



**Cultivo da *Urochloa brizantha* cv. Marandu em função do uso de
resíduos orgânicos, biocarvões e adubação nitrogenada**

Marcelo Rodrigo Alves

Professor Doutor, UNOESTE, Brasil
marceloalves@unoeste.br

Janardelly Gomes de Souza

Doutoranda, UNOESTE, Brasil
janardelly.jgs@gmail.com

Joice Moreira Franco

Mestre em Meio Ambiente, UNOESTE, Brasil
joice.mf@hotmail.com

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar se aplicações de resíduos orgânicos e biocarvões individuais ou combinados com adubação nitrogenada (ADN) interferem no desenvolvimento da *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Foi instalado um experimento em delineamento inteiramente casualizados (DIC), com esquema fatorial 7x4 com 5 repetições, compostos por: solo controle(SC); solo+300g de biossólido puro(BP); solo+100g de bagaço de cana-de-açúcar puro(BCP); solo+150g de biossólido puro+50g de bagaço de cana-de-açúcar puro(BP+BCP); solo+300g de biocarvão de biossólido(BB); solo+100g de biocarvão do bagaço da cana-de-açúcar(BBC); solo+150g de biocarvão de biossólido+50g de biocarvão do bagaço de cana-de-açúcar(BB+BBC); e 4 doses de adubação nitrogenada mineral: 0; 12,5; 25 e 50 mg dm⁻³. Foram realizados 4 cortes aos 60, 88, 116 e 144 dias após o plantio da *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Posteriormente, foram avaliados o desenvolvimento do capim Marandu e os atributos químicos do solo, após o cultivo. Foi realizada análise de variância (software SISVAR), comparação de médias (teste Scott-Knott p<0,05), correlação de Person (teste t p<0,05) e uma análise multivariada de componentes principais das variáveis químicas do solo (software R). Em relação a produtividade da *Urochloa brizantha* cv. Marandu, o solo com inserção de BP na dose correspondente a 100 kg de N ha⁻¹ evidenciou maiores valores. O solo com adição de BP e BB, individual ou combinado com ADN, proporcionou aumento no pH, CTC e saturação por bases. O maior teor de matéria orgânica e carbono orgânico foi obtido no solo com inserção de BCP, individuais ou combinado com ADN.

Palavras-chave: Biossólido, Bagaço de Cana-de-açúcar, Pirólise, Biocarvão, Fertilidade do Solo.

1 INTRODUÇÃO

Por meio da aplicação de resíduos orgânicos em solos agrícolas, o emprego de condicionador de solo, produtos que podem promover melhoria nos atributos químicos, físicos ou biológicos do solo (ALMEIDA, 2008), vem se tornando um método de gestão estratégica atrativo, por poder substituir parcialmente o uso de fertilizantes químicos, como fosfato e fertilizantes nitrogenados e, assim, reduzir custos e gasto energético (YAGMUR et al., 2017; MELO et al., 2018; DHANKER et al., 2021). Esses fertilizantes químicos por mais que forneçam nutrientes prontamente disponíveis as plantas, aumentando sua produtividade, também podem deteriorar a saúde do solo se usado por muito tempo (HERNANDEZ et al., 2016).

Segundo estudo coordenado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2015) cerca de 30% dos solos mundiais estão degradados. Sabe-se que a degradação do solo implica na diminuição da capacidade produtiva e, no caso dos solos agrícolas ocorre, principalmente, em função do manejo inadequado desse recurso.

Alguns resíduos urbanos e agroindustriais são utilizados como condicionadores de solos como forma de tentar aumentar ao máximo a reciclagem, minimizando o descarte inadequado e dando um destino sustentável. Nesse contexto têm-se o bagaço de cana-de-açúcar, resíduo agroindustrial gerado em grandes quantidades. E, o lodo de esgoto, resíduo sólido urbano produzido em grandes quantidades nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's), gerado no processo de tratamento de esgoto sanitário, por processo de decantação primária, biológico ou químico (BRASIL, 2020), sendo que quando tratado e processado o lodo recebe o nome de biossólido (BARBOSA; FILHO, 2006). No Brasil a produção de biossólido atinge cerca de 150 a 220 mil toneladas de matéria seca por ano (MANCA et al., 2020).

O uso do biossólido em solos é uma opção de destinação ambientalmente adequada e se enquadra nos princípios de reciclagem de resíduos e em consonância com a Lei nº12.305 de 2010 (BRASIL, 2020). Pois, é um material orgânico rico em nutrientes, como o nitrogênio e carbono orgânico, possui ainda em sua composição fósforo e alguns elementos como ferro,

cobre, manganês e zinco (LOBO et al., 2013). Esses elementos são importantes para o crescimento das plantas, sendo assim, quando utilizado para fins de condicionante de solo pode melhorar a fertilidade, proporcionando melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (SCOTTI et al., 2016). Podendo ainda contribuir na formação de agregados estáveis do solo, melhora a aeração do solo, a exploração da água e a capacidade de troca de cátions (ALVARENGA et al., 2017; DHANKER et al., 2021). De modo que a inserção do biossólido no solo configura uma prática de desenvolvimento de sistema agrícola sustentável.

No entanto, segundo a Resolução Federal do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA n°498 de 2020, há limitações para a utilização do biossólido em solos agrícolas. Dessa forma, a transformação desse resíduo em biocarvão, subproduto rico em carbono, através do processo de conversão termoquímica, pirólise – onde a biomassa é degradada na ausência parcial ou total de oxigênio (LEHMANN et al., 2011; OK et al., 2015), torna-se uma boa opção de manejo. Pois, esse processo transforma o biossólido em um material livre de organismos patogênicos, ricos em nutrientes como nitrogênio, fósforo, cálcio e zinco (PAZ-FERREIRO et al., 2018; FACHINI; FIGUEIREDO, 2022).

A aplicação de biocarvão pode modificar solos ácidos e reduzir a perda de nitrogênio (CLOUGH; CONDRON, 2010; LAN et al., 2017; HOU et al., 2021). Podendo ainda melhorar os atributos de solos degradados e de baixa fertilidade, aumentando a produtividade das culturas (EL-NAGGAR et al., 2019). Segundo Trazzi et al. (2018) o biocarvão no solo pode aumentar o pH, a capacidade de troca catiônica e carbono orgânico, propiciar refúgio para microbiota, aumentar a disponibilidade de nutrientes pela alteração da biota do solo e, melhorar a estrutura do solo. Neste sentido o presente estudo teve como objetivo avaliar se aplicações de resíduos orgânicos e biocarvões, individuais ou combinados com adubação nitrogenada, interferem nos atributos químicos do solo e no desenvolvimento da *Urochloa brizantha* cv. Marandu.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de desenvolvimento do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação aberta, localizada a 22°06'57.7 de latitude sul e 51°27'03.6 de longitude oeste, no período de dezembro de 2019 a sete mbro de 2020. Segundo a classificação de Koppen o clima da região é CWA com verão úmido e inverno seco, com duas estações definidas, um período de verão-outono, mais quente (temperaturas médias das máximas entre os 27 °C e 29°C) e muito chuvoso (entre 150 e 200 mm mensais) e, invernos amenos (com temperaturas médias das mínimas entre os 16°C e 18°C) e menos úmidos (chuvas mensais entre os 20 e 50 mm).

2.2 Aquisição dos resíduos orgânicos, produção e caracterização de biocarvões

O biossólido utilizado no experimento foi fornecido pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, unidade de Presidente Prudente – SP. Ele é obtido por processo de tratamento de lodo ativado e, posteriormente é submetido a secagem térmica do resíduo para redução dos patógenos. E, o bagaço de cana-de-açúcar foi proveniente de uma

usina instalada no Pontal do Paranapanema. Os biocarvões foram produzidos, separados, a partir do biossólido e do bagaço de cana-de-açúcar por meio do processo de pirólise lenta, 350°C a 30 minutos, em reator de laboratório do tipo leito fixo no Laboratório de Química da Universidade do Oeste Paulista (SOUZA et al., 2021).

Para a caracterização dos resíduos e biocarvões foram realizadas análises químicas. O pH e a condutividade elétrica foram determinados segundo a metodologia proposta por Rajkovich et al. (2012). A capacidade de troca catiônica seguiu o método do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2007). O teor de matéria orgânica foi determinado pelo método da mufla e, através do valor da matéria orgânica foi estimado o carbono orgânico. Os teores de nutrientes, exceto nitrogênio (método Kjeldahl), foram determinados conforme os métodos descritos por Malavolta, Vitti & Oliveira (1997), por meio da técnica de espectrometria de absorção atômica, espectrômetro de UV-visível a 420nm e fotômetro de chama no Laboratório de Tecidos Vegetais da Universidade do Oeste Paulista (Tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização dos resíduos orgânicos e biocarvões antecedente a instalação do experimento

| | pH | C.E | MO | C.Org | N | C/N | CTC | | |
|--|-------|---------------|--------------------|--------|--------------------|--------|------------------------|--|--|
| | | μS | g dm^{-3} | | g kg^{-1} | | mmolc kg^{-1} | | |
| Biossólido (BP) | 12,02 | 1498,60 | 460,54 | 255,86 | 36,62 | 7,00 | 865,93 | | |
| Bagaço de cana-de-açúcar (BCP) | 6,10 | 266,48 | 925,92 | 514,40 | 2,32 | 221,72 | 112,39 | | |
| Biocarvão de Biossólido (BB) | 9,64 | 1036,00 | 327,52 | 181,96 | 27,52 | 6,61 | 725,14 | | |
| Biocarvão de Bagaço de cana-de-açúcar (BBC) | 8,11 | 291,40 | 864,75 | 480,40 | 4,92 | 97,64 | 52,00 | | |

| | P | K | Ca | Mg | S | Cu | Fe | Mn | Zn |
|--|--------------------|------|-------|------|------|---------------------|----------|--------|--------|
| | g kg^{-1} | | | | | mg kg^{-1} | | | |
| Biossólido (BP) | 5,16 | 1,78 | 13,94 | 6,52 | 3,66 | 129,66 | 5.775,47 | 85,94 | 370,22 |
| Bagaço de cana-de-açúcar (BCP) | 0,38 | 2,24 | 0,50 | 0,46 | 0,50 | 10,38 | 878,12 | 36,84 | 31,06 |
| Biocarvão de Biossólido (BB) | 5,69 | 1,90 | 14,58 | 6,82 | 3,50 | 157,16 | 5.315,18 | 108,10 | 386,10 |
| Biocarvão de Bagaço de cana-de-açúcar (BBC) | 0,62 | 5,46 | 0,64 | 1,60 | 0,70 | 17,44 | 1.478,24 | 87,03 | 51,44 |

Fonte: Os Autores, 2023

Legenda: pH (Potencial hidrogeniônico); C.E (Condutividade elétrica); MO (Matéria orgânica); C.Org (Carbono Orgânico); N (Nitrogênio); C/N (relação carbono/nitrogênio); CTC (Capacidade de troca catiônica); P (Fósforo); K (Potássio); Ca (Cálcio); Fe (Ferro); Mn (Manganês); Zn (Zinco).

2.3 Coleta e caracterização físico-química do solo

O solo utilizado no experimento foi do tipo terra de barranco, coletado na camada de 0-20 cm de profundidade. As amostras de solos foram submetidas à análise granulométrica (EMBRAPA, 1997) e, análise química segundo Raj et al. (2001).

Mediante o resultado da análise física o solo obteve valores de 80,95% de areia, 5,2% de silte e 13,85% de argila, enquadrando-se na classe franco-arenosa. Já em relação aos parâmetros químicos do solo, observou-se que o pH apresentou um valor de 5,6 (CaCl_2), a Matéria orgânica e o Carbono orgânico total apresentaram valores de 12,3 e 7,2 g dm^{-3} , respectivamente. Já os teores de Fósforo e de sulfato foram de 20,3 e 0,1 mg dm^{-3} , respectivamente e o teores de Acidez potencial, Potássio, Cálcio, Magnésio foram respectivamente de 19,6; 2,1; 10,3 e 6,1 mmolc dm^{-3} . Os parâmetros calculados de Soma de bases, Capacidade de troca catiônica e Saturação por bases, foram, respectivamente de 18,5 e 38,1 mmolc dm^{-3} e 48,6%.

A definição da quantidade de resíduos a serem utilizados deu-se em função do volume de solo do vaso (10 dm^3), onde o nível do biossólido e seu respectivo biocarvão correspondeu a 3%. O bagaço de cana-de-açúcar e o biocarvão de bagaço a 1%. E as misturas dos resíduos e biocarvões a 2% do volume do solo do vaso. Para o cálculo da adubação nitrogenada aplicada nos vasos foi tomado como base a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura da *brachiaria* (RAIJ et al., 1997).

2.4 Delineamento experimental

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizados (DIC), em esquema fatorial 7×4 com 5 repetições, sendo que os tratamentos foram constituídos por: solo controle (SC); solo + 300 g de biossólido puro (BP); solo + 100 g de bagaço de cana-de-açúcar puro (BCP); solo + 150 g de biossólido puro + 50 g de bagaço de cana-de-açúcar puro (BP+BCP); solo + 300 g de biocarvão de biossólido (BB); solo + 100 g de biocarvão do bagaço da cana-de-açúcar (BBC); solo + 150 g de biocarvão de biossólido + 50 g de biocarvão do bagaço de cana-de-açúcar (BB+BBC); e 4 doses de adubação nitrogenada mineral (ADN): 0; 12,5; 25 e 50 mg dm^{-3} correspondente a 0, 25, 50 e $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$, por ciclo simulado de pastejo

Para o preparo dos vasos, utilizou-se recipientes de PVC, com capacidade de 15 L, os quais foram preenchidos com 10 dm^3 de solo e, mediante o resultado da análise química de solo foi realizado a aplicação e incorporação de 1 g de calcário dolomítico com objetivo de elevar a saturação por bases para 70%. Após a calagem, os vasos foram umedecidos e cobertos com sacos pretos, onde permaneceram incubados por 90 dias. Passados os 90 dias foi realizado a incorporação dos materiais ao solo, de acordo com o delineamento relatado anteriormente e, repetido o processo de incubação por mais 60 dias para então proceder a semeadura da *Urochloa brizantha* cv. Marandu numa densidade de 15 sementes por vaso. Aproximadamente 15 dias após a germinação das plantas foi realizado um desbaste deixando apenas as cinco plantas mais vigorosas e bem distribuídas por vaso.

No momento do plantio ainda foi realizada uma adubação com fósforo de 180 mg dm^{-3} , potássio de 150 mg dm^{-3} , boro de $1,4 \text{ mg dm}^{-3}$ e zinco de $1,7 \text{ mg dm}^{-3}$, as fontes utilizadas foram, respectivamente, superfosfatos simples (2.290 mg dm^{-3}), cloreto de potássio (302 mg dm^{-3}), ácido bórico (8 mg dm^{-3}) e sulfato de zinco ($8,5 \text{ mg dm}^{-3}$) que foram diluídos em 1.000 mL de água e aplicado nos vasos. A adubação nitrogenada nas doses testadas (0; 12,5; 25 e 50 mg dm^{-3} de N), foram aplicadas utilizando-se como fonte a ureia (0; 27,75; 55,5 e 111 mg dm^{-3} de uréia), diluídos em 1.000 mL de água e aplicado nos vasos após o desbaste. Todas as aplicações foram realizadas em dosagem única, com exceção da dose de 111 mg dm^{-3} que foi subdividida em duas aplicações, onde 50% foram aplicados junto com as demais e, os outros 50% aplicados 15 dias após a aplicação anterior. Isso foi realizado para evitar o efeito de toxicidade nas plantas pelo excesso de N.

A germinação ocorreu 10 dias após a semeadura da *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Quanto ao corte das plantas, foi realizado um primeiro corte de uniformização 45 dias após o desbaste. Posteriormente foram realizados mais três cortes (ciclo de pastagem simulado) com intervalo de 28 dias entre cada um, ou seja, 1º corte com 28 dias, o 2º corte com 56 e o 3º corte com 84 dias após o corte de uniformização, todos à altura de 5 cm da superfície do solo. Após o corte de nivelamento e o 1º e 2º corte foram repetidas as adubações nitrogenadas nas dosagens

já estipuladas, obedecendo o mesmo critério de aplicação descrito anteriormente. Para garantir ótimas condições de crescimento, as plantas foram irrigadas três vezes por semana, com 600 mL de água por vez, totalizando 1.800 mL de água por semana (cálculo com base na capacidade de campo de 60%).

No final do experimento foram realizadas coletas foliares e radiculares para realização das análises de massa seca. E, coletas de solo na profundidades de 0-10 cm para análise de fertilidade do solo. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Tecidos Vegetais e Laboratório de Análise Físico-Química de Solos da UNOESTE.

2.5 Parâmetros de avaliação do experimento

A análise de fertilidade do solo (determinação dos teores de pH, matéria orgânica, carbono orgânico, fósforo, enxofre, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, hidrogênio mais alumínio, boro, cobre, ferro, manganês e zinco) foi realizada segundo a metodologia descrita por Rajj et al. (2001) pelo Laboratório de Análises Físico-Química da UNOESTE, sendo que antes de iniciar as análises químicas, o solo foi destorroado e peneirado (2 mm).

Ao final de cada ciclo de pastagem simulada foi realizado o corte da parte aérea das plantas e determinado a massa verde do material contido em cada vaso, com auxílio de uma balança eletrônica de precisão. Posteriormente as amostras foram lavadas e secaram ao livre por 24h e, acondicionadas em sacos de papel para serem enviadas a estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, até atingirem massa constante e, pesadas para determinação da massa seca. O mesmo ocorreu para a parte radicular da *Urochloa brizantha* cv. Marandu.

2.6 Análise estatística

Os dados obtidos nos experimentos foram submetidos à análise de variância pelo software SISVAR. Para comparação de médias foi utilizado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Na análise de correlação de Pearson (software R) e regressão linear foi utilizado o teste t a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Foi realizada ainda uma análise multivariada de componentes principais das variáveis químicas do solo pelo software R.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

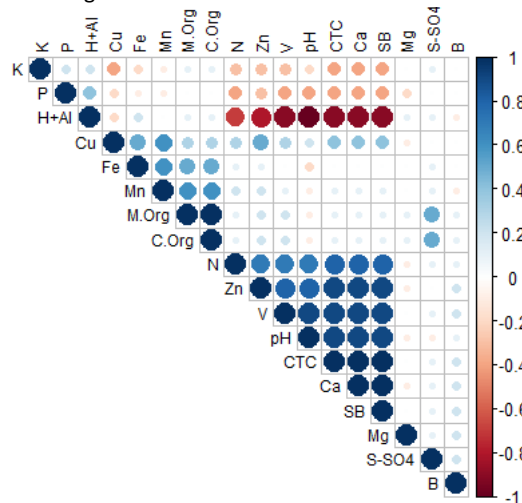
3.1 Correlação dos atributos químicos de solo com inserção de resíduos orgânicos e biocarvões sob doses de adubações nitrogenadas

A correlação de Pearson é uma medida do grau de relação linear entre variáveis quantitativas (FIGUEIREDO FILHO et al., 2014). A Figura 3 apresenta as variáveis químicas do solo em uma matriz de correlação de Pearson, onde verifica-se que a acidez potencial apresentou uma forte correlação negativa com pH ($r = -1$), Ca, SB, CTC, V ($r = -0,9$), N ($r = -0,7$) e Zn ($r = -0,8$). Ou seja, à medida que aumenta o teor desses elementos, há uma redução da acidez potencial no solo. Esse parâmetro evidenciou ainda uma baixa correlação positiva, variando de 0,1 a 0,4 com o P, K, Fe, Mg, teor de sulfato, matéria orgânica e carbono orgânico. E, uma correlação negativa fraca com o Cu e B, variando de -0,1 a -0,2.

O potássio e o fósforo também apresentaram correlação negativa com pH, N, Ca, CTC, V, Fe, Cu e Mn, apresentando variação de -0,2 a -0,4. O P ainda teve uma correlação negativa fraca com o Mg. A soma de bases evidenciou um correlação negativa fraca com K ($r = -0,4$) e positiva com Ca ($r = 1$). Para o magnésio não apresentou significância ($p < 0,05$). O K ($r = -0,4$) e o Mg ($r = -0,1$) tiveram uma correlação negativa com o Ca. Já o cálcio teve uma forte correlação positiva CTC, pH, V, N e Zn. Com isso pode-se dizer que o cálcio foi o elemento que mais influenciou na capacidade de troca catiônica do solo. Como foi evidenciado nos tratamentos, pois onde havia aplicação de biossólido e seu respectivo biocarvão houve um aumento significativo da CTC e da saturação por bases.

Para o teor de sulfato, ferro, manganês e cobre verificou-se que os mesmos tiveram uma maior correlação positiva com a matéria orgânica e com carbono em comparação com os demais parâmetros. A matéria orgânica e o carbono apresentaram uma correlação positiva com quase todos os parâmetros, exceto para o pH ($r = -0,1$). E, não apresentou significância ($p < 0,05$) em relação ao fósforo. Os micronutrientes, Fe, Cu, Mn e Zn apresentaram correlação positiva entre si, já o boro obteve uma baixa correlação positiva com o Zn e, uma correlação negativa de -0,1 com o manganês.

Figura 1 – Matriz de correlação de Pearson dos atributos químicos de solo com inserção de resíduos orgânicos e biocarvões sob doses de adubações nitrogenadas



Fonte: Os Autores, 2023.

Legenda: pH (Potencial hidrogeniônico); M.Org (Matéria orgânica); C.Org (Carbono orgânico); N (Nitrogênio total); P (Fósforo); S-SO₄²⁻ (Teor de Sulfato); H+Al (Acidez potencial); K (Potássio); Ca (Cálcio); Mg (Magnésio); SB (Soma de bases); CTC (Capacidade de troca catiônica); V (Saturação por bases); B (Boro); Cu (Cobre); Fe (Ferro); Mn (Manganês); Zn (Zinco). Cores azuis e vermelhas indicam correlações positivas e negativas, respectivamente. Espaços vazios indicam que as correlações não são estatisticamente significativas a $p < 0,05$, teste t.

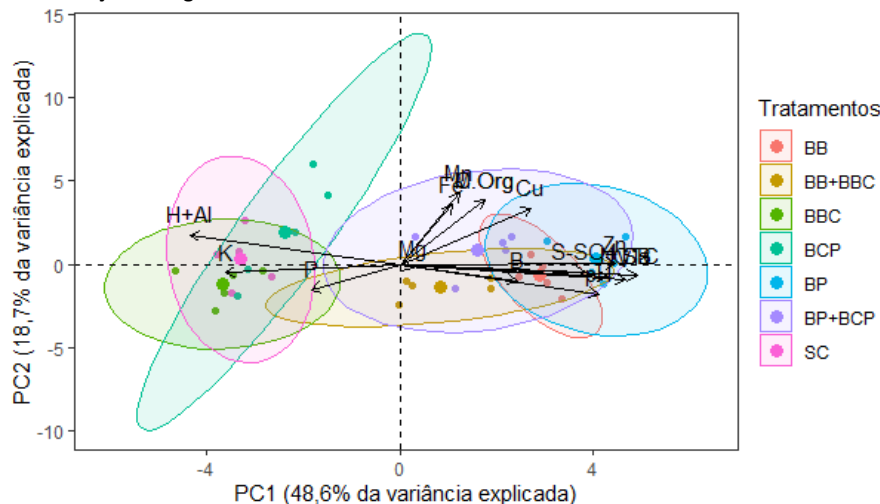
3.2 Análise de componentes principais dos atributos químicos de solo com inserção de resíduos orgânicos e biocarvões

Hongyu, Sandanielo e Oliveira Junior (2015, apud JOHSON; WICHERN, 1998) mencionam que a PCA é uma técnica da estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de mesma dimensão denominadas

componentes principais. Onde cada componente principal vem a ser uma combinação linear de todas as variáveis originais, sendo independentes entre si e estimadas com finalidade de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação em termos da variação total contida nos dados. Essa análise se torna útil para análise exploratória de dados, permitindo visualizar melhor a variação presente em um conjunto de dados com muitas variáveis. Ela vai identificar quais amostras são semelhantes ou diferentes uma das outras. De modo que por meio da PCA identifica-se grupos de amostras semelhantes e, verifica-se também quais variáveis tornam um grupo diferente do outro. Podendo ainda ser utilizada para geração de índices e agrupamento de indivíduos. Pois a PCA agrupa indivíduos de acordo com sua variação (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JUNIOR, 2015).

A Figura 4 apresenta as variáveis químicas do solo sob influência de resíduos orgânicos e biocarvões. A PC1 apresentou 48,6% da variância explicada, enquanto para na PC2 verificou-se 18,7%. Pode-se dizer que os tratamentos interferem na química dos solos de maneira diferente. O círculo azul que representa o conjunto de amostras de solo com inserção de biossólido, indicando pelos autovetores que tende a ter mais Ca, SB, CTC, V, pH, N, Zn e Cu em relação aos demais tratamentos. Já o círculo rosa que representa o tratamento controle está com maior teor de acidez potencial, porém o BCP e o BBC também apresentaram, quando comparado aos demais. O tratamento que recebeu inserção de BBC apresentou um maior teor de fósforo. Foram observados maior teor de matéria orgânica e carbono no BCP e BP+BCP. Nesse último ainda foi observado um maior teor de Mg. Notou-se um maior teor de sulfato e boro no BB e no BP.

Figura 2 – Análise de componentes principais das variáveis químicas do solo sob influência de resíduos orgânicos e biocarvões sem adubação nitrogenada



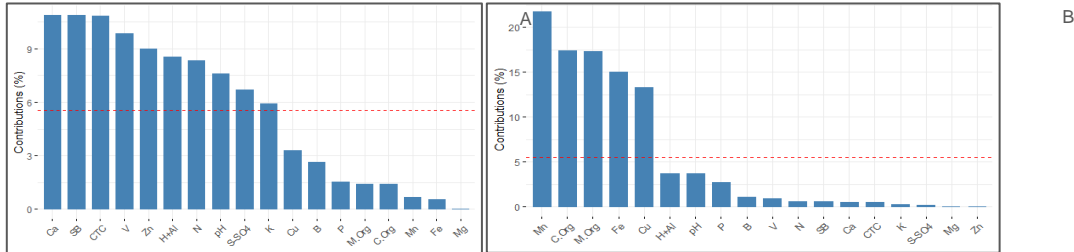
Fonte: Os Autores, 2023.

Legenda: SC (Solo controle); BP (Biossólido); BCP (Bagaço de cana-de-açúcar); BP+BCP (Biossólido + Bagaço de cana-de-açúcar); BB (Biocarvão de Biossólido); BBC: Biocarvão de Bagaço de cana-de-açúcar); BB+BBC (Biocarvão de Biossólido + Biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar).

As variáveis Ca, SB, CTC, V, Zn, H+Al, N, pH, teor de sulfato e K foram os que apresentaram maiores contribuições para a PC1 (Figura 3A). Já para a PC2 os parâmetros que

mais contribuíram foram o Mn, carbono orgânico total, matéria orgânica, Fe e Cu (Figura 3B). Nota-se ainda que o B, P e o Mg tiveram pouca contribuição nas dimensões 1 e 2.

Figura 3 – Gráficos de contribuição das variáveis químicas do solo nas dimensões



Fonte: Os Autores, 2023.

Legenda: A (Dimensão 1); B (Dimensão 2).

3.3 Produtividade da *Urochloa brizantha* cv. Marandu

A Tabela 2 apresenta os valores de massa verde e massa seca da *Urochloa brizantha* cv. Marandu.

Nos resultados referentes ao primeiro corte, analisando somente os tratamentos na dose zero de adubação nitrogenada, nota-se que o BP apresentou maior valor, seguido pelo BB e BP+BCP, onde ambos apresentaram significância entre si e dos demais tratamentos. E os menores valores de produção de massa verde foram nos tratamentos com inserção de bagaço de cana-de-açúcar, biocarvão de bagaço e no controle. O mesmo ocorreu para a produção de massa seca, porém o tratamento com biocarvão de biossólido e BP+BCP não diferiram.

No segundo corte, na massa verde, o BP obteve maior valor e apresentou significância, isso em relação aos tratamentos sem fertilizante nitrogenado. Observou-se que o BB se equiparou ao BP+BCP. Já a mistura dos biocarvões teve maior valor apenas em relação aos SC, BBC e BCP. Para massa seca os menores valores foram obtidos nas misturas dos biocarvões, no solo controle, no BBC e BCP.

Ainda analisando somente os tratamentos na dose zero de adubação nitrogenada, o BP também evidenciou maiores valores de massa verde e seca no terceiro corte, apresentando significância em relação aos demais. Enquanto os tratamentos com BBC, SC e BCP obtiveram menores valores. Sendo que no tratamento com bagaço de cana-de-açúcar, nesse último corte, não teve como quantificar a produção de massa verde e seca, devido a biomassa da planta ter sido bem reduzida.

Sabe-se que o biossólido é um resíduo rico, principalmente, em nitrogênio e possui em sua composição alguns nutrientes essenciais as plantas. O mesmo por possuir uma relação C/N baixa (Tabela 1) pode indicar uma fácil mineralização do nitrogênio pelos microrganismos do solo. Supõem-se que o N e alguns nutrientes ficaram mais disponíveis no solo e, com isso pode ter ocorrido uma maior absorção de nutrientes pela planta.

No presente estudo, houve maior produção de massa verde e massa seca nos tratamentos com BP. Sendo que o BP, sem ADN, no 1º corte, evidenciou maiores valores de produção da *Urochloa brizantha* cv. Marandu, quando comparado ao tratamento controle (SC) nas doses correspondentes a 25, 50 e 100 kg de N ha⁻¹. Ou seja, só a inserção desse resíduo no solo pode aumentar a produtividade dessa cultura, pois trouxe resultados significativos para

produção de massa verde e seca assemelhando com Campos e Alves (2008) que também encontraram uma maior produção de matéria verde e seca da brachiaria em tratamentos com inserção de lodo de esgoto.

Da mesma forma, Trannin, Siqueira e Moreira (2005) evidenciaram um aumento significativo analisando a produtividade do milho em solo que recebeu a incorporação de 10 mg ha⁻¹ de lodo de esgoto em base seca, suplementada com K₂O e 30 % da exigência em P₂O₅, equiparando com a produtividade de milho obtida com adubação mineral completa. Para o biocarvão de biossólido, Gwenzi et al. (2016) mencionam que sua aplicação ao solo melhora as propriedades de fertilidade e, aumenta o crescimento e produção de biomassa do milho.

Agora, analisando os tratamentos de modo geral, sem e com aplicação das dosagens de adubação mineral 0, 12,5, 25 e 50 mg dm⁻³ correspondente a 0, 25, 50 e 100 kg de N ha⁻¹ (Tabela 2).

Em relação a massa verde, pode-se observar que o tratamento com biossólido na dose correspondente a 100 kg de N ha⁻¹ apresentou maior valor e significância em relação aos demais tratamentos, isso no 1º e no 2º corte da *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Notou-se ainda que houve um aumento significativo da produção de massa verde nesse tratamento, quando compara-se o 1º e 2º, onde no primeiro obteve-se 72 g e no segundo 98,49 g. Já no terceiro corte o BP100 apesar de apresentar maior valor não teve significância em relação ao BP+BCP100, BB100, BBC100, BCP100, SC100 e BB+BBC100.

No 1º corte observa-se que os tratamentos que antes não havia aumento da produtividade, como o SC, BBC e o BP, após a adição da ADN na dose de 50 mg dm⁻³ correspondente a 100 kg de N ha⁻¹ passaram a ter valores de produção de massa verde mais próximos aos encontrados no tratamento somente com adição de biossólido. Enquanto no 2º e 3º corte esses tratamentos ultrapassam os valores de produção de massa verde presentes no tratamento com inserção de biossólido sem adição de uréia.

De maneira geral, os tratamentos BP100, BP+BCP100 e BB100 apresentaram maiores valores nos três cortes da *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Enquanto os menores valores para produção de massa verde da parte aérea para o primeiro corte foram encontrados no BB+BBC, BCP50, BCP25, SC, BBC e BCP. Já no 2º corte foram os tratamentos SC, BBC e BCP e, no 3º corte foi o SC e o BCP.

No presente estudo quando houve a aplicação da dose de 50 mg dm⁻³ de adubação mineral, notou-se um aumento significativo em relação aos tratamentos com a inserção de biossólido e seu respectivo biocarvão, que antes da inserção das doses de ADN já evidenciaram maiores valores que o tratamento controle sem ADN. O BP100 apresentou um aumento na produção de massa verde, no primeiro corte, de 10,46 vezes e, no segundo corte de 16,37 em relação aos tratamentos que obtiveram os menores valores. Isso pode ter ocorrido devido a um maior aporte de nutriente, via decomposição do biossólido e via adubação nitrogenada, pela planta. Supõem-se que pode ter ocorrido uma maior absorção desses elementos pela planta, no tratamento com BP100 e, em decorrência houve uma maior produção de massa foliar. Visto que, as forrageiras são excelentes extratoras de nitrogênio do solo (CANTARELLA et al., 2003; COSTA et al., 2008), preferencialmente na forma de NH₄⁺ e NO₃⁻.

Há uma maior resposta das culturas quando ocorre aplicação conjunta de biocarvão com adubo nitrogenado (BIEDERMAN; HARPOLE, 2013). Isso foi observado nos tratamentos que

tenham biocarvões em conjunto com ADN, pois apresentaram aumento na produção de massa verde, principalmente o BB100. O biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar, com dose correspondente a 100 kg de N ha⁻¹, nos resultados do primeiro e segundo corte obtiveram valores superiores ao SC100.

Na Figura 4, de maneira geral, verificou-se que houve significância estatística ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) da produtividade em função das doses de N. Onde a adubação nitrogenada provocou um aumento na produção de massa seca, principalmente na dose de 50 mg dm⁻³. Comparando os valores da produtividade em função das doses de adubação nitrogenada nota-se que no terceiro corte houve uma maior produtividade em relação ao 1° e 2° corte.

As Figuras 4B, 4P, 4Q e 4R apresentaram uma maior linearidade ($R^2 = 0,99$) e evidenciaram significância ($p < 0,01$) da produtividade em função das doses de adubação nitrogenada.

| Trat. | Doses de N (kg ha ⁻¹) | 1º Corte | | 2º Corte | | 3º Corte | |
|---------------|--------------------------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | | MVPA | MSPA | MVPA | MSPA | MVPA | MSPA |
| ----- g ----- | | | | | | | |
| SC | 0 | 5,37 f | 2,09 d | 7,10 g | 1,67 g | 21,69 d | 17,81 e |
| | 25 | 16,41 e | 5,10 c | 26,57 e | 5,91 f | 42,81 c | 23,74 c |
| | 50 | 19,60 e | 5,12 c | 40,98 d | 9,19 e | 60,44 c | 29,26 b |
| | 100 | 41,44 c | 10,97 b | 67,37 c | 16,12 c | 88,13 a | 34,31 a |
| BP | 0 | 50,81 b | 13,63 a | 56,84 c | 13,98 d | 68,23 b | 30,54 b |
| | 25 | 50,25 b | 13,68 a | 65,42 c | 16,82 c | 83,27 b | 34,22 a |
| | 50 | 49,03 b | 14,30 a | 69,12 c | 18,11 c | 80,33 b | 33,77 a |
| | 100 | 72,00 a | 15,86 a | 98,49 a | 25,37 a | 99,87 a | 38,79 a |
| BCP | 0 | 2,39 f | 0,71 d | 3,92 g | 1,02 g | - | - |
| | 25 | 6,16 f | 2,11 d | 12,43 f | 2,89 g | 35,44 d | 21,44 d |
| | 50 | 8,74 f | 2,73 d | 21,66 f | 5,22 f | 53,91 c | 26,40 c |
| | 100 | 36,69 c | 9,79 b | 66,93 c | 16,05 c | 90,46 a | 36,03 a |
| BP+BCP | 0 | 22,47 e | 6,78 c | 27,98 e | 7,07 f | 49,34 c | 24,68 c |
| | 25 | 29,85 d | 8,72 c | 43,48 d | 9,89 e | 75,21 b | 30,54 b |
| | 50 | 31,07 d | 8,74 c | 61,20 c | 13,83 d | 74,50 b | 31,94 b |
| | 100 | 53,35 b | 14,45 a | 86,51 b | 20,30 b | 99,59 a | 37,67 a |
| BB | 0 | 29,96 d | 7,35 c | 28,25 e | 6,91 f | 45,99 c | 24,56 c |
| | 25 | 27,49 d | 7,55 c | 36,51 d | 8,19 e | 57,31 c | 26,42 c |
| | 50 | 31,98 d | 8,14 c | 55,43 c | 12,31 d | 72,86 b | 27,58 b |
| | 100 | 56,10 b | 13,91 a | 85,20 b | 20,04 b | 97,22 a | 37,15 a |
| BBC | 0 | 5,13 f | 1,39 d | 5,99 g | 1,37 g | 24,24 d | 18,94 d |
| | 25 | 17,79 e | 4,75 c | 26,05 e | 6,07 f | 48,40 c | 24,71 c |
| | 50 | 26,40 d | 7,72 c | 46,12 d | 10,37 e | 71,46 b | 28,70 b |
| | 100 | 45,89 b | 14,84 a | 79,60 b | 19,50 b | 95,10 a | 37,00 a |
| BB+BBC | 0 | 9,88 f | 3,62 d | 15,33 f | 3,27 g | 35,15 d | 21,65 d |
| | 25 | 20,80 e | 6,95 c | 35,19 d | 8,62 e | 56,68 c | 26,75 c |
| | 50 | 22,86 e | 7,24 c | 44,52 d | 10,22 e | 71,78 b | 31,14 b |
| | 100 | 39,67 c | 12,17 b | 69,47 c | 17,62 c | 86,92 a | 35,58 a |
| CV (%) | | 22,05 | 26,89 | 19,03 | 18,07 | 13,05 | 7,33 |

Tabela 2 – Valores de massa verde e massa seca da parte aérea do 1º, 2º e 3º corte da *Urochloa brizantha* cv.

Marandu

Fonte: Os Autores, 2023.

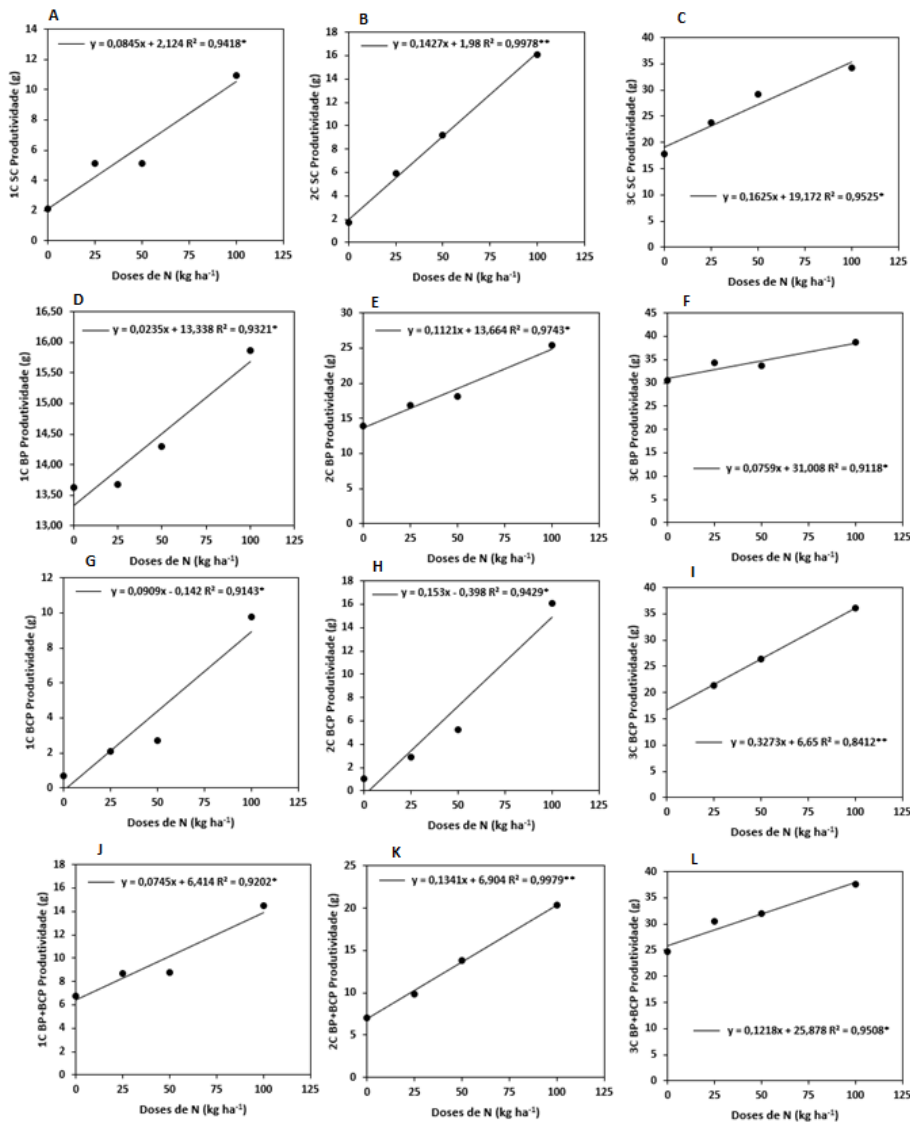
Legenda: Trat. (Tratamento); SC (Solo controle); BP (Biossólido); BCP (Bagaço de cana-de-açúcar); BP+BCP (Biossólido + Bagaço de cana-de-açúcar); BB (Biocarvão de Biossólido); BBC (Biocarvão de Bagaço de cana-de-açúcar); BB+BBC (Biocarvão de Biossólido + Biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar). MVPA (Massa verde da parte aérea da planta); MSPA (Massa seca da parte aérea da planta). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

O tratamento com inserção de biossólido evidenciou maiores valores, em ambos os cortes ($p < 0,05$), de produtividade na dose correspondente a 100 kg de N ha⁻¹ (Figura 4D, 4E e 4F). Araujo, Gil e Tiritan (2009) constataram maior produção de massa seca foliar em função da aplicação de lodo de esgoto. O mesmo foi observado para os tratamentos com biocarvão de

biossólido (Figura 4M, 4N e 4O), porém no 1° corte não teve significância, já no 2 e 3° corte apresentou significância de 5%. Albuquerque et al. (2014), Rosa et al. (2014) e Hossain et al. (2010) encontraram efeitos positivos na produção de massa seca das plantas em função da aplicação de biocarvão, corroborando com o presente trabalho.

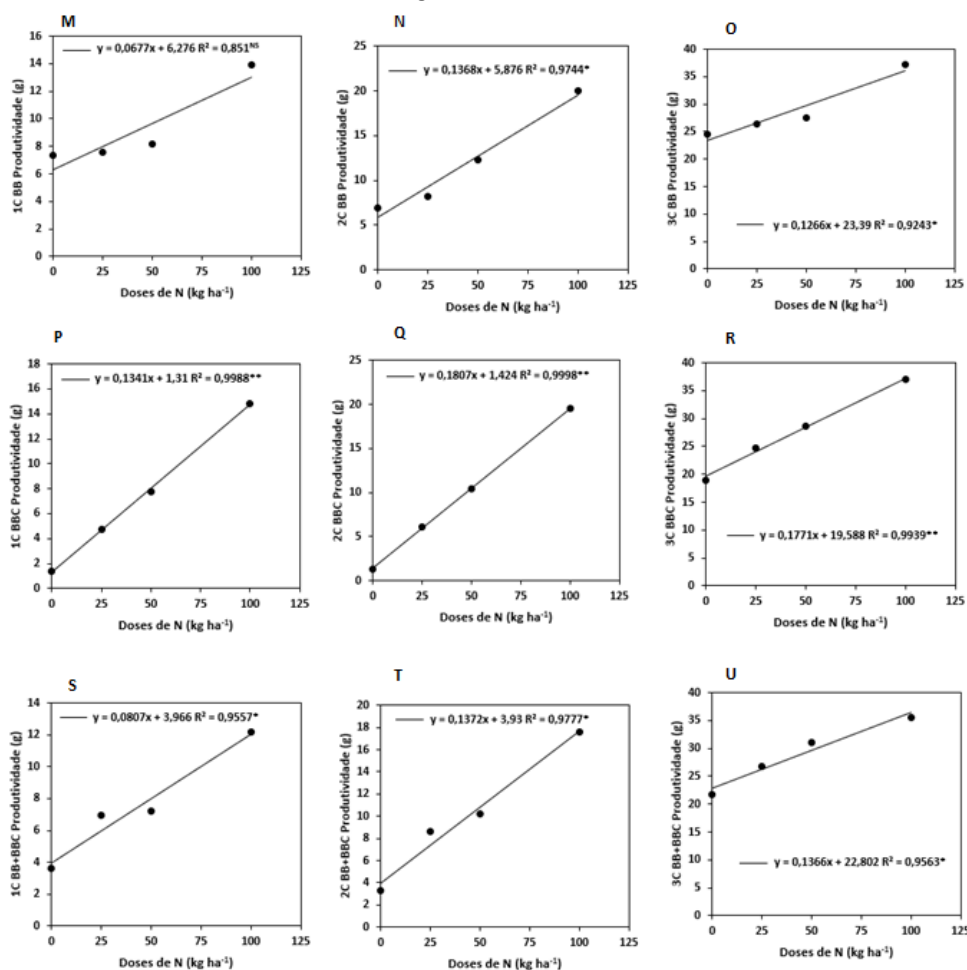
O BP+BCP (Figuras 4J, 4K e 4L) e o BBC (Figuras 4P, 4Q e 4R) também evidenciaram maior produtividade em decorrência da maior dose de ADN. Há um acréscimo da produção de massa seca em função das doses de N (SANTOS et al., 2013). Hurtado et al. (2010) em seu estudo em diferentes solos, evidenciaram resultados crescentes para massa seca foliar com doses de nitrogênio, como obtido no presente estudo. Outro fator que deve ser considerado em relação a produção de massa da planta no 1°, 2° e 3° corte pode também estar relacionada a fatores fitotécnicos, climáticos e temporais.

Figura 4 – Regressão linear entre a produtividade de massa seca da parte aérea do 1°, 2° e 3° corte da *Urochloa brizantha* cv. Marandu e as doses de nitrogênio (Continua...)



(Continuação...)

Figura 4 – Regressão linear entre a produtividade de massa seca da parte aérea do 1°, 2° e 3° corte da *Urochloa brizantha* cv. Marandu e as doses de nitrogênio



Fonte: Os Autores, 2023.

Legenda: SC (Solo controle); BP (Biossólido); BCP (Bagaço de cana-de-açúcar); BP+BCP (Biossólido + Bagaço de cana-de-açúcar); BB (Biocarvão de Biossólido); BBC: Biocarvão de Bagaço de cana-de-açúcar); BB+BBC (Biocarvão de Biossólido + Biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar). ** e * significativo a 1% e a 5 %, respectivamente, pelo teste t.

4 CONCLUSÃO

O biossólido na dose correspondente a 100 kg de N ha⁻¹ apresentou maior valor de produção de massa seca em todos os cortes; A incorporação de BP, BB, BP+BCP e BB+BBC no solo, individuais ou combinados com ADN, proporcionou um aumento no pH, Ca, CTC e V; O biossólido e seu respectivo biocarvão podem agir como corretivos de solos, proporcionando o efeito da calagem com calcário; O bagaço de cana-de-açúcar, sem ADN, não evidenciou efeitos positivos para produtividade da *brizantha* cv. Marandu se equiparando ao solo controle e, tratamentos apenas com bagaço de cana-de-açúcar, individuais ou combinados, apresentaram maiores teores de matéria orgânica e carbono no solo;

Nesse contexto, a contribuição da pesquisa para a região do Oeste Paulista, caracterizada por solos arenosos que apresentam limitações como: baixa fertilidade natural, acidez elevada e baixo teor de matéria orgânica, seria uma oportunidade de aproveitamento de

resíduos, por meio da reciclagem agrícola, de maneira que isso possa representar ganhos econômicos, sociais e ambientais.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- ALBUQUERQUE, J. A. et al. Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, v. 177, p. 16–25, oct/2014.
- ALMEIDA, B. G. Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo. 2008. 105f. **Tese (Doutorado)** - ESALQ/USP, Piracicaba, 2008.
- ALVARENGA, P. et al. Recycling organic wastes to agricultural land as a way to improve its quality: A field study to evaluate benefits and risks. *Waste Management*, v. 61, p. 582-592, 2017.
- ARAUJO, F. F.; GIL, F. C.; TIRITAN, C. S. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de brachiaria decumbens e na atividade da desidrogenase. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 39, n. 1, p. 1-6, jan./mar 2009.
- BARBOSA, G. M. C.; FILHO, J. T. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, out./dez 2006.
- BIEDERMAN, L. A.; HARPOLE, W. S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *Global Change Biology Bioenergy*, v.5, p.202-214, dec/2013.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 498 de 19 de agosto de 2020. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília - DF, 21 de agosto de 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretária de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa SDA nº17, de 21 de maio de 2007**. Brasília, 2007.
- CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso do lodo de esgoto na reestruturação do solo degradado. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v. 32, p.1389-1397, 2008.
- CANTARELLA, H. et al. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. *Nutr. Cycling Agroec.*, v.67, p. 215-223, 2003.
- CLOUGH, T. J.; CONDRON, L. M. Biochar and the nitrogen cycle: introduction. *J. Environ. Qual.*, v.39, p. 1218-1223, jul/2010.
- COSTA, K. A. P. et al. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim Marandu. I- Alterações nas características químicas do solo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 32, p. 1591-1599, 2008.
- DHANKER, R. et al. Influence of urban sewage sludge amendment on agricultural soil parameters. *Environmental Technology & Innovation*, v. 23, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021>.
- EL-NAGGAR, A. et al. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma*, v. 337, p.536-554, mar/2019.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo: **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.
- FACHINI, J.; FIGUEIREDO, C. C. Pyrolysis of sewage sludge: physical, chemical, morphological and mineralogical transformations. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 65, 2022.
- FIGUEIREDO FILHO, D. B. et al. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson: O retorno. *Leviathan*, n.8, p.66-95, 2014.
- GWENZI, W. et al. Comparative short-term effects of sewage sludge and its biochar on soil properties, maize growth and uptake of nutrients on a tropical clay soil in Zimbabwe. *J Integr Agric.*, v.15, n.6, p. 1395-1406, jun/2016.
- HERNANDEZ, T. et al. Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops-effects on soil and plant. *Soil Tillage Res*, v. 160, p. 14 22, 2016.
- HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e Interpretação. *Engineering and Science*, jun/2016.

HOSSAIN, M. K. et al. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Chemosphere**, v. 78, n.9, p. 1167-1171, fev/2010.

HOU, Q. et al. Responses of nitrification and bacterial community in three size aggregates of paddy soil to both of initial fertility and biochar addition. **Applied Soil Ecology**, v. 166, oct/2021.

HURTADO, S. M. C. et al. Sensibilidade do clorofilômetro para diagnóstico nutricional de nitrogênio no milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 688-697, 2010.

LAN, Z. M. et al. Stoichiometric ratio of dissolved organic carbon to nitrate regulates nitrous oxide emission from the biochar-amended soils. **Sci. Total Environ.**, v.576, p. 559-571, jan/2017.

LEHMANN, J. et al. Biochar effects on soil biota – a review. **Soil Biol. Biochem**, v. 43, n.9, p. 1812-1836, sep/2011.

LOBO, T. F. et al. Manejo do lodo de esgoto e nitrogênio mineral na fertilidade do solo ao longo do tempo. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 6, p. 2705-2726, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2. ed., rev. e atual. Piracicaba: **POTAFOS**, 1997.

MANCA, A. et al. Composed sewage sludge with sugarcane bagasse as a commercial substrate for *Eucalyptus urograndis* seedling production. **Journal of Cleaner Production**, v. 269, 2020.

MELO, W. et al. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil. A balance sheet on agricultural crops and environmental quality. **Sci. Total Environ.**, v. 643, p. 1493-1501, 2018.

OK, Y. S. et al. SMART biochar technology – a shifting paradigm towards advanced materials and healthcare research. **Environ. Technol. Innov.**, v.4, p. 206-209, oct/2015.

PAZ-FERREIRO, J. et al. Biochar from biosolids pyrolysis: a review. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 15, n. 5, <https://doi.org/10.3390/ijerph15050956> 2018.

RAJKOVICH, S. et al. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochar with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, p. 271-284, 2012.

RAIJ, B. VAN. et al (Ed.). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 2001.

ROSA, J. M. DE LA. et al. Relating physical and chemical properties of four different biochars and their application rate to biomass production of *Lolium perenne* on a Calcic Cambisol during a pot experiment of 79 days. **Science of the Total Environment**, v, 499, p. 175–184, nov/2014.

SANTOS, L. P. D. et al. Doses de nitrogênio na cultura do milho para altas produtividades de grãos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.3, p.270-279, 2013.

SOUZA, J. G. de; SANTOS, B. C. S. dos; COSTA, M. E. da S.; SANTOS, M. K. dos; SANTOS, C. H. dos; MAZZUCHELLI, R. de C. L. ; ALVES, M. R. Organic waste and biochars for soil conditioner purposes . **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 7, p. e1510716660, 2021.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Avaliação agrônômica de um biossólido industrial para a cultura do milho. **Pesq. Agropec. Bras.**, 40:261-269, mar/2005.

TRAZZI, P. A. et al. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, v. 28, 2018.

YAGMUR, M.; ARPALI, H.; GULSER, F. The effects of sewage sludge treatment on triticale straw yield and its chemical contents in rainfed condition. **J. Anim. Plant Sci**, v. 27, p. 971-977, 2017.