado no experimento em três profundidades.	30
Tabela 4. Análise química do solo do primeiro ano (sem fertilização) e do segundo ano (com fertilização), utilizado no experimento nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm.	33
Tabela 5. Tempo de meia vida ($T^{1/2}$), Coeficiente de determinação (R^2) e Constante de decomposição (K) da palhada submetida aos diferentes tratamentos.	35
Tabela 6. Custos de compra e transporte das fontes nitrogenadas.	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localização da área experimental	21
Figura 2. Temperatura e precipitação média mensal durante o período experimental.....	22
Figura 3. Curva de decomposição da palhada em função dos adubos aplicados	34
Figura 4. Precipitação média mensal (mm) e Temperatura média (°C) durante o período experimental. Chapadinha–Ma. Fonte: INMET.....	34
Figura 5. Volatilização de N-NH ₃ após aplicação das fontes nitrogenadas.....	37
Figura 6. Precipitação média (mm) e Temperatura média diária (°C) durante a coleta de dados de volatilização. Chapadinha–Ma. Fonte: INMET	38
Figura 7. Perdas acumuladas de N-NH ₃ após aplicação das fontes nitrogenadas.	39
Figura 8. Produtividade das cultivares de cana-de-açúcar para o Ano 1 (cana-planta). Letras diferentes apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey	40
Figura 9. Produtividade da cultivar de cana-de-açúcar para o Ano 2 (cana-soca). Letras diferentes apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.	41

LISTA DE ABREVIACÕES

CF	CAMA DE FRANGO
CON	CONTROLE
COT	CARBONO ORGNICO TOTAL
DS	DEJETO SUÍNO
MS	MATRIA SECA
PH	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO
$T^{1/2}$	TEMPO DE MEIA VIDA
URE	UREIA
UREr	UREIA REVESTIDA

RESUMO

Objetivou-se avaliar as perdas de N do sistema por volatilização de amônia, as modificações nos atributos físicos e químicos do solo promovido pelo emprego de adubação orgânica, a degradação da palhada no solo, e a produtividade da cultura de cana-de-açúcar. Para tal, foram avaliados dois anos experimentais. No primeiro ano, foram avaliadas as cultivares de cana-de-açúcar (RB 92579, RB 867515 e RB 863129), onde a RB 867515 apresentou melhor performance e foi selecionada para o segundo ano experimental. As fontes de nitrogênio aplicadas foram dejetos líquidos suíno (DS), cama de frango (CF), ureia (URE), ureia revestida (URE R), e tratamento controle (CON) onde não houve aplicação de fertilizantes. Após a aplicação das fontes orgânicas e minerais de N foram avaliados atributos químicos e físicos do solo, nas profundidades (0-5, 5-10 e 10-20 cm), sendo estes: pH, Ca, Mg, K, Al, H+Al, P, COT, densidade total e porosidade total. A decomposição da palhada e as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia também foram quantificadas. Em termos gerais, observou-se que as fontes nitrogenadas orgânicas demonstraram efeito benéfico nos atributos químicos do solo, onde o DS proporcionou aumentos no pH, e juntamente com a CF proporcionaram aumentos nos teores de COT. Já para os atributos físicos, o DS proporcionou redução na densidade e aumento na quantidade de poros do solo. Para os resultados de volatilização de amônia, as fontes orgânicas demonstraram as menores taxas de volatilização com valores médios totais de $3,4 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo este 70% a menos do que os valores encontrados para as perdas de N por volatilização quando as fontes nitrogenadas minerais foram aplicadas. Já para a decomposição da palhada, as fontes orgânicas demonstraram efeito significativo ($p < 0,05$), onde o tratamento DS apresentou o menor $T^{1/2}$ (173 dias) com decomposição diária de aproximadamente 0,0040 g, seguido pelos tratamentos CF (192,5; 0,0036), URE R (198; 0,0035), URE (203; 0,0034) e CON (216; 0,0032). Com relação ao rendimento da cultura, foi possível observar que os tratamentos DLS e URE R proporcionaram as maiores produtividades da cultivar, na ordem de 93 e 92 t. ha^{-1} respectivamente. Sendo possível concluir que o uso das fontes orgânicas proporcionou melhorias nas frações química e física do solo, propiciando aumentos nos teores de COT, pH e decomposição da palhada, aliado a menores perdas por volatilização de N, e incremento da produtividade com menor custo, quando comparada aos adubos minerais.

Palavras-chave: Adubação orgânica, Fertilidade do solo, *Saccharum officinarum*

ABSTRACT

Objective: to evaluate how to reduce N by ammonia volatilization system, such as changes in the physical and chemical attributes of the soil promoted by the use of organic fertilizer, degradation of the palette in the soil and research of the sugarcane culture. For this, two experimental years were imposed. In the first year, sugarcane crops (RB 92579, RB 867515 and RB 863129) were evaluated, where RB 867515 performed better and was selected for the second experimental year. As nitrogen sources applied were liquid manure (DS), chicken litter (CF), urea (URE), coated urea (URE R), and control treatment (CON) where there was no fertilizer application. After the application of organic and mineral sources of N, chemical and physical substances of the soil were applied, in the depths (0-5, 5-10 and 10-20 cm), being these: pH, Ca, Mg, K, Al, H + Al, P, COT, total density and total porosity. Palette decomposition and nitrogen losses due to ammonia volatilization were also quantified. In general terms, if organic nitrogen sources demonstrate beneficial effects on soil chemicals, where DS will provide no pH value, and comparisons with a CF will provide records on COT levels. reduction in density and increase in the amount of soil pores. For the results of ammonia volatilization, as organic sources demonstrated as lower volatilization rates with average values of 3.4 kg ha⁻¹, being 70% less than the values found for the N analysis by volatilization when the mineral nitrogen sources have been applied. As for a straw decomposition, as organic sources demonstrated significant effect (p <0.05), where the DS treatment presented the lowest T^{1/2} (173 days) with daily decomposition of approximately 0.0040 g, followed by the CF tests (192.5; 0.0036), URE R (198; 0.0035), URE (203; 0.0034) and CON (216; 0.0032). Regarding the crop yield, it was possible to observe that the DLS and URE R provided the highest yields of the cultivar, with an order of 93 and 92 t. ha⁻¹ respectively. It is possible to conclude that the use of organic sources offers improvements in the fractions of soil chemistry and physics, providing increases in the contents of COT, pH and decomposition of the pallet, coupled with less damage by volatilization of N, and increased use at a lower cost, when compared to mineral fertilizers.

Key words: Organic fertilization, Soil fertility, *Saccharum officinarum*.

1 INTRODUÇÃO

Em diversos territórios a biomassa da cana-de-açúcar tem um grande potencial para produção de alimentos como açúcar e subprodutos, e também como fonte de energia, com a produção de etanol e bioeletricidade. No que diz respeito a seu uso como fonte de energia, quando se substitui o uso de combustíveis fósseis pela energia produzida por essa cultura, pode-se reduzir a emissão de gases de efeito estufa, e assim ajuda a mitigar o aquecimento global.

Nesse contexto, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), com 691 milhões de toneladas produzidas em uma área de 9 milhões de hectares no ano agrícola 2016/2017 (Conab, 2016). Recentemente, muitos esforços têm sido feitos para minimizar os impactos ambientais e de saúde humana associados à queima da cultura previamente à colheita (Carvalho et al., 2017), assim como ao seu manejo de adubação, principalmente no que diz respeito à adubação nitrogenada, uma vez que a partir da primeira soca a cana-de-açúcar torna-se altamente exigente nesse nutriente, sendo a ureia a principal fonte de nitrogênio para a cultura.

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo (Pan et al., 2016) por apresentar alto teor de N (aproximadamente 46%), e pelo menor custo em relação às demais fontes nitrogenadas. Em condições favoráveis, este fertilizante é capaz de aumentar a produtividade da cultura. Entretanto, ao ser aplicados em solos tropicais, resulta em perdas maciças por lixiviação de nitrogênio nas formas nitrito e nitrato (NO_2 e NO_3), e principalmente por volatilização de amônia (NH_3), reduzindo assim sua eficiência de utilização e aumentando os custos de produção além de causar danos para o meio ambiente (Kaneco et al., 2019). Diversos estudos no Brasil relatam perdas de 18 a 30% do N total aplicado no solo (Rocha et al., 2019), porém dependendo do manejo essas perdas podem exceder em até 50% do N aplicado (Rochette et al. 2009). A amônia perdida por volatilização está indiretamente ligada às mudanças climáticas e desestruturação da camada de ozônio, uma vez que participa ativamente na formação de gases envolvidos no processo de aquecimento global, como por exemplo o óxido nitroso (N_2O) (Sun et al., 2015).

Neste sentido, o uso de fontes orgânicas de N apresenta-se como uma alternativa promissora, capaz de reduzir a quantidade de adubos químicos nitrogenados a serem aplicados na cultura, resultando na diminuição de custos, e com eficiência de utilização igual ou superior aos fertilizantes minerais (Fonseca et al., 2016). Os adubos orgânicos

além de adicionar nutrientes ao sistema solo-planta também adicionam também matéria orgânica, promovendo dessa forma melhorias não só nas frações química e biológica do solo, mas também na fração física, proporcionando uma maior estabilidade dos agregados do solo, aumento da infiltração e retenção de água elevando o teor de água disponível para a cultura (Ke et al., 2017). Em relação à melhoria da fração química do solo, com a aplicação de fontes orgânicas observa-se um aumento na disponibilidade de nutrientes, particularmente do nitrogênio, e também é esperado um aumento na capacidade de troca catiônica que quando combinado com o aumento no teor de carbono orgânico do solo tem um efeito significativo na produtividade, e na retenção e concentração de nutrientes, beneficiando o ambiente do sistema radicular e estimulando o desenvolvimento da planta (Fonseca et al., 2016).

Além do benefícios da adubação orgânica citados anteriormente, o uso de fontes orgânicas ainda propicia a redução das perdas por volatilização de N. Segundo Rocha et al. (2019) o processo de mineralização retarda a liberação do N, deixando o nutriente menos propenso à perdas, de modo que as perdas por volatilização podem ser 50% menores quando comparadas às perdas proveniente da aplicação de fontes minerais de N. Ainda no âmbito ambiental, a colheita da cana-de-açúcar crua, sem queima vem sendo encorajada (Cherubin et al., 2019). Uma vez que além reduzir a emissão de gases à atmosfera, a colheita da cana crua (sem queima) propicia o aumento da palhada sobre o solo. Na prática, esse material depositado torna-se uma reserva de nutrientes devido à decomposição do material orgânico (Carvalho et al., 2017).

Visando o modelo de agricultura sustentável e com baixo custo, manejo de fontes orgânicas de N mais eficientes e ambientalmente sustentáveis, e que promovam a redução de custos com manutenção da produtividade igual ou superior de quando se utilizam fontes inorgânicas, e ainda associadas com a manutenção da palhada da cana após o corte, necessita ser estudada.

1.1 Objetivo Geral

Objetivou-se com esse estudo avaliar as perdas de N do sistema por volatilização, as modificações nos atributos físicos e químicos do solo promovidos pelo emprego de adubação orgânica, a degradação da palhada no solo, e a produtividade da cultura da cana-de-açúcar.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 *Fertilidade do solo*

A fertilidade do solo é descrita como sendo quantidades balanceadas de nutrientes essenciais os quais devem se apresentar na forma assimilável pelas plantas (Mello et al., 1983; Ribas, 2010), os quais devem ser ausentes em de toxicidades e possuir propriedades físicas e químicas satisfatórias.

Outros fatores como os de natureza química e física pode influenciar positiva ou negativamente a fertilidade dos solos, sendo difícil classificá-los ou separá-los, pois, em muitos casos, estão intimamente relacionados e interagem entre si. Segundo Meurer, (2017), é possível classificá-los naqueles relacionados com: composição mineralógica do solo; reação do solo (pH); disponibilidade de nutrientes; presença de elementos tóxicos; teor de matéria orgânica do solo (MOS) e reações de sorção e precipitação.

Segundo Dechen e Nachtigall, (2006) são 13 os nutrientes essenciais para as plantas: N, P, K, Ca, Mg, S, boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), Fe, Mn, zinco (Zn), molibdênio (Mo), onde esses nutrientes exercem papéis importantes no metabolismo da planta, deste modo, ligados diretamente a produtividade agrícola. Além da mineralogia presente no solo, o pH também apresenta importância, uma vez que ao se apresentar dentro da faixa adequada (6,0 – 6,5) proporciona efeito direto na disponibilidade dos nutrientes (Meurer, 2017).

O pH do solo apresenta efeito direto na disponibilidade de P, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, devido a reações de adsorção e precipitação de P no solo (retenção ou fixação de P), que são altamente dependentes de pH. Segundo Ribas, (2010) em solos que apresentem características ácidas, o P inorgânico, proveniente da mineralização do P orgânico ou dos fertilizantes precipita como mineral secundários com Fe/Al, ou é adsorvido à superfície de óxidos de Fe/Al se tornando indisponível.

Além dos fatores citados anteriormente, a absorção de nutrientes pela planta através da membrana sofre ação da disponibilidade de nutrientes, já que os mesmos exercem interações competitivas, dessa forma na avaliação da disponibilidade dos nutrientes, suas proporções devem ser observadas, uma vez que de acordo com a Lei do mínimo de Liebig, para que a produção não apresente limitações por nutrientes presentes em menor proporção ou disponibilidade, de modo que tão importante quanto a quantidade absoluta de um nutriente tem-se a sua quantidade relativa com os demais nutriente no solo (Malavolta, 1992).

Dessa forma, estudos voltados para o conhecimento da dinâmica dos nutrientes no solo a partir da superfície, onde os fertilizantes são depositados, é fundamental para estabelecer ajustes na recomendação de adubos e corretivos. Estando de posse desses dados é possível buscar alternativas aos tradicionais manejos de adubação, optando por alternativas mais econômicas e com menores impactos.

2.2 Fontes de adubação mineral

A utilização de fertilizantes torna-se indispensável para alavancar a produção de alimentos no mundo. O Brasil encontra-se entre os maiores consumidores desses insumos, sendo o quarto colocado, embora com a participação de apenas 2% na produção mundial (Stipp e Prochnow, 2008).

Dentre os adubos, os nitrogenados são os mais utilizados, devido à necessidade pelas culturas e dentre as fontes nitrogenadas disponíveis, a ureia é a mais utilizada devido à sua alta solubilidade em água, alta assimilação pelas plantas e ao teor de N no fertilizante maior quando comparado as demais fontes nitrogenadas, o que favorece o transporte, armazenagem, manuseio e a aplicação no campo (Cantarella, 1992).

Entretanto, a ureia apresenta algumas desvantagens, como alta hidrocópica, que consiste em absorver a água do ambiente ao seu redor e a presença de biureto, que pode se tornar tóxico para algumas culturas. A ureia também apresenta como desvantagem a sua susceptibilidade a perdas por volatilização de NH_3 , principalmente se sua aplicação for na superfície. Segundo Melgar et al. (2009) esse processo ocorre na presença de umidade alta o que provoca a degradação e dissolução do grânulo de ureia aplicado ao solo e, ao entrar em contato com a enzima urease existente no solo e em resíduos vegetais, a ureia sofre hidrólise, gerando carbonato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, onde o acúmulo de carbonato de amônio provoca a elevação do pH ao redor do grânulo o que contribui para aumentar as perdas por volatilização de NH_3 . E segundo Cantarella, (2008) além das perdas por volatilização de NH_3 a elevação do pH em torno do grânulo pode provocar efeito tóxico sobre a germinação.

O uso de revestimento vem sendo encorajado com o intuito de aumentar a eficiência do uso da ureia. Bockman e Olf, (1999) relatam que a utilização de inibidores da enzima uréase pode reduzir a hidrólise da ureia diminuindo significativamente as perdas por volatilização de amônia. Além de reduzir a volatilização, os mesmos autores relatam que os inibidores podem retardar a oxidação do amônio para nitrato, prevenindo a formação de N_2O antes de sua absorção como nutriente pelas plantas. Rambo et al.

(2004) ressaltaram a importância da sincronia entre a época de aplicação do adubo nitrogenado e a disponibilização de N, nos estádios de maior necessidade de N pela cultura, visando aumentar a eficiência do uso do nitrogênio, podendo a ureia com revestimento, auxiliar neste processo de sincronização.

Outros benefícios são relacionados ao uso da ureia com revestimento como: menor estresse e toxicidade no sistema radicular e semente das plantas devido à alta salinidade presente na ureia; aumento na disponibilidade de nutrientes na solução do solo, devido à presença de boro e cobre; aumento na eficiência de absorção da N pela planta, devido à lenta liberação; melhoria dos efeitos sinérgicos entre os nutrientes, um vez que a lenta liberação do N reduz o seu desequilíbrio no solo, melhorando a proporção do N aos demais íons; redução nos riscos de contaminação ambiental por lixiviação de nitrato e nitrito e volatilização de amônia (Shaviv, 2001; Benini et al., 2004 e Faria, 2013).

2.3 Fontes de adubação orgânica

Os fertilizantes orgânicos são compostos por materiais de origem animal ou vegetal, onde podem ser considerados resíduos ou rejeitos. Seu uso é recomendado devido a capacidade de elevar a fertilidade do solo e favorecer a atividade microbiana do mesmo. Dentre os produtos mais utilizados como adubo orgânico destacam-se os dejetos de animais, principalmente provenientes de bovinos, suínos e aves (Kiehl, 1985, Oliveira et al., 2013).

Nos esterco, estão presentes as fontes de matéria orgânica mais utilizadas na agricultura, os quais podem ser encontrados nas formas líquida ou sólida, fresco ou pródigerido, como composto ou vermicomposto (Weinartner et al., 2016). Onde a composição pode variar de acordo com a espécie, alimentação, fase de cria e composição da cama de frango no caso da utilização de excretas de aves (Weinartner et al., 2016). Segundo Borges et al. (2012), o esterco suíno pode apresentar as seguintes teores de nutrientes: 23,2 de N; 20,6 de P; 16,2 de K; 32,5 de Ca e 7,7 de Mg já a cama de frango: 35,6 de N; 13,3 de P; 19,9 de K; 23,1 de Ca e 5,0 de Mg. Os mesmos autores ao trabalharem com bananeira tipo Terra, na Bahia, testaram doses de nitrogênio aplicadas via adubo químico (uréia) e com a adubação orgânica via esterco (40 litros por planta ao ano) e constataram que a produtividade foi 10 t ha⁻¹ superior com a adubação orgânica (40 t ha⁻¹) em relação ao tratamento sem nitrogênio (30 t ha⁻¹). Já em trabalho realizado por Gomes et al. (2015) o uso de dejetos suíno proporcionou o aumento de 100% na

produção de matéria seca do capim Piatã em relação ao tratamento controle e um aumento de 50 % em relação aos tratamentos submetidos a adubação mineral.

Os resíduos animais aplicados no solo como fertilizantes, visando ao rendimento de culturas agrícolas (Streck et al., 2008) podem ser considerados uma alternativa viável para substituição total ou parcial de adubos químicos, principalmente os nitrogenados sintéticos (Oliveira et al., 2013; Moreira et al., 2014).

Onde as quantidades recomendadas para serem adicionadas em determinada área dependem, entre outros fatores, do teor de nutrientes presente no solo e no esterco, textura do solo, exigência da cultura além das condições climáticas (Durigon et al., 2002).

2.4 Volatilização de amônia

Segundo Diest, (1988) o processo de volatilização de NH_3 consiste na passagem da amônia presente no solo para a atmosfera e essa transformação é esquematizada pela seguinte fórmula: $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- (\text{H}_2\text{O}) = \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3$.

A amônia perdida por volatilização é proveniente da mineralização no caso de fontes orgânicas ou hidrólise no caso da utilização da ureia, sendo esse processo mediado pelo pH do solo.

A volatilização de amônia proveniente da ureia ocorre inicialmente pela hidrólise dos grânulos em contato com a enzima urease do solo, formando carbonato de amônio. Segundo Santos et al. (1991) a urease consiste em uma enzima extracelular produzida por bactérias, fungos e actinomicetos do solo, onde altas concentrações dessa enzima potencializam a volatilização de amônia.

O carbonato resultante da hidrólise da ureia é considerado composto não estável, o que propicia a sua transformação em NH_3 , CO_2 e H_2O , onde parte da amônia formada reage com íons de hidrogênio o que resulta na formação de cátions de NH_4^+ . Entretanto, esse processo causa a neutralização do pH próximo aos grânulos o que favorece a volatilização de NH_3 .

Além das fontes nitrogenadas utilizadas, as condições climáticas também podem favorecer o processo de volatilização de amônia. A presença de precipitação juntamente com altas temperaturas favorecem a elevação das proporções de NH_3 na solução do solo em relação ao NH_4 , onde, o aumento na proporção de amônia em relação ao amônio propicia a elevação nas taxas de evaporação.

Os meios de aplicação dos fertilizantes também contribuem para as perdas por volatilização. Segundo Cantarella, (1999), as perdas por volatilização da ureia quando

aplicada superficialmente podem chegar a 78% do N aplicado, fato esse relacionado a rápida hidrólise do fertilizante.

2.5 Índices de qualidade do solo

A intensificação das atividades antrópicas tem ocasionado desequilíbrios ambientais, de modo a promover erosão e contaminação do solo, fragilizando a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Freitas et al., 2012).

A degradação atual dos solos vem em decorrência da substituição de vegetações nativas por produções agrícolas extensivas e intensiva. Tendo como consequência à degradação, de modo a ocorrer a redução da produtividade, menor retenção de água pelo solo e o aumento do escoamento superficial (Paca, 2015).

A melhoria desses solos, se fez indispensável para a sustentação das atividades produtivas. Nos dias atuais, para se verificar os atributos do solo, tem se utilizado indicadores como: textura, estrutura, porosidade, infiltração, penetrabilidade, mecanismos de retenção de água e nutrientes; e químicos, como: capacidade de troca iônica, acidez ativa, teor de carbono; e biológicos: massa microbiana, respiração microbiana, e ação enzimática (Lozada, 2015).

Os teores de matéria orgânica do solo (MOS), está entre os indicadores mais estudados na atualidade, uma vez que está ligada a vários processos importantes para a dinâmica do solo. A MOS é a fonte primordial de carbono (C), portanto, constitui a principal fonte de energia e nutrientes para a atividade microbiana (Parron et al., 2015).

A evolução de dióxido de carbono (CO₂) provida do solo, está estão fortemente associados ao teor e à qualidade da MOS e, deste modo, reflete a diversidade biológica e a qualidade da MOS. Sua estabilidade será, por sua vez, consequência da dinâmica da atividade microbiana, do tipo e da quantidade de resíduos vegetais e animais aportados na superfície do solo e na rizosfera, e de outros atributos do solo, tais como tipo de argila, textura e pH (Parron et al., 2015).

2.6 Adubação orgânica

Em sistemas agrícolas, a dinâmica da matéria orgânica no solo (MOS) pode ser influenciada não só pelo manejo, por meio da seleção de culturas e de formas de preparo do solo, mas também pela adição de fertilizantes químicos e materiais orgânicos, que influem positivamente nos processos biológicos de decomposição e mineralização da MOS. A adição de materiais orgânicos é fundamental à qualidade do solo,

caracterizando-se pela liberação gradativa de nutrientes, que reduz processos como lixiviação, fixação e volatilização. Por isso, o uso combinado de fertilizantes químicos e materiais orgânicos tem sido recomendado como manejo alternativo, possibilitando a manutenção de alta produtividade, com estabilidade, principalmente quando o material orgânico aplicado apresenta elevada relação C/N e elevados conteúdos de lignina e polifenóis, e para regiões onde o uso de fertilizante é recomendado (Cruz et al., 2014).

A maior utilização de manejos de adubação orgânica é de fundamental importância para o desenvolvimento e crescimento das culturas no sistema de produção agrícola, pelo seu baixo custo. Esse maior aproveitamento dos recursos existentes na propriedade proporciona um aumento na produtividade de grãos. Portanto, o uso de cama de frangos por exemplo apresenta teores consideráveis de N, P, K, Ca e Mg, além de conter micronutrientes como Zn, Cu e Mn, permitindo a substituição da adubação mineral das culturas tornando assim vantajoso para os produtores, na adubação das culturas comerciais (Brito et al., 2005; Pauletti et al., 2008). A dose a ser utilizada e a viabilidade da utilização da cama de aviário dependem das necessidades da cultura e das propriedades físicas e químicas do solo. Em muitos trabalhos, a aplicação da cama de aviário, utilizada como fertilizante, tem-se demonstrado uma prática viável (Andreola et al., 2010, Konzen, 2017 e Menezes et al., 2017).

Segundo Richetti (2015), o uso de resíduos orgânicos na agricultura, como os dejetos líquidos de suínos, é altamente vantajoso. Eles apresentam altos teores de nutrientes, com baixo custo, tornando-se economicamente viável. Assim, os resíduos gerados pelos animais podem ser utilizados na lavoura, para aumento da fertilidade do solo e redução no uso de fertilizantes minerais, os quais são responsáveis pela maior parte do custo de produção de uma cultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área experimental

O trabalho foi realizado em área experimental da Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, no município de Chapadinha, localizada a 3° 44' 9" de latitude e 43° 18' 53" de longitude (Figura 1). O clima da região corresponde na classificação de Köppen ao tipo Aw, caracterizado por chuvas no verão e seca no inverno. A temperatura média do período experimental foi de 28°C, e o acúmulo de precipitação de 800 mm. Os dados de temperatura e precipitação foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Figura 2). O solo foi classificado como Latossolo Amarelo (Santos et al., 2018), o qual apresentou as seguintes características: pH = 5,09 (em água); Ca = 1,22; Mg = 0,77; Na = 0,01; K = 0,01; Al = 0,25; H+Al = 2,49 (todos em cmolc dm⁻³, exceto o pH), P = 0,36 mg kg⁻¹, Areia = 845; Argila = 80 e Silte = 75 (granulometria em kg⁻¹).

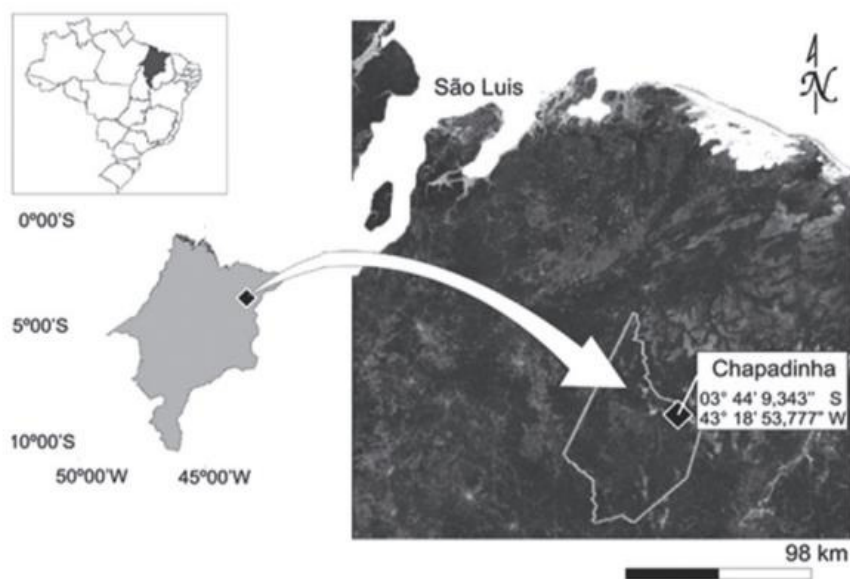


Figura 1 Localização da área experimental

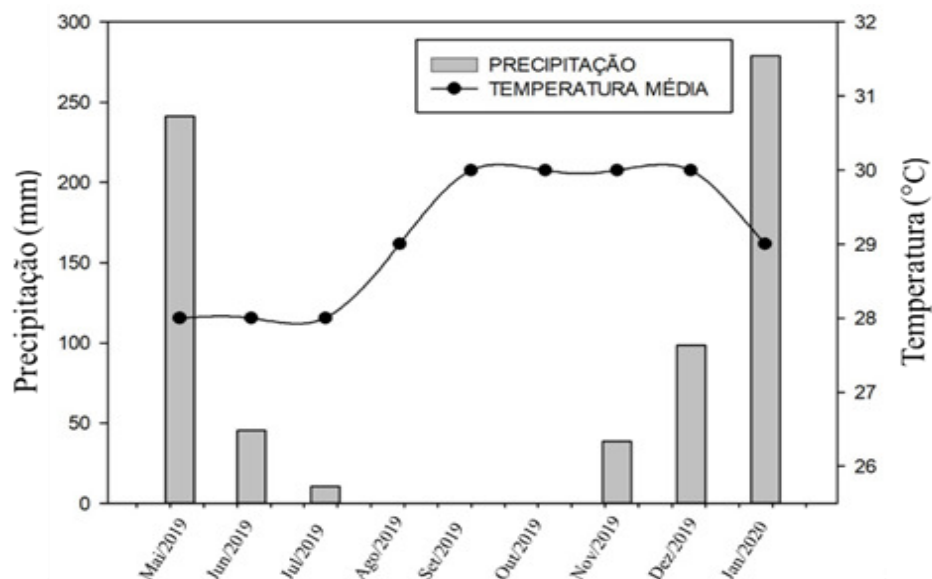


Figura 2. Temperatura e precipitação média mensal durante o período experimental

3.2 Instalação, condução do experimento, e delineamento experimental

O primeiro ano experimental iniciou-se com o preparo convencional do solo utilizando-se de arado, gradagem e sulcador regulado para a confecção de sulcos com 1 metro de distância. Logo após procedeu-se a adubação de plantio com a aplicação de cloreto de potássio na dose de $140 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ e superfosfato triplo com doses de $120 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$. As cultivares de cana-de-açúcar plantadas foram: RB 925579, RB 867515 e RB 863129 obtidas com um produtor local. As mudas foram depositadas sobre os sulcos no formato “pé com ponta” para favorecer a germinação, e posteriormente cortadas em toletes e cobertas com uma pequena camada de solo. Logo após o plantio dos cultivares de cana-de-açúcar, procedeu-se a instalação da irrigação por gotejamento, permanecendo na área até o início do período chuvoso.

Para verificar o rendimento da cultura, dez meses após o plantio procedeu-se a coleta para estimar a produtividade de colmos em uma área de 3 m^2 em cada parcela experimental. Para tal, procedeu-se a pesagem do material presente dentro da área amostral (3 m^2), sendo utilizado 12 repetições por cultivar e posteriormente esses dados foram extrapolados para tonelada por hectare, segundo a metodologia proposta por Landell et al. (1999).

No segundo ano de avaliação, o experimento iniciou-se com a aplicação das fontes nitrogenadas 40 dias após o corte da cana-planta, realizado em março de 2019, utilizando de duas fontes nitrogenadas minerais (ureia e ureia revestida com H_3BO_3 e

CuSO₄), e duas fontes orgânicas (dejeito suíno e cama de aves). A ureia revestida se difere da ureia comum por apresentar lenta liberação do N; melhoria dos efeitos sinérgicos entre os nutrientes, um vez que a lenta liberação do N reduz o seu desequilíbrio no solo, melhorando a proporção do N em relação aos demais íons; redução nos riscos de contaminação ambiental por lixiviação de nitrato e nitrito e volatilização de amônia.

Para a definição da quantidade de cada adubo a ser aplicado, considerou-se as concentrações de N presente em cada fonte (Tabela 1), sendo estas padronizadas para fornecer no momento da aplicação uma dose de 120 kg N ha⁻¹ para as respectivas parcelas experimentais que retratassem cada tratamento. Além das fontes nitrogenadas, também foi aplicado cloreto de potássio, para que se atingisse a dose de 100 kg ha⁻¹ em todas as parcelas experimentais.

Tabela 1 Teor de Matéria Seca (MS), Matéria Orgânica (MO), Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) dos adubos orgânicos e minerais utilizados no experimento.

Adubos	MS	MO	N	P	K
	-----%		-----g kg ⁻¹ -----		
Cama de Frango	85,90	50,98	40,54	15,86	19,90
Dejeito Suíno	2,54	74,34	16,67	6,64	7,46
Ureia	---	---	45,67	---	---
Ureia revestida	---	---	45,83	---	---

A cultivar de cana-de-açúcar utilizada para o segundo ano experimental foi a RB 867515, colhida sem queima em janeiro de 2020 e submetida a irrigação por gotejamento durante todo o período experimental. A escolha dessa cultivar para dar continuidade às avaliações no segundo ciclo da cultura teve como critério a observação da produtividade das cultivares utilizadas no primeiro ano experimental, o que foi usado como indicativo de qual seria a mais promissora entre as três cultivares avaliadas para a região. É importante salientar que a escolha das três cultivares para a implantação do experimento (Ano 1) foi feita após uma avaliação de 18 cultivares que o produtor fornecedor tinha, com base nas que apresentavam melhores performance durante 6-8 ciclos.

Durante os dois anos experimentais a cultura não foi manejada com nenhum tipo de defensivo agrícola para controle de ervas daninhas, pragas ou doenças por não haver necessidade.

Para as análises dos parâmetros químicos e físicos do solo, o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas, onde as parcelas foram as fontes de N (ureia, ureia revestida, cama de frango, dejeito líquido

suíno); e controle (parcelas sem aplicação das fontes de N). As subparcelas foram as profundidades de coleta do solo (0-5, 5-10 e 10-20 cm).

Para a avaliação da decomposição da palhada o delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, onde os blocos foram os períodos de incubação, sendo estes 15, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após a instalação dos *litter bags*, e as parcelas foram os tratamentos (ureia, ureia revestida, cama de frango, dejetos suíno e controle). Para os dados inerentes à volatilização de N, o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com parcelas subdivididas, onde as parcelas foram as fontes de N (ureia, ureia revestida, cama de frango, dejetos suíno e controle) e as subparcelas os tempos de coleta (24, 48, 72, 96, 144, 240 e 366 horas após a adubação).

3.3 Avaliações e análises realizadas

No ano 1 foram realizadas coletas de amostras de solo utilizando-se de um trado holandês no dia anterior à adubação com as diferentes fontes de N, e posteriormente a coleta foi realizada novamente 270 dias após a adubação, com o objetivo de verificar as possíveis modificações causadas pela aplicação das fontes de N nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm. No momento da coleta procedeu-se a retirada de resíduos vegetais na superfície.

Após a coleta as amostras foram levadas para o laboratório, secas ao ar e peneiradas utilizando-se peneira de 2 mm, obtendo-se assim, amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) para a realização das seguintes análises químicas: pH em água; carbono orgânico total (COT) por oxidação e combustão da matéria orgânica do solo; teores de cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) e alumínio (Al^{+3}) por meio de extração com KCL 1 mol L^{-1} e determinação por complexometria; fósforo (P), potássio (K^{+}) e sódio (Na^{+}) utilizando-se extrator Melich⁻¹. O K^{+} e o Na^{+} foram determinados por fotometria de chama. Já a determinação do P foi feita por colorimetria. Também foram coletadas amostras para a determinação da granulometria e amostras indeformadas para a determinação da densidade do solo (Ds). Todas as análises citadas foram realizadas segundo Embrapa (1997).

Com o intuito de avaliar a dinâmica da decomposição da palhada, antes da adubação nitrogenada, os resíduos vegetais (palhada) da cana-de-açúcar, foram coletados manualmente e submetido a secagem em estufa de circulação de ar forçado a 60°C por 24 horas ou até o material apresentar peso constante. Após seco, pesou-se 25 g do resíduo, o qual foi acondicionado em *litter bags* confeccionados em nylon com malha de 2 mm,

nas dimensões de 40 cm largura x 40 cm de altura. Em seguida os *litter bags* foram distribuídos nas áreas úteis das parcelas experimentais. As amostras foram colocadas no campo após a adubação, e as coletas foram realizadas aos 15, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após a instalação dos *litter bags*, perfazendo um total de sete coletas. Em cada coleta foi retirada uma repetição (um *litter bag*) de cada parcela, totalizando 20 amostras por coleta. Após ter sido retirado do campo, o material foi levado para laboratório sendo seco em estufa de circulação de ar forçado a 65 C até atingir massa constante, sendo posteriormente pesado (Fortes, 2013). O cálculo das porcentagens de decomposição foi realizado pela diferença entre as massas, utilizando-se a seguinte expressão matemática:

$$f = a * \exp(-b * x); \%d=(d*100)/Zi$$

Em que: f = equação exponencial de decaimento ; a = estimativa da média do conteúdo orgânico inicial; exp = fator de correção médio; b = conteúdo final de cada amostra; d= decomposição Zi = matéria seca final de cada amostra.

Os dados obtidos foram ajustados ao modelo exponencial, com a taxa de resíduos remanescentes em função do tempo ($TR=100.e^{-k(t)}$), da qual se foram obtidas a constante (k) para o cálculo de meia vida ($T^{1/2} = \ln 2 / k$) e tempo de reciclagem ($r = 1 / k$) do material vegetal.

Para quantificar as perdas de N por volatilização de amônia, foram instalados no campo coletores do tipo SALE (câmara semi-aberta livre estática), segundo o protocolo proposto por Araújo et al. (2009) e descrito por Shigaki & Dell (2015). Para esta avaliação foram utilizados sete tempos de amostragem, sendo estes: 24, 48, 72, 96, 144, 240 e 364 horas após a adubação.

A avaliação do rendimento da cana-de-açúcar, realizou-se a estimativa da produtividade de colmos em uma área de 3 m² em cada parcela experimental. Para tal, procedeu-se a pesagem do material presente dentro da área amostral (3m²), sendo posteriormente esses dados extrapolados para tonelada por hectare.

3.4 Análise estatística

Os valores foram analisados por meio do procedimento MIXED sendo atendidos os pressupostos de normalidade e homocedasticidade através de observações individuais dos Residual Studentized, do programa SAS (2015), não sendo necessário transformações. As médias foram obtidas pelo comando LSMEANS com ajuste para o

teste Tukey para fornecer as comparações múltiplas, sendo considerados diferente quando $P < 0,5$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade e Porosidade total

Os atributos densidade do solo (Ds) e porosidade total apresentaram diferenças significativas com a aplicação do dejetos suíno (DS). Esse tratamento proporcionou redução da Ds, e aumento na porosidade ($p < 0,05$) em comparação aos demais (Tabela 3), sendo observado valores médios de densidade de $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$, e de 51,6% para porosidade do solo.

O aumento da porosidade do solo observado após a aplicação do DS, pode ser justificado pelo alto teor de matéria orgânica presente no dejetos suíno aplicado, que proporciona um aumento da atividade microbiana do solo, favorecendo a formação de ácidos húmicos e complexos argilo-orgânicos que estimulam a formação de microagregados de maior estabilidade, propiciando uma melhora na agregação (Tiago, 2012), o que possibilita uma melhor relação entre a macro e a microporosidade, e consequentemente menor compactação do solo (Malta et al., 2019).

Padrão similar foi observado por Oliveira et al. (2015) ao utilizarem dejetos suíno como adubo orgânico em diferentes sistemas de manejo, sendo estes plantio direto, sistema convencional e uma área de pastagem. Os autores observaram valores médios de Ds de $1,28 \text{ Mg m}^{-3}$ e porosidade de 50 % após a aplicação do dejetos em todos os tratamentos, sendo encontrada uma redução quando comparado com o tratamento controle, área de mata nativa, na qual foram verificados valores de Ds de $1,38 \text{ Mg m}^{-3}$ e porosidade de 45%.

Observou relação inversa entre Ds e porosidade total, em que os maiores valores de porosidade foram observados nas áreas de maior porosidade total, sendo esse padrão também observado por Wendling et al. (2012). Segundo Arthur et al. (2013) e Brewer et al. (2014) além dos adubos utilizados, outros fatores como cultura implantada, quantidade de raízes e maquinários utilizados podem contribuir para a redução da Ds do solo.

Tabela 2. Densidade (g m^{-3}) e Porosidade total (%) em função da fonte nitrogenada.

Profundidade	Densidade		Porosidade	
	-----(g cm^3)-----		-----(%)-----	
	Ano 1	Ano 2	Ano1	Ano 2
	----- Ureia -----			
0 – 5	1,50Aa	1,52Aa	43Aa	40Aa
5 – 10	1,52Aa	1,50Aa	47Aa	45Aa
10 – 20	1,54Aa	1,53Aa	47Aa	44Aa
	----- Ureia Revestida -----			
0 – 5	1,49Aa	1,49Aa	44Aa	42Aa
5 – 10	1,51Aa	1,50Aa	44Aa	43Aa
10 – 20	1,54Aa	1,50Aa	47Aa	44Aa
	----- Cama de frango -----			
0 – 5	1,52Aa	1,50Aa	43Aa	42Aa
5 – 10	1,52Aa	1,49Aa	43Aa	42Aa
10 – 20	1,55Aa	1,53Aa	45Aa	45Aa
	----- Dejeto suíno -----			
0 – 5	1,49Aa	1,28Bb	44Bb	54Aa
5 – 10	1,53Aa	1,32Bb	46Bb	50Aa
10 – 20	1,52Aa	1,30Bb	45Bb	51Aa
	----- Controle -----			
0 – 5	1,44Aa	1,45Aa	43Aa	40Aa
5 – 10	1,48Aa	1,50Aa	45Aa	43Aa
10 – 20	1,50Aa	1,49Aa	43Aa	43Aa

Letras maiúsculas diferentes entre os anos de avaliação, e minúsculas diferentes dentro do tratamento para as profundidades apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

4.2 pH em água

Com aplicação dos fertilizantes orgânicos (DS e CF) foi observado para o ano 2 um aumento do pH do solo ($p < 0,05$) quando comparado aos demais tratamentos (URE, URER e CON) (Tabela 4) na profundidade de 0-5 cm. Esse resultado pode estar associado ao processo de decomposição da matéria orgânica e liberação dos nutrientes. O aumento do pH somente na profundidade de 0-5 cm do solo pode ser atribuído ao tempo de avaliação do experimento (aproximadamente 270 dias). Segundo Guianini et al. (2014) ao avaliarem esterco bovino como fonte de adubação orgânica para as cultivares de cana-de-açúcar RB 867515 e RB 855536, as alterações no pH em maiores profundidades foram somente observadas a partir do segundo ou terceiro ciclos de utilização das fontes orgânicas. Este efeito também foi verificado em outros trabalhos, como o de Guimarães et al. (2016), que observaram a elevação no pH ao utilizar cama de aves como adubo orgânico sob cultura de cana-de-açúcar somente a partir do segundo ano de avaliação.

4.3 Ca, Mg, Al e H+Al

Quanto aos teores de Ca, Mg, Al e H+Al, não foram observadas modificações entre os anos avaliados ($p > 0,05$). Esse padrão pode ser decorrente do pequeno tempo de avaliação do experimento segundo Mozzoncini et al. (2011) as modificações para esses

atributos podem levar alguns ciclos culturais para serem observadas, uma vez que o aumento da concentração desses elementos no solo depende de condições favoráveis, dentre elas o pH (Ribeiro et al., 2017).

Tabela 3. Análise química do solo do primeiro ano (sem fertilização) e do segundo ano (com fertilização), utilizado no experimento em três profundidades.

Profundidade	pH (H ₂ O)		Al		H+Al		Valor S		Valor T		V%		Na/T	
	Ano 1	Ano 2	Ano1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
-----ureia-----														
0 – 5	5,09A	5,04A	0,10	0,00	2,48	2,35	1,90	1,91	4,38	4,26	42Aa	43Ab	0,02	0,00
5 – 10	5,16A	5,39A	0,08	0,05	2,35	2,37	2,00	1,59	4,35	3,96	45Aa	39Bb	0,02	0,00
10 – 20	5,21A	5,26A	0,13	0,08	2,28	2,67	1,83	1,41	4,11	4,08	43Aa	34Bc	0,11	0,00
-----ureia revestida-----														
0 – 5	5,06A	5,16A	0,23	0,00	2,53	2,47	1,70	1,73	4,23	4,20	39Aa	41Ab	0,02	0,00
5 – 10	5,04A	5,18A	0,18	0,00	2,63	2,22	1,83	2,11	4,45	4,33	41Ba	49Aa	0,02	0,00
10 – 20	5,06A	5,28A	0,15	0,08	2,53	2,47	1,53	1,50	4,05	3,97	37Ab	38Ab	0,02	0,00
-----cama de frango-----														
0 – 5	5,02B	5,40A	0,20	0,05	2,70	2,57	1,43	1,76	4,13	4,33	34Bb	40Ab	0,02	0,00
5 – 10	5,07A	5,36A	0,15	0,08	2,58	2,67	1,48	1,59	4,05	4,26	36Ab	37Ab	0,02	0,00
10 – 20	5,12A	5,27A	0,15	0,13	2,55	2,57	1,60	1,43	4,15	4,00	38Ab	36Ab	0,02	0,00
-----dejeito suíno-----														
0 – 5	5,01B	5,32A	0,13	0,05	2,43	2,87	2,15	1,54	4,58	4,41	45Aa	34Bc	0,02	0,01
5 – 10	5,29A	5,26A	0,13	0,10	2,50	3,07	2,00	1,29	4,50	4,36	42Aa	29Bc	0,02	0,00
10 – 20	5,28A	5,15A	0,13	0,05	2,75	3,00	1,76	1,19	4,51	4,19	37Ab	28Bd	0,02	0,00
-----controle-----														
0 – 5	5,13A	5,21A	0,20	0,00	2,55	2,30	2,08	2,21	4,63	4,51	42Ba	48Aa	0,01	0,00
5 – 10	5,06A	5,23A	0,23	0,00	2,38	2,20	2,00	2,21	4,38	4,41	41Ba	50Aa	0,02	0,00
10 – 20	5,10A	5,33A	0,33	0,00	2,55	2,30	1,90	1,88	4,45	4,18	40Aa	44Aa	0,02	0,00

Letras maiúsculas diferentes entre os anos dentro do tratamento, e minúsculas para as profundidades entre tratamentos apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

4.4 Fósforo (P)

Com relação aos teores de fósforo no solo, foi observado aumento desse nutriente ($p < 0,05$) em todos os tratamentos, inclusive no controle (Tabela 5). Esse aumento, pode estar associado a palhada remanescente do ciclo anterior, uma vez que resíduos culturais na superfície do solo funcionam como uma importante reserva de nutrientes, cuja disponibilidade pode ser rápida e intensa (Silva et al., 2013).

Dentre os macronutrientes, o P é absorvido em menor quantidade pelas culturas, porém, é extremamente necessário a planta, pois atua em processos importantes como o desenvolvimento de raízes e fotossíntese. Apresenta alta mobilidade na planta, e presente na palhada é facilmente translocado quando necessário. Estudos realizados por Oliveira et al. (1999), Franco et al. (2007) e Fortes et al. (2012) avaliando a ciclagem de nutrientes, encontraram uma disponibilidade de 3 a 6 kg ha⁻¹ de P na palhada da cana-de-açúcar.

Já no solo, o P apresenta baixa mobilidade e sua retenção depende principalmente da quantidade de sítios de ligação disponíveis (Oliveira et al., 2014), os quais encontram-se localizados na superfície das argilas, matéria orgânica e óxidos e hidróxido de Fe e Al (Fontes et al., 2015). Desta forma, a matéria orgânica presente nos adubos orgânicos pode favorecer a disponibilidade de P no solo, assim como propiciar a menor adsorção do mesmo. Devido à sua baixa mobilidade no solo, em condições favoráveis, este nutriente pode apresentar menores perdas (Mecabô et al., 2014) quando comparado a outros com maior mobilidade, por exemplo, o potássio (K), deste modo, sua presença, pode ser observada com maior facilidade.

4.5 Potássio (K)

Não foi observado aumento nos teores de K ($p > 0,05$) no solo em nenhum dos tratamentos. O K presente nos adubos orgânicos encontra-se prontamente disponível para o solo e a planta, pois não faz parte de nenhum composto orgânico estável, o que acarreta uma maior mobilidade do nutriente no solo. Em contrapartida, a maior mobilidade desse nutriente aumenta as perdas por lixiviação (Yadav et al., 2016), e pode reduzir sua disponibilidade no solo. Padrão similares foram observados por Habib et al. (2014) ao utilizarem fertilizantes orgânicos e inorgânicos como fonte de K para a cultura de cana-de-açúcar implantada em solo com características semelhantes ao deste estudo (textura arenosa). Os autores verificaram ao longo dos anos as modificações nos parâmetros químicos do solo, porém para o K, não foram verificados aumentos nos teores desse nutriente no primeiro ano de utilização dos fertilizantes orgânicos.

4.6 Carbono Orgânico Total (COT)

Com relação aos teores de carbono orgânico total (COT), foram observados aumentos nos teores ($p < 0,05$) após a utilização dos adubos orgânicos (DLS e CF), para as três profundidades avaliadas, com maiores incrementos na camada superficial (0-5 cm) (Tabela 5). Esse aumento expressivo pode ser explicado pelo alto teor de matéria orgânica presente nesses adubos orgânicos. Em termos gerais, o DLS proporcionou maior incremento de COT ($p < 0,05$), em comparação a CF. A utilização do dejetos de suíno na forma líquida pode ter favorecido o processo de percolação desse adubo até as camadas subsuperficiais do solo, acarretando maiores incrementos de COT em profundidade. Padrão similar foi observado por Liang et al. (2012), que evidenciaram incrementos graduais de COT ao avaliarem as modificações do solo em um período de 15 anos utilizando dejetos animais como fertilizantes sob cultura de cana-de-açúcar.

Outros autores como Arruda et al. (2015); Guan et al. (2015) relatam que próximo à superfície, o conteúdo de COT é maior por causa dos aportes de matéria orgânica providos pela cobertura vegetal (Ramos et al., 2015). Dessa forma, além dos adubos orgânicos utilizados, a palhada depositada sobre o solo, remanescente do ciclo anterior da cultura, pode ter auxiliado no aumento do conteúdo de COT. Estudos como os de Vitti et al. (2008) e Yamaguchi et al. (2012), indicam que a cultura da cana-de-açúcar pode contribuir para aumentos nos teores de COT. Trabalhos como o de Vezzani et al. (2011) corroboram com estes resultados, em que os autores ao avaliarem cultivares de cana-de-açúcar, dentre elas a cultivar RB 867515, observaram aumento de até 15% nos teores de COT decorrentes da decomposição da palhada depositada sobre o solo.

Tabela 4. Análise química do solo do primeiro ano (sem fertilização) e do segundo ano (com fertilização), utilizado no experimento nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

Profundidade (cm)	P		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na		K ⁺		COT		
	----mg kg ⁻¹ ----		-----cmol _c dm ⁻³ -----										----g kg ⁻¹ ----
	Ano 1	Ano 2	Ano1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	
-----ureia-----													
0 – 5	0,33B	1,07Ab	1,13	1,13	0,78	0,78	0,00	0,00	0,00	0,01	13,46A	14,20Ac	
5 – 10	0,52B	1,19Ab	1,15	1,05	0,85	0,53	0,00	0,01	0,00	0,01	13,94A	13,15Ac	
10 – 20	0,42B	2,22Aa	1,13	0,88	0,70	0,53	0,00	0,00	0,00	0,01	14,48A	14,59Ac	
-----ureia revestida-----													
0 – 5	0,34B	1,17Ab	1,03	1,05	0,68	0,68	0,00	0,00	0,00	0,01	13,75A	13,69Ac	
5 – 10	0,33B	1,10Ab	0,95	1,25	0,88	0,85	0,00	0,00	0,00	0,01	13,65A	13,22Ac	
10 – 20	0,33B	2,31Aa	0,91	1,13	0,61	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	14,33A	13,22Ac	
-----cama de frango-----													
0 – 5	0,36B	1,37Ab	0,76	1,13	0,66	0,63	0,00	0,00	0,00	0,01	13,26B	17,22Ab	
5 – 10	0,36B	1,02Ab	0,89	1,10	0,59	0,48	0,00	0,00	0,00	0,01	14,87B	17,14Ab	
10 – 20	0,32B	2,35Aa	0,86	1,00	0,74	0,43	0,00	0,00	0,00	0,01	12,63B	16,39Aa	
-----dejeito suíno-----													
0 – 5	0,32B	3,06Aa	1,30	0,90	0,85	0,53	0,00	0,03	0,00	0,09	12,73B	19,29Aa	
5 – 10	0,36B	1,91Aa	1,16	0,73	0,84	0,55	0,00	0,00	0,00	0,01	12,48B	18,02Aa	
10 – 20	0,30B	2,14Aa	1,08	0,63	0,68	0,55	0,00	0,01	0,01	0,01	12,87B	17,04Aa	
-----controle-----													
0 – 5	0,39B	1,32Ab	1,15	1,43	0,93	0,78	0,00	0,00	0,00	0,01	12,97A	13,67Ac	
5 – 10	0,35B	1,26Ab	1,35	1,48	0,65	0,73	0,00	0,00	0,00	0,01	14,53A	14,20Ac	
10 – 20	0,36B	2,41Aa	1,16	1,20	0,74	0,68	0,00	0,00	0,00	0,01	12,97A	13,92Ac	

Letras diferentes maiúsculas diferentes entre os anos dentro do tratamento e minúsculas para as profundidades entre tratamentos apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

4.7 Decomposição da Palhada

A taxa de decomposição da palhada demonstrou uma redução linear do material depositado sobre o solo (Figura 3).

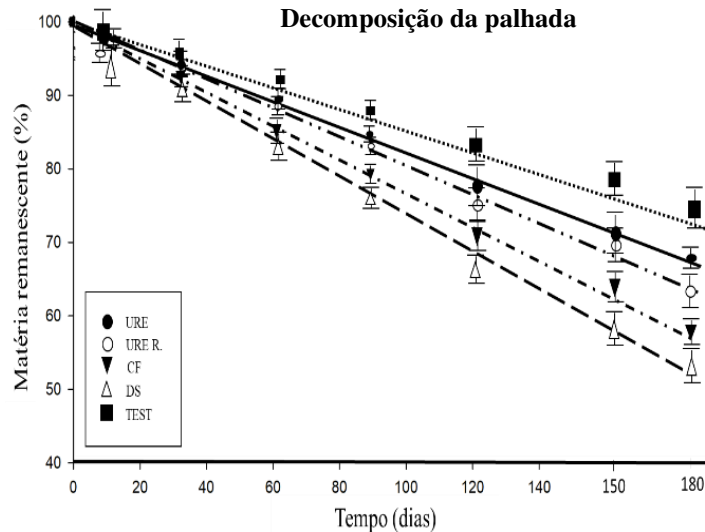


Figura 3. Curva de decomposição da palhada em função dos adubos aplicados

O padrão linear observado pode ser explicado pelo clima da região (quente e úmido), que favorece a decomposição (Figura 4), adicionalmente, a textura arenosa do solo também propicia que essas reações ocorram de forma mais rápida. Também, a irrigação utilizada durante todo o período experimental, principalmente durante os meses secos, pode ter influenciado, estimulando a formação de um micro clima propício a atuação da fauna decompositora.

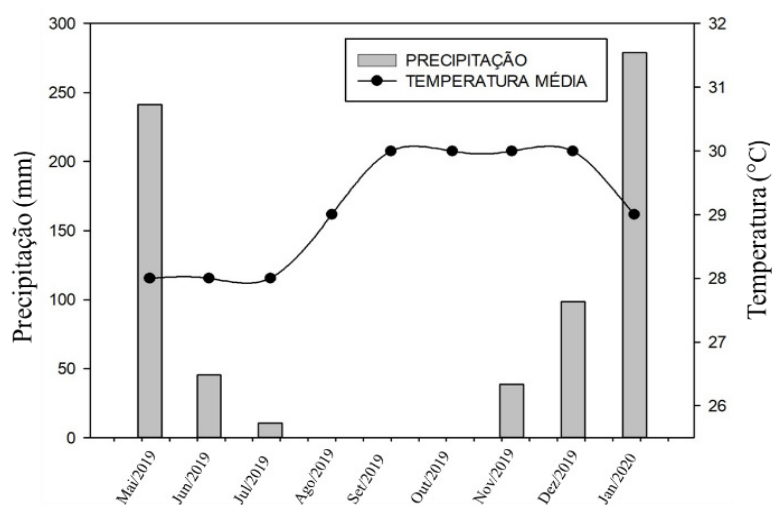


Figura 4. Precipitação média mensal (mm) e Temperatura média (°C) durante o período experimental. Chapadinha-Ma. Fonte: INMET.

Foi observado uma menor taxa de decomposição da palhada para todos os tratamentos nos primeiros dias de instalação dos *litter bags*. Esse padrão pode estar relacionada ação dos organismos decompositores presentes no solo. Segundo Yamaguchi et al. (2012), a microbiota atua inicialmente na decomposição de compostos menos recalcitrantes (materiais menos fibrosos presentes no solo), e à medida que se adapta as condições reinantes, ela inicia a atuação em substratos mais recalcitrantes, como a palhada da cana.

Com relação ao $T^{1/2}$, esse foi elevado para todos os tratamentos, tendo sido observado em média 200 dias para a redução do material em 50% (Tabela 6). O elevado tempo de decomposição observado pode estar relacionado à composição química da palhada. Segundo Massarin et al. (2011) e Faroni et al. (2013), a velocidade de decomposição, bem como o acúmulo de nutrientes na biomassa e sua liberação variam em função dos carboidratos estruturais, tais como celulose, hemicelulose e lignina, relação C/N, fertilidade do solo, condições climáticas como temperatura e precipitação e a manutenção de um ambiente favorável a atividade microbiana. Padrão similar foi observado por Faroni et al. (2013) que encontraram $T^{1/2}$ próximos a 200 dias ao avaliarem a decomposição da palhada de cana-de-açúcar submetida a diferentes fontes de adubação orgânica e mineral em anos consecutivos de cultivo.

Tabela 5. Tempo de meia vida ($T^{1/2}$), Coeficiente de determinação (R^2) e Constante de decomposição (K) da palhada submetida aos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Parâmetros		
	$T^{1/2}$	R^2	K
Ure	203,6	0,98	0,0034
Ure R	198,0	0,96	0,0035
CF	192,5	0,98	0,0036
DS	173,2	0,98	0,0040
CON	216,6	0,99	0,0032

Ure: Ureia comum; Ure R: Ureia Revestida; CF: Cama de Frango; DS: Dejeito suíno e Con: Controle

Dentre os adubos utilizados, os orgânicos foram aqueles que mais favoreceram a decomposição da palhada. Para área em que foi aplicado o DS verificou-se o menor $T^{1/2}$ (173,2), seguido da CF (192,5), URER (198,0) e por último URE (203,6). Para a área em que foi usado DS foi observada uma menor relação C/N (Potrich et al., 2014) quando

comparado ao tratamento CF, e deste modo esse tratamento apresentou uma maior eficiência como fonte de imobilização de N pelos microrganismos, favorecendo assim a maior decomposição da palhada.

Segundo Costa et al. (2014) a palhada de cana-de-açúcar apresenta relação C/N alta, acima de 80, e dessa forma, a microbiota necessita imobilizar N de outras fontes para favorecer a decomposição. Padrão similar foi observado por Stancatte et al. (2015) que verificaram aumentos na decomposição da palhada em função dos níveis de adubação nitrogenada mineral e orgânica utilizadas, em uma ordem de 0,008 para 0,033 g dia⁻¹. Entretanto, esses autores verificaram que devido à rápida disponibilidade e perdas dos adubos minerais houve uma redução na decomposição da palhada nas parcelas experimentais que foram submetidas à adubação mineral a partir dos 20 dias de incubação. Esse padrão parece estar relacionado ao fato de os adubos orgânicos promoverem a disponibilização de nutrientes de forma gradual e com menores perdas.

4.8 Volatilização de N-NH

Para as perdas de N por volatilização, foi observado que nas primeiras 24 horas para o tratamento com URE foram verificadas as maiores perdas ($p < 0,05$) de N por volatilização (51 kg NH₃ ha⁻¹; Figura 5). Nas 48 horas após a aplicação das fontes nitrogenadas, para os adubos minerais (URE e UREER) foram observadas as maiores perdas de N-NH₃ ($p < 0,05$) quando comparados às fontes orgânicas. Para a UREER foram verificadas perdas máximas (32 kg N-NH₃ ha⁻¹) nessa avaliação, seguida pelo tratamento URE com, 26 kg NH₃ ha⁻¹. O mesmo padrão, porém com menores perdas, foi observado para as fontes inorgânicas (8 kg N-NH₃ ha⁻¹ para URE e 18 kg N-NH₃ ha⁻¹ para UREER) 72 horas após a aplicação dos tratamentos.

Após 96 horas da aplicação das fontes nitrogenadas, para a UREER verificaram-se maiores perdas ($p < 0,05$) em relação aos demais tratamentos, da ordem de 17 kg N-NH₃ ha⁻¹. Na avaliação as 144 horas, não observou-se diferença significativa ($p > 0,05$) para perdas de N entre todos os tratamentos, sendo verificada uma média de 5 kg N-NH₃ ha⁻¹. Às 240 horas após a aplicação das fontes nitrogenadas, para os tratamentos URE e UREER observou-se um aumento significativo ($p < 0,05$) nas perdas de N-NH₃ (9 e 5 kg N-NH₃ ha⁻¹ respectivamente), porém estes não diferiram entre si, mas diferiram dos demais tratamentos. Na última avaliação, realizada 364 horas após a aplicação das fontes nitrogenadas, observou-se estabilização dos tratamentos e perdas mínimas de N

volatilizado ($1,5 \text{ kg N-NH}_3 \text{ ha}^{-1}$), não sendo verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$).

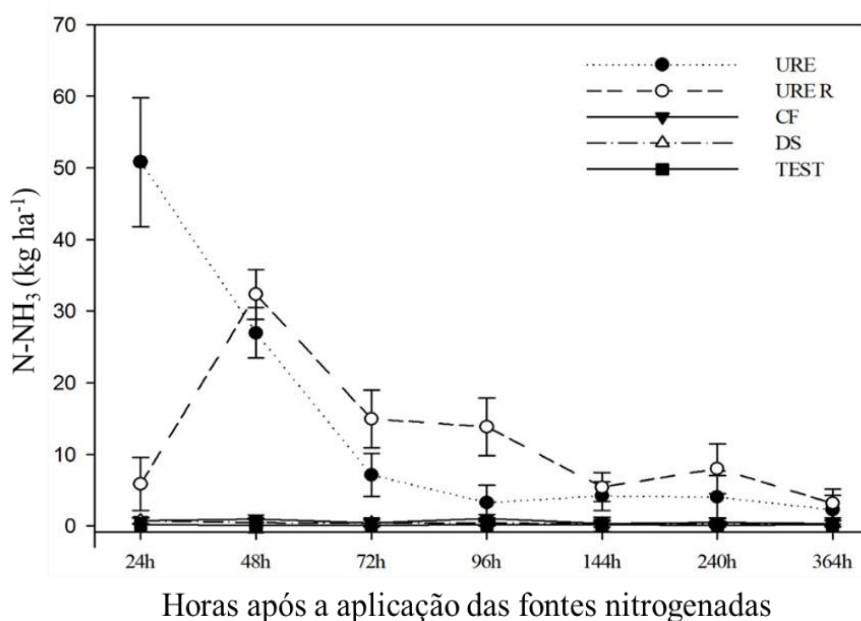


Figura 5. Volatilização de N-NH₃ após aplicação das fontes nitrogenadas

As maiores perdas observadas após a aplicação das fontes nitrogenadas, para os adubos minerais, estão diretamente ligadas à composição destes, uma vez que o N se apresenta na forma mineral, sendo assim mais suscetível a sua transformação para a forma gasosa NH₃, propiciando maiores perdas. A hidrólise da ureia ocorre de 2 a 3 dias após a sua aplicação, e fatores como temperatura e precipitação podem maximizar a ação da urease (Otto et al., 2017).

Quatro dias antes da aplicação dos adubos houve um evento de precipitação dentro dos limites da área experimental de 13 mm; e durante as primeiras 48 horas após a aplicação dos tratamentos, houve outro evento de aproximadamente 4 mm e com aumento da temperatura em aproximadamente 1°C (Figura 6). A ocorrência desses eventos de precipitação associado ao incremento da temperatura pode ter acelerado a ação da enzima urease e com isso uma mais rápida perda de N-NH₃ dos adubos minerais nas primeiras 48 horas. As perdas para o tratamento URE R foram maiores nas 48 horas após a aplicação dos adubos, diferindo da URE, a qual apresentou perdas significativas nas primeiras 24 horas.

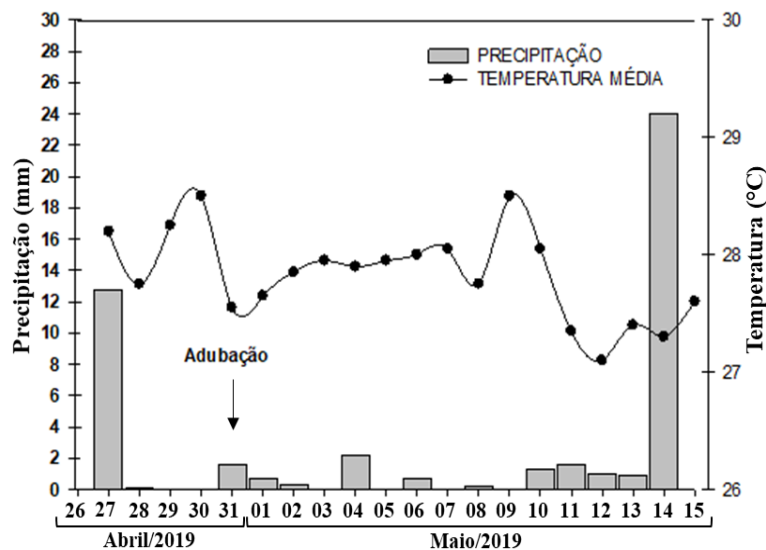


Figura 6. Precipitação média (mm) e Temperatura média diária (°C) durante a coleta de dados de volatilização. Chapadinha–Ma. Fonte: INMET

A tendência observada para as perdas de N após a aplicação da UREER deve-se ao revestimento de sulfato de cobre + ácido bórico presente na ureia revestida, uma vez que o cobre afeta a afinidade entre a urease do solo e o substrato (ureia), diminuindo a atividade enzimática através de uma inibição competitiva não reversível. Já o ácido bórico apresenta conformação semelhante à da ureia, competindo assim pelos mesmos sítios ativos, o que confere a esse elemento maior potencial em inibir a atividade da urease (Liu et al., 2019).

4.9 Perdas Acumuladas

Através da análise das perdas acumuladas de N-NH₃ (Figura 7) verifica-se que os adubos minerais (ureia e ureia revestida) apresentaram as maiores perdas durante o período experimental. Com a aplicação da ureia, observou-se uma perda da ordem de 98 kg de N-NH₃ ha⁻¹, representando 82% do N aplicado. Com a aplicação da ureia revestida, verifica-se uma perda de 81 kg de N-NH₃ ha⁻¹, ou seja, 15% menor em relação a ureia sem revestimento. Além das características desses adubos minerais mencionadas anteriormente, a não incorporação desses no solo também pode ter favorecido as maiores perdas de N, pois o adubo ficou mais susceptível às variáveis ambientais como temperatura e precipitação.

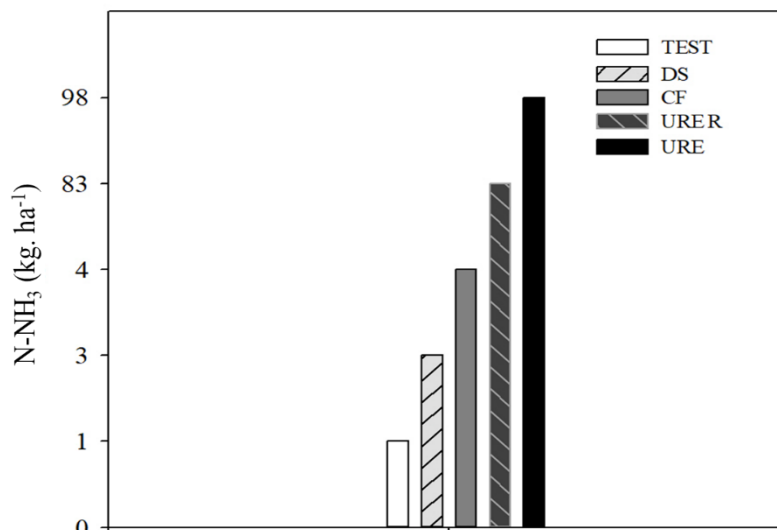


Figura 7. Perdas acumuladas de N-NH₃ após aplicação das fontes nitrogenadas.

Nos tratamentos controle e DS, houve uma estabilização das perdas para todos os tempos de avaliação, nesses tratamentos foram verificadas perdas acumuladas de 0,96 e 2,8 kg N-NH₃ ha⁻¹ volatilizado respectivamente (figura 7), com perdas para o DS representando apenas 2% do N aplicado. Dentre as fontes orgânicas, a maior perda de N por volatilização foi observada para o tratamento cama de frango, da ordem de 2,5% superior quando comparada com o DS. Essa diferença pode estar relacionada à composição física do adubo, uma vez que a cama de frango apresenta consistência sólida e o dejetos suíno é líquida. A textura arenosa da área de estudo pode ter favorecido a percolação do dejetos suíno, dessa forma o próprio solo e a palhada presente atuam como barreiras naturais, reduzindo as perdas do N pelo processo de volatilização (Viero et al., 2014). Resultados semelhantes foram observados por Costa et al. (2014) ao avaliarem os efeitos dos métodos de aplicação de esterco suíno na volatilização da amônia. Os autores observaram que além da diminuição da volatilização devido a percolação do dejetos suíno, foi formada uma barreira na superfície que também contribuiu para a permanência do nitrogênio no solo.

4.10 Produtividade da cana-planta (1^o ciclo)

Os dados de produtividade da cana-planta, correspondentes ao ano 1, são apresentados na Figura 8. No primeiro ano foram avaliadas três cultivares de cana-de-açúcar, (RB 867515, RB 92579 e RB 863129), submetidas à adubação de base com P e K, conforme descrito anteriormente. Nessa avaliação foi observada diferença significativa para produtividade ($p < 0,05$), em que para a cultivar RB 867515 observou-

se um rendimento médio total de 101 t colmos ha⁻¹, seguida pela RB 92579 para qual verificou-se uma produção de 91 t colmos ha⁻¹ e RB 863129 de 72 t colmos ha⁻¹.

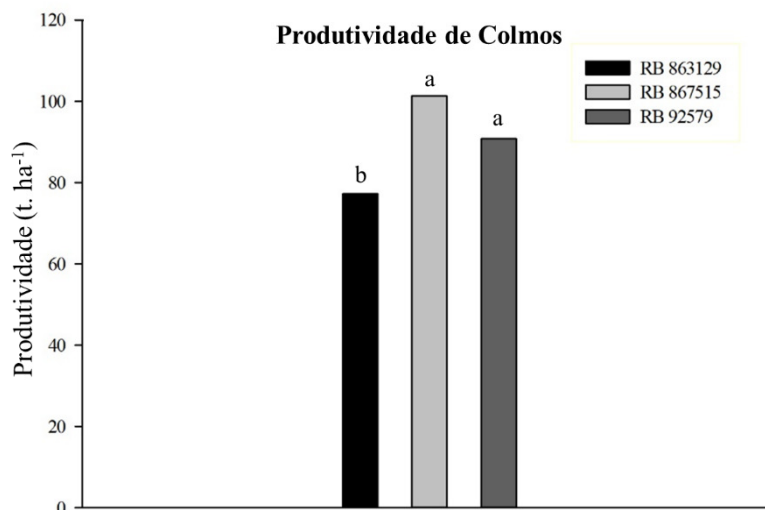


Figura 8. Produtividade das cultivares de cana-de-açúcar para o Ano 1 (cana-planta). Letras diferentes apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

A produtividade da cana-de-açúcar pode estar relacionada a inúmeros parâmetros, sendo um deles a genética do cultivar. Deste modo, a escolha de cultivares que apresentem aptidão genética voltadas à tolerância a seca se torna um fator importante para a melhor produtividade do canavial. Rener et al. (2012), relatam que a variedade RB 867515, apresenta grande rusticidade e sistema radicular profundo, características que favorecem a absorção de água e nutrientes, principalmente do N, deste modo essas características refletem diretamente no seu potencial de produtividade em solos com baixa fertilidade natural, e com menor disponibilidade hídrica.

Trabalhos realizados por Pires et al. (2010) e Muraro et al. (2011) observaram que as cultivares RB 867515 e RB 92579 apresentaram as maiores produtividades com valores médios de 100 e 98 t ha⁻¹ respectivamente, sendo que esses resultados corroboram com os observados neste estudo. Deste modo, pelo fato de no primeiro ano de avaliação a cultivar RB 867515 ter apresentado os melhores resultados para as condições edafoclimáticas locais, esta foi selecionada para ser avaliada durante o segundo ano experimental, com a aplicação dos tratamentos com as fontes orgânicas e minerais de N.

4.11 Produtividade da primeira-soca (2^o Ciclo)

Com relação à produtividade da cultivar RB 867515 na primeira soca, após adubação com fontes orgânicas e minerais, foi observado que os adubos orgânicos propiciaram produtividade semelhante à obtida pelos adubos minerais (Figura 9). Por exemplo, para os tratamentos ureia revestida e dejetos suíno, não foram verificadas diferenças entre os mesmos ($p > 0,05$), com valores de 92 e 93 t colmos ha^{-1} respectivamente. Os resultados obtidos com essas duas fontes, não apresentaram diferença significativa quando comparados aos dados obtidos com a aplicação da ureia sem revestimento, que foi de 88 t colmos ha^{-1} . No tratamento com ureia foram verificados resultados semelhantes, não tendo sido observadas diferenças significativas quando comparada aos resultados obtidos com a aplicação de cama de frango (85 t colmos ha^{-1}).

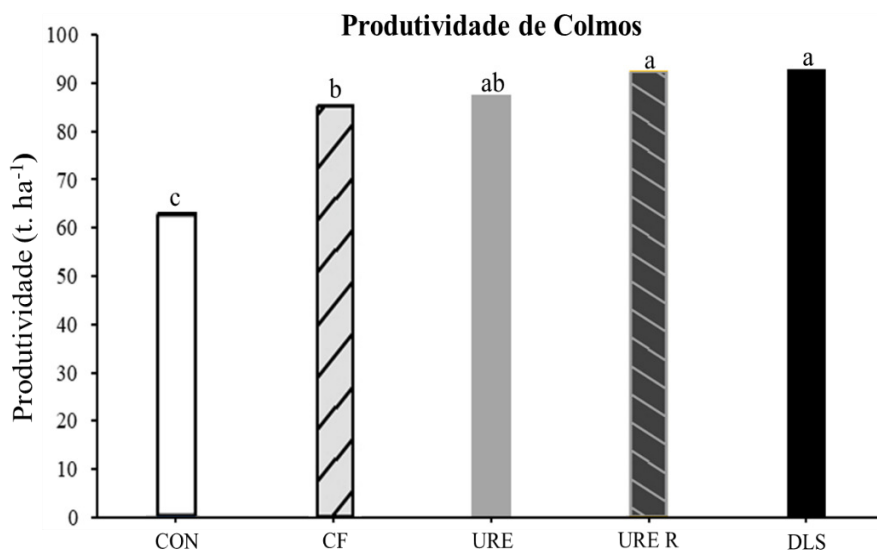


Figura 9. Produtividade da cultivar de cana-de-açúcar para o Ano 2 (cana-soca). Letras diferentes apresentam diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tais resultados, apresentam similaridade aos encontrados por Ramos et al. (2011) e Nolla et al. (2015) que não verificaram diferenças significativas na produtividade da cana-de-açúcar entre tratamentos submetidos às adubações orgânicas e minerais. No entanto, Kumar et al. (2012) ao avaliarem a produtividade do híbrido de cana-de-açúcar submetida à adubação orgânica e mineral, observaram um aumento na produtividade de 16,2% para os tratamentos com adubação orgânica em comparação com os tratamentos que receberam adubação mineral. Ao avaliarem esterco animal como fonte de adubação orgânica na cultura de cana-de-açúcar, Bokhtiar et al. (2015) observaram rendimentos

superiores aos valores encontrados neste trabalho, de 108,4 t ha⁻¹, o que correspondeu a um aumento de 25% quando se utilizou a adubação orgânica em relação ao tratamento controle.

Ao comparar as produtividades obtidas com a aplicação das fontes orgânicas, foi observado que o dejetos suíno, proporcionou uma maior produtividade da cana-de-açúcar, em relação à cama de frango. Esse fato pode ser explicado pelas menores perdas de N que esta fonte apresentou (Figura 6). Já a cama de frango, aplicada sem incorporação e com consistência sólida, favoreceu maiores perdas de N por volatilização, o que reduziu a disponibilidade de nutrientes, principalmente o N, o qual é exigido pela cultura em grandes quantidades a partir do segundo ciclo.

É importante salientar, que todos os adubos utilizados proporcionaram uma produtividade média por hectare superior à média nacional de 76 t ha⁻¹ (Conab 2019). Esse padrão se deve ao manejo adequado implementado, com adubação, colheita sem queima e irrigação.

4.12 Custos Operacionais

Os custos operacionais estimando os gastos para adubar 1 hectare com cada um dos adubos utilizados nesse estudo (Tabela 7) demonstraram que os valores estimados para adubação com as fontes orgânicas dejetos suíno e cama de ave são inferiores aos para a adubação mineral. Dessa forma, a substituição da adubação mineral pela orgânica, pode ser uma alternativa viável para o produtor de cana-de-açúcar, uma vez que as fontes orgânicas podem se encontrar disponíveis na propriedade sem ser necessários custos adicionais como aquisição e transporte desses adubos. Nesse contexto, os adubos orgânicos podem ser considerados insumos economicamente viáveis quando comparados aos adubos químicos, e além disso, também apresentam maior vantagem quando consideram-se os benefícios ambientais que esses adubos podem representar em detrimento à utilização de adubos minerais para o meio ambiente.

Tabela 6. Custos de compra e transporte das fontes nitrogenadas.

Adubos	N ha ⁻¹	Quantidade	Frete* (R\$)	Valor adubo (R\$)	Total (R\$)
URE	120 kg	280 kg	14,30	507,00	521,00
URE R.	120 kg	280 kg	14,30	1520,00	1534,30
DLS	120 kg	0,75 m ³	7,50**	187,00	194,50
CF	120 kg	300 kg	9,00***	60,00	69,00

URE= ureia; URE R= ureia revestida; DLS = dejetos líquidos suínos; CF= cama de frango; S= Sem frete.

*Frete equivalente ao percurso de 100 km por hectare fertilizado; **Valor calculado a partir do transporte em caminhão tanque com capacidade máxima de 30 m³, sendo equivalente a fertilização de 40 hectares;

***Valor calculado a partir do transporte em caminhão caçamba com capacidade máxima de 10 toneladas, sendo equivalente a fertilização de 33 hectares.

5 CONCLUSÃO

O uso de adubos orgânicos (cama de frango e dejetos suínos) como fonte de N promoveu melhorias nas frações química e física do solo, propiciando aumentos nos teores de COS, pH e decomposição da palhada, aliado a menores perdas por volatilização de amônia, e incremento da produtividade com menor custo, quando comparado aos adubos minerais (ureia e ureia revestida). Nesse cenário, pode-se inferir que a adubação mineral pode ser em parte substituída pela adubação orgânica, sendo economicamente viável e ambientalmente sustentável, representando uma boa alternativa para os produtores.

6 REFERÊNCIAS

- ANDREOLA, F. (2010). Propriedades químicas de uma terra roxa estruturada influenciadas pela cobertura vegetal de inverno e pela adubação orgânica e mineral. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 24, 3, 609-620.
- ARAÚJO, E. S. (2009) Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44, 7.
- ARRUDA, A. R. F., SILVA JR A. C., RIBEIRO B. T., SILVA A. A. & LANA RMQ. (2015) Aggregation and organic matter content in different tillage systems for sugarcane. *Afr J Agric Res*, 10, 281-8.
- ARTHUR, E., SCHJØNNING, P., MOLDRUP, P., TULLER, M., & DE JONGE, L. W. (2013). Density and permeability of a loess soil: Long-term organic matter effect and the response to compressive stress. *Geoderma*, 193, 236-245.
- BENINI, S., RYPNIEWSKI, W.R., WILSON, K.S.; MANGANI, S. & CIURLI, S. (2004). Molecular details of urease inhibition by boric acid: insights into the catalytic mechanism. *Journal of American Chemistry Society*, 2, 3714-3715.
- BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A., SILVA, C. A. (2002) Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil. In: MANZATTO, C. M.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 61-77.
- BOCKMAN, O. C. & KAARSTAD, O. (1999). *Agriculture, fertilizers and the environment*. Wallingford: CABI Publishing.
- BOCOCK, K. L. & GILBERT, O. J. W. (1997). The disappearance of litter under different woodland conditions. *Plant and soil*, dordrecht, 9, 179-185.
- BOKHTIAR, S. M., & SAKURAI, K. (2015). Effects of organic manure and chemical fertilizer on soil fertility and productivity of plant and ratoon crops of sugarcane. *Archives of Agronomy and Soil science*, 51, 325-334.

BORGES, A. L., SILVA, T. O., CALDAS, R. C. & ALMEIDA, I. E. (2012). Adubação nitrogenada para bananeira “terra” (Musa sp. AAB, subgrupo Terra). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24,189-193.

BREWER, C. E., CHUANG, V. J., MASIELLO, C. A., GONNERMANN, H., GAO, X., DUGAN, B., & DAVIES, C. A. (2014). New approaches to measuring biochar density and porosity. *Biomass and Bioenergy*, 66, 176-185.

BRITO, G. H. S., MANTOVANI, E. C., SEDIYAMA, G. C., COSTA, E. L. & DELAZARI, F. T. (2005). Produtividade de colmos e rendimento de açúcares da cana-de-açúcar em função de lâminas de água. *Irriga, Botucatu*, 17, 234 - 244.

BRITO, O.R., VENDRAME, P.R.S. & BRITO, R.M. (2005). Alterações das propriedades químicas de um latossolo vermelho distroférico submetido a tratamentos com resíduos orgânicos. *Semina: Ciência Agrária, Londrina*, 26, 33-40.

CANTARELLA, H. (1992). Perdas de nitrogênio por volatilização podem comprometer a adubação. *Petrofértil Rural*,13.

CANTARELLA, H. (2008). Ammonia volatilisation from uréase inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia Agricola*, 65, 397- 401.

CARVALHO, J. L. N., NOGUEIROL, R. C., MENANDRO, L. M. S., BORDONAL, R. D. O., BORGES, C. D., CANTARELLA, H., & FRANCO, H. C. J. (2017). Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. *Gcb Bioenergy*, 9, 1181-1195.

CHERUBIN, M. R., LISBOA, I. P., SILVA, A. G., VARANDA, L. L., BORDONAL, R. O., CARVALHO, J. L. & CERRI, C. E. (2019). Sugarcane straw removal: Implications to soil fertility and fertilizer demand in Brazil. *Bioenergy Research*, 12, 888-900.

CONAB. (2016). Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar. Safra 2016/2017. Quarto levantamento. v. 3.

CONAB. (2019). Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar. Safra 2018/2019. Quarto levantamento. v. 5.

COSTA, L. G., MARIN, F. R., NASSIF, D. S., PINTO, H., & LOPES-ASSAD, M. L. (2014). Simulação do efeito do manejo da palha e do nitrogênio na produtividade da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 18.

COSTA, M., SHIGAKI, F., ALVES, B., KLEINMAN, P., & PEREIRA, M. (2014). Swine manure application methods effects on ammonia volatilization, forage quality, and yield in the Pre-Amazon Region of Brazil. *Chilean journal of agricultural research*, 74, 311-318.

CRUZ, L. R., GERASEEV, L. C., DO CARMO, T. D., SANTOS, L. D. T., BARBOSA, E. A., COSTA, G. A., & DOS SANTOS JUNIOR, A. (2014). Características agrônômicas e composição bromatológica de variedades de cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, 30.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. (2006). Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. In: FERNANDES, M.S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1-6.

DIEST, V. (1988). Volatilización del amoníaco en los suelos anegados, y sus repercusiones em el rendimiento del arroz. In: Niticiarios de la comisión internacional del arroz, FAO, 37, 109.

DURIGON, R. (2002). Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 983-992.

EMBRAPA. (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro.

EMBRAPA. (2013). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ªed. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 353.

FARIA, L. D. A., NASCIMENTO, C. A. C. D., VENTURA, B. P., FLORIM, G. P., LUZ, P. H. D. C., & VITTI, G. C. (2014). Higroscopicidade e perdas de diferentes fontes de nitrogênio por volatilização de amônia em ureia revestida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 942-948.

FERNANDES, R. W., Andrade, R., MACEDO R. Y., SILVA, N. S. A. & RIBEIRO, V. T. (2013). Alterações químicas do solo com o uso de lama vermelha e benefícios da associação com dejetos de animais. *Revista Geológica*, 26, 81-95.

FONSECA, K. R. L., SCHMID, L. P., MEDEIROS, J. C., MIELEZRSKI, F., & DALLA ROSA, J. (2016). Organic fertilization: Answer in the sugarcane development (*Saccharum officinarum* L.). *Journal of Experimental Agriculture International*, 1-6.

FONTES, P. C. R., & Fontes, R. R. (2015). Efeito da aplicação de fósforo no solo e nas folhas sobre a produtividade da batata. *Ceres*, 38.

FORINI, Q., MEYLENES, R. W., HAMILTO, E. R. C. & RODRIGUEZ, M. H. P (2013). Genetic handling of recalcitrant lignin and improvements in ethanol production. *Biotechnology*, 4-23

FORONI, C. E., VITTI, A. C., GAVA, G. J. C., MANZONI, C. S., PENATTI, C. P., & TRIVELIN, P. C. O. (2013). Degradação da palha (15N) de cana-de-açúcar em dois anos consecutivos. 5, 53 - 61.

FORTES, C. (2012). Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in São Paulo state, Brazil. *Biomass and Bioenergy*, Elsevier, Amsterdam, 42,189-198.

FRANCO, H. C. J. (2007) Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. *Sociedade dos Técnicos Açucareiros Alcooleiros do Brasil*, Piracicaba, 8, 8, 3-6.

FREITAS, D. A. F., SILVA, M. L. N., CARDOSO, E. L. & CURI, N. (2012). Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. *Revista Ciência Agronômica*, 3, 417-428.

GUAN, F., TANG, X., FAN S. & ZHAO J, PENG C. (2015) Changes in soil carbon and nitrogen stocks followed the conversion from secondary forest to Chinese fir and Moso bamboo plantations. *Catena*, 133, 455-60.

GUIANINI, R. P.,MACEDO, J. E., CRIVELLI, G. B., SILVA, E. V. V., VIEIRA, F. F., & DUTRA S. (2014). Influência da adubação orgânica e mineral sob o rendimento agrícola de variedades de cana-de-açúcar . *Journal of Development*, 4, 1345-1365.

GUIMARÃES, G., LANA, R. D. P., REIS, R. D. S., VELOSO, C. M., SOUSA, M. R. D. M., RODRIGUES, R. C., & CAMPOS, S. D. A. (2016). Production of sugarcane fertilized with chicken litter. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 17.

HABIB, F., JAVID, S., SALEEM, I., EHSAN, S., & AHMAD, Z. A. (2014). Potassium dynamics in soil under long term regimes of organic and inorganic fertilizer application. *Soil & Environment*, 33.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (2020). Banco de dados meteorológicos para educação e pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>.

KANEKO, F. H., FERREIRA, J. P., LEAL, A. J. F., BUZETTI, S., REIS, ANDRÉ R. & ARF, O. (2019). Ammonia volatilization in response to coated and conventional urea in maize crop field. *Bioscience Journal*, [s.l.], 713-722.

KE, J., XING, X., LI, G., DING, Y., DOU, F., WANG, S. & CHEN, L. (2017). Effects of different controlled-release nitrogen fertilisers on ammonia volatilisation, nitrogen use efficiency and yield of blanket-seedling machine-transplanted rice. *Field Crops Research*, 205, 147-156.

KIEHL, J. E. (1985). Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 492.

KONZEN, E. A. & ALVARENGA, R. C. (2017). Fertilidade de solos: adubação orgânica. In: CRUZ, J. C. (Ed.). *Cultivo do milho*. 3. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 33 2017. (Sistemas de produção, 1). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/69847/1/Fertilidade-solos-1.pdf>. Acesso em: 29 de Abril de 2020.

KÖRSCHENS, M., ALBERT, E., ARMBRUSTER, M., BARKUSKY, D., BAUMECKER, M., BEHLE-SCHALK, L., & HOFFMANN, S. (2013). Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59, 1017-1040.

KUMAR, N. (2012). Productivity, quality and nutrient balance in spring sugarcane (*Saccharum spp. hybrid complex*) under organic and inorganic nutrition. *Indian Journal of Agronomy*, 57, 68-73.

LANDELL, M. G. A., ALVAREZ R., ZIMBACK, L., CAMPANA M. P., Sila, M. A., PEREIRA, J. C. V. N. A., PERECIN D., GALLO, P. B., MARTINS, A. L. M., KANTHAC, A., FIGUEIREDO P. and VASCONCELOS C. M. (1999). Avaliação final de clones IAC de cana-de-açúcar da série 1982, em Latossolo Roxo da Região de Ribeirão Preto. *Bragantia*, 58, 1-13.

LIU, G., HOU, P., XIE, R., MING B., WANG, K. & LI S. (2019). Nitrogen uptake and response to radiation distribution in the canopy of high-yield maize. *Crop Science*, 59, 1236-1247.

LOZADA, C. M. C. (2015). Índice de qualidade do solo para a avaliação do impacto de diferentes usos e manejos e sua aplicação em uma área rural de Planaltina (DF). Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília. Maio.

MALAVOLTA, E. (1992). ABC da análise de solos e folhas. São Paulo: Agronômica Ceres, 124.

MALTA, A. O., PEREIRA, W. E., TORRES, M. N. N., DE MALTA, A. O., DA SILVA, E. S., & DA SILVA, S. I. A. (2019). Atributos físicos e químicos do solo cultivado com gravioleira, sob adubação orgânica e mineral. *Pesquis. Agro.*, 2, 11-23.

MASSARIN, F., GURPILHARES, D. B., BAFFA, D. C. F., BARBOSA, M. H. P.; CARVALHO, W., FERRAZ, A. & MILAGRES, A. M. F. (2011). Chemical composition and enzymatic digestibility of sugarcane clones selected for varied lignin content. *Biotechnology for Biofuels*, 1-10.

MECABÔ J, J., BERTOL, I., BARBOSA, F. T., & OSELAME, G. D. S. (2014). Erosão hídrica influenciada por uma aplicação de dejetos líquidos de suínos no solo cultivado em semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 1601-1611.

MELGAR, R., CAMOZZI, M.E. & FIGUEROA, M.M. (2009). Guia de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. Buenos Aires: Instituto Nacional de tecnologia agropecuária, 13-25.

MELLO, F. A. F. de; BRASIL SOBRINHO, M. de O. C; ARZOLA, S; SILVEIRA, R. I; COBRA NETTO, A; KIEHL, J. de C. (1983). Fertilidade de Solos. São Paulo: Nobel, 400.

MENEZES, J. F. S. (2017). Estimativa da composição química de dejetos líquidos de suínos da região de Rio Verde-GO em função da densidade. Rio Verde: FESURV, 28, (Boletim Técnico, 5).

MEURER, E. J. (2017). Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS et al. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 65-90.

MOREIRA, C. R., SIQUEIRA, M. M. & TAVARES, M. H. F. (2014) Influência da adubação orgânica sobre algumas propriedades físicas do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO DO SOLO E DA ÁGUA, 13, Ilhéus, BA, Anais...Ilhéus, Bahia.

MOZZONCINI, M., SAPKOTA, T. B., BARBERI, P., ANTICHI, D., & RISALITI, R. (2011). Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. *Soil and tillage research*, 114, 165-174.

MURARO, T. M., MARTINS, E. T., NOLA, E. F., GENTIL, A., & LOPES, T. L. (2011). Chemical quality of sugarcane varieties under fertilization with soluble amines. *Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13.

NASCIMENTO, R. T., GENNY, G. E., ALVES, Q. V., GONICHI, R. & COVISC. W. T. (2014). Mecanismos de decomposição da matéria residual no solo submetidos a fertilização verde na cultura da cana-de-açúcar. *African Journals Onl*, 34, 432-443.

NOLLA, T. C. C., & MEDEIROS, F. W. B. (2015). Volatilização de N-NH₃ na cultura de cana-de-açúcar submetida a adubação organomineral. *PUBVET*, 2, 44-57.

OLIVEIRA, D M. S.; LIMA, R P. & VERBURG, E E. J. (2015). Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquidos suínos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [s.l.], 19, 3.

OLIVEIRA, L. B. D., TIECHER, T., QUADROS, F. L. F. D., TRINDADE, J. P. P., GATIBONI, L. C., BRUNETTO, G., & SANTOS, D. R. D. (2014). Formas de fósforo no solo sob pastagens naturais submetidas à adição de fosfatos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 867-878.

OLIVEIRA, M.W. (1999). Decomposition and release of nutrients from sugarcane straw in the field. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 34, 2359-2362.

OLIVEIRA, P. A. V.; MARTINS, R. R.; PEDROSO, D.; LIMA, G. J. M. M.; LINDNER, E. A.; BELLI FILHO, P.; CASTILHO JUNIOR, A. B.; SILVEIRA, V. R.; BALDISERA, I.; MATTOS, A. C.; GOSMANN, H.; CRISTMANN, A.; BONETT, E.; HESS, A. (2013). Manual de manejo e utilização de dejetos de suínos. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves-CNPSA, 188.

OTTO, R., ZAVASCHI, E., NETTO, G. M. S., MACHADO, B. A. & MIRA, A. B. (2017). Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers applied to sugarcane straw. *Revista Ciência Agronômica*, [s.l.], 48, 45-56.

PACA – PROFISSIONAL ALLIANCE FOR CONSERVATION AGRICULTURE. Soil degradation. Education series, n.2. 9p. Disponível em: <<http://www.conserveagri.org/content.htm>>.

PAN, B., LAM, S. K., MOSIER, A., LUO, Y., & CHEN, D. (2016). Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: a global synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 232, 283-289.

PARRON, L. M., GARCIA, J. R., OLIVEIRA, E. B., BROWN, G. G. & PRADO, R. B. (2015). Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. Embrapa Cerrados. Brasília – DF.

PAULETTI E. S., QUEIROZ, A. C., PAULINO, M. F., CECON, P. R.; VALADARES, R. R., DIAS, F. L. F. & VITTI. E A. C. (2008). Problemas nutricionais dos solos nas novas fronteiras canavieiras. *Revista Idea News* 8, 78-90.

PIRES, T. S., NETO, Q. N. P., TALARYNI, A. S., MARIN, W. T., & BORAD, E. (2010). Yield of sugar cane cultivars and their use in animal supplementation. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 31, 42-49.

- POTRICH, D. C., MARCHETTI, M. E., POTRICH, D. C., ENSINAS, S. C., SERRA, A. P., DA SILVA, E. F., & DE SOUZA, N. H. (2014). Decomposition of sugarcane crop residues subjected to different nitrogen doses. *Semina: Ciências Agrárias*, 35, 1751-1759.
- RAMOS, E. G. W., FICER, E., BRUNEY, E. Q. , TRINDADE, T., & MACEDO, M. R. D. (2011). Effects of organic fertilization on the quality and agricultural yield of sugarcane in the first crop. *Revista Brasileira de Ciência do Animal*, 23, 87-88.
- RAMOS, N. P., YAMAGUCHI, C. S., PIRES, A. M. M., ROSSETTO, R., POSSENTI, R. A., PACKER, A. P., & ANDRADE, C. A. D. (2016). Sugarcane straw decomposition collected at different levels after mechanical harvesting. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 1492-1500.
- RAMOS, R., STANCATTE, R., VIEIRA, H. B., ROSSI, P., DEGASPARI, I., GOMES, G. V., & RAMOS, N. P. (2015). Dinâmica de decomposição de palha sob taxas variadas de recolhimento em canavial de segunda soca-Guaíra-SP. In *Embrapa Meio Ambiente-Artigo*. Ribeirão Preto: APTA: IAC, 2015. RE 062. 7.
- RENER, G. R. E., TAGANINY, D., GERADY, S. E. & GONÇALVES, A. N. (2012). selection of sugarcane cultivars for the industry. *Forest Ecology and Management*, 431, 37-58.
- RIBEIRO, D. O., CARBALLAL, M. R., SILVA, A. J., LEAL, A. J. F., CAETANO, J. O., RODRIGUES, A. A., MARTINS FILHO, M. B. (2017). Organic fertilization in soy farming in a tropical region. *Australian journal of basic and applied sciences*, 18-22.
- RICHETTI, A. & CECCON, G. (2015). Viabilidade econômica do milho safrinha e da braquiária em sistemas integrados. In: *Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 13., 2015, Maringá. 30 anos de inovação em produtividade e qualidade. Maringá: ABMS.
- ROCHA, A. A., ARAÚJO, E. S., SANTOS, S. S., GOULART, J. M., ESPINDOLA, J. A. A., GUERRA, J. G. M., ALVES, B. J. R. & ROUWS, J. R. C. (2019). Ammonia Volatilization from Soil-Applied Organic Fertilizers. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], 43, 56-76.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; CHANTIGNY, M.H.; MACDONALD, D.; BISSONNETTE, N. & BERTRAND, N. (2009). Ammonia volatilization following surface application of urea to tilled and no-till soils: A laboratory comparison. *Soil Tillage Res.*, 103, 310-315.

SANTOS, A. R., VALLE, F.R., SANTOS, J. A. G. (1991). Avaliação de parâmetros cinéticos da hidrólise de ureia em solos do sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Campinas, 15, 309 – 313.

SAS. (2015). Institute Inc. Statistical Analysis System user's guide. Version 9.0. Cary Statistical Analysis System Institute. 513.

SHAVIV, A. (2001). Advances in controlled-release fertilizers. *Advances in Agronomy*. San Diego, 71, 1-49.

SHIGAKI, F. & DELL, C. J. (2015). Comparison of low-cost methods for measuring ammonia volatilization. *Agronomy Journal*, 107, 1392-1400.

SILVA, P. H. M., POGGIANI, F., LIBARDI, P. L., & GONÇALVES, A. N. (2013). Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: initial growth and nutrient cycling. *Forest Ecology and Management*, 301, 67-78.

STANCATTE, R.; RAMOS, R.; MORAES, G. de Cia.; ROSSI, P.; VIEIRA, H. B.; ROSSETTO, R.; PACKER, A. P.; RAMOS N. P. (2015). Decomposição de palha de cana-de-açúcar em cultivo de primeira soca - Iracemápolis – SP. *AGROENERGIA – Artigo*. Ribeirão Preto: APTA: IAC.

STIPP, S.R.; PROCHNOW, L.I. (2008). Maximização da eficiência e minimização dos impactos ambientais da adubação nitrogenada. Piracicaba: Potafós, 01-07.

STRECK, E. V., KÄMPF, N., DALMOLIN, R. S. D. KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. & SCHNEIDER, P. *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS, 222.

SUN, H., ZHANG, H., POWLSON, D., MIN, J., & SHI, W. (2015). Rice production, nitrous oxide emission and ammonia volatilization as impacted by the nitrification inhibitor 2-chloro-6-(trichloromethyl)-pyridine. *Field Crops Research*, 173, 1-7.

TIAGO P., J. (2012). Corn productivity, chemical and physical properties of an oxisol influenced by the use of poultry litter. *Scientia Agraria Paranaensis*, 11, 51-62.

VEZZANI, R. B., GAMA, C., AMOS, V. E., GALVÃO, P., & PEREIRA, E. A. (2011). Varieties of sugarcane harvested under different managements: Study on changes in soil attributes. *Revista Brasileira Ambiental*, 43, 939-947.

VIERO, F., BAYER, C., FONTOURA, S. M. V. & MORAES, R. P. (2014) Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers in no-till wheat and maize in southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], 38, 5.

VITTI, A. C., TRIVELIN, P. C. O., CANTARELLA, H., FRANCO, H. C. J., FARONI, C. E., OTTO, R., & TOVAJAR, J. G. (2008). Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(SPE), 2757-2762.

WEINARTNER, M. A., ALDRIGHI, C. F. S. & MEDEIROS, C. A. B. (2016). *Práticas Agroecológicas: Adubação Orgânica*. Embrapa, Pelotas: SC,10.

WENDLING, B., VINHAL-FREITAS, I. C., DE OLIVEIRA, R. C., BABATA, M. M., & BORGES, E. N. (2012). Soil density, aggregation and porosity in cerrado conversion areas in the pine forest, pasture and plant direto. *Bioscience Journal*, 28.

YADAV, B. K., & SIDHU, A. S. (2016). Dynamics of potassium and their bioavailability for plant nutrition. In *Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture*. Springer, New Delhi, 187 – 201.

YAMAGUCHI, C., RAMOS, N., PACKER, A., de ANDRADE, C. A., & HIRANO, R. (2012). Dinâmica de decomposição de palhada de cana-de-açúcar. In *Embrapa Meio Ambiente Artigo*, Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 23, 56-43.