

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Ciências Agrárias

Campus Regional Montes Claros

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Engenharia Agrônoma

**ORGANOMINERAL A BASE DE BIOCÁRVÃO PARA A CULTURA DO
FEIJÃO**

Vinicius Bernardes Barella

Montes Claros – MG

2024

Vinicius Bernardes Barella

**ORGANOMINERAL A BASE DE BIOCÁRVÃO PARA A CULTURA DO
FEIJÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrônoma da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para o grau de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientador: Luiz Arnaldo Fernandes

Montes Claros

Instituto de Ciências Agrárias - UFMG

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ICA - INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA/TCC

Aos 19 dias do mês de dezembro de 2024, às 09:00 horas, o estudante Vinicius Bernardes Barella, matrícula 2020084699, defendeu o Trabalho intitulado " ORGANOMINERAL A BASE DE BIOCARVÃO PARA A CULTURA DO FEIJOEIRO" tendo obtido a média 90 (noventa) pontos.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

Nota: 90 (noventa) pontos

Orientador: Luiz Arnaldo Fernandes

Nota: 90 (noventa) pontos

Examinador: Fernando Colen

Nota: 90 (noventa) pontos

Examinador: José Mendes dos Santos Júnior



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Arnaldo Fernandes, Coordenador(a)**, em 19/12/2024, às 12:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Mendes dos Santos Júnior, Usuário Externo**, em 19/12/2024, às 12:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Colen, Professor do Magistério Superior**, em 23/12/2024, às 11:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3840660** e o código CRC **225ECF9F**.

INSTRUÇÕES

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Marília Scalon Bernardes, o melhor e maior exemplo de mãe que alguém poderia ter, sem sua luta, dedicação, amor e carinho não seria quem sou hoje.

À minha família, o pilar mais importante, que independentemente de onde, quando e porque, sempre esteve ao meu lado me apoiando e me motivando.

Aos meus amigos, pelo apoio, parceria e amizade que construímos ao longo dos anos de graduação.

Ao professor Luiz Arnaldo Fernandes, pela oportunidade, pela orientação e por todos os ensinamentos passados.

À UFMG e o ICA, pela oportunidade de me graduar em uma das melhores universidades que este país possui, e por proporcionar experiências que ficarão guardadas pelo resto da minha vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de iniciação científica (PIBIC/UFMG) durante minha graduação.

À FAPEMIG e a CAPES pelo financiamento das análises realizadas nesta pesquisa.

ADUBAÇÃO ORGANOMINERAL A BASE DE BIOCARVÃO PARA A CULTURA DO FEIJÃO

RESUMO

O biocarvão têm um grande potencial para aumentar o sequestro de carbono no solo e é uma fonte de nutrientes e melhora as propriedades do solo. O extrato pirolenhoso é utilizado na agricultura para vários fins, tais como indução e estimulação das raízes, fertilização e condicionamento das propriedades do solo e aglutinante para a produção de grânulos. O biochar pode aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatados, e o enriquecimento do biochar com fósforo pode ser uma estratégia tecnológica para maximizar a eficiência dos fertilizantes fosfatados em solos tropicais. O objetivo do projeto é avaliar fertilizantes organominerais granulados produzidos a partir do biocarvão nas propriedades do solo e na produção de feijão. O experimento foi conduzido em blocos casualizados e composto por cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 parcelas experimentais (vasos), e os tratamentos foram: Testemunha (solo natural sem adubação), Biochar (1,1 g. L⁻¹ de biochar de eucalipto no plantio), Convencional (1,1 g. L⁻¹ de P₂O₅ na forma de fosfato natural reativo no plantio), Grânulo 1 (grânulo composto por biochar e extrato pirolenhoso) e Grânulo 2 (grânulo composto por biochar, extrato pirolenhoso e fosfato natural reativo). O biochar e o extrato pirolenhoso utilizados foram obtidos a partir da pirólise de resíduos de madeira de *Eucalyptus* spp em sistemas de estufa, e a cultura plantada foi *Phaseolus vulgaris* cv. Carioquinha. As plantas foram colhidas para determinação da produtividade de grãos e amostras de solo foram coletadas para análise química. Com exceção do fósforo remanescente, potássio, magnésio, H+Al e carbono orgânico do solo, houve diferenças significativas entre os tratamentos. O fósforo disponível foi significativamente maior no tratamento convencional e foi classificado como muito alto ou muito bom. Para o cálcio trocável, o valor mais elevado foi obtido no tratamento convencional e o mais baixo no tratamento de controle, enquanto os outros tratamentos apresentaram valores intermédios. Em todos os tratamentos, a acidez potencial trocável foi classificada como muito baixa. A capacidade de troca catiónica potencial ou pH 7,0 (T) foi maior no tratamento convencional, seguido dos tratamentos biochar, grânulo 1, grânulo 2 e controle, por esta ordem. Os valores de V% foram classificados como médios nos tratamentos biocarvão e convencional, e baixos nos demais tratamentos, sendo os solos considerados distróficos. Em relação à produção de feijão, houve diferenças significativas entre os tratamentos quanto ao número de vagens e

ao número de grãos. Os maiores valores, tanto para o número de vagens quanto para o número de grãos, foram obtidos no tratamento convencional, seguido pelos tratamentos grânulo 2, biochar, grânulo 1 e testemunha. As conclusões obtidas foram que o biocarvão, na forma de pó ou granulada melhorou as propriedades do solo relacionadas a fertilidade e nas doses utilizadas, o biocarvão, tanto na forma de pó quanto granulada, não contribuiu para o aumento da produção do feijoeiro. Biocarvões tem um bom potencial para serem usados com diferentes finalidades, além disso é importante que haja novos experimentos relacionados a formulação de fertilizantes organomineriais a base de biocarvões, se atentando as doses dos componentes dos grânulos. O enriquecimento de biocarvões se mostrou mais eficiente para a fonte utilizada neste experimento. Deve se por fim fomentar novas pesquisas testado os grânulos em culturas de ciclo mais longo, bem como com outras biomassas para a produção do biochar.

Palavras-chaves: grânulos; biochar; *Phaseolus vulgaris* cv. Carioquinha; extrato pirolenhoso; fosfato natural reativo.

ORGANOMINERAL FERTILIZATION BASED ON BIOCHAR FOR BEAN CROPS

ABSTRACT

Biochar has great potential to increase carbon sequestration in the soil and is a source of nutrients and improves soil properties. Pyroligneous extract is used in agriculture for various purposes, such as root induction and stimulation, fertilization and conditioning of soil properties and binder for granule production. Biochar can increase the efficiency of phosphate fertilizers, and enriching biochar with phosphorus can be a technological strategy to maximize the efficiency of phosphate fertilizers in tropical soils. Beans are of great importance to Brazilian agriculture, as they are one of the staples of the population's diet. The aim of the project is to evaluate granulated organo-mineral fertilizers produced from biochar on soil properties and bean production. The experiment was conducted in randomized blocks and consisted of five treatments and five replications (blocks), totaling 25 experimental plots (pots), and the treatments were: Witness (natural soil without fertilization), Biochar (1.1 g. L of eucalyptus biochar at planting), Conventional (1.1 g. L of P₂O₅ in the form of reactive natural phosphate at planting), Granule 1 (granule composed of biochar and pyroligneous extract) and Granule 2 (granule composed of biochar, pyroligneous extract and reactive natural phosphate). The biochar and pyroligneous extract used were obtained from the pyrolysis of *Eucalyptus* spp. wood waste in greenhouse systems, and the crop planted was *Phaseolus vulgaris* cv. Carioquinha. The plants were harvested to determine grain yield and soil samples were taken for chemical analysis. With the exception of remaining phosphorus, potassium, magnesium, H+Al and soil organic carbon, there were significant differences between the treatments. Available phosphorus was significantly higher in the conventional treatment and was classified as very high or very good. For exchangeable calcium, the highest value was obtained in the conventional treatment and the lowest in the control treatment, while the other treatments showed intermediate values. In all treatments, potential exchangeable acidity was classified as very low. The potential cation exchange capacity or pH 7.0 (T) was highest in the conventional treatment, followed by the biochar, granule 1, granule 2 and control treatments, in that order. The V% values were classified as medium in the biochar and conventional treatments, and low in the other treatments,

with the soils being considered dystrophic. With regard to bean production, there were significant differences between the treatments in terms of the number of pods and the number of grains. The highest values for both the number of pods and the number of grains were obtained in the conventional treatment, followed by the granule 2, biochar, granule 1 and control treatments. The conclusions reached were that biochar, in powdered or granulated form, improved soil properties related to fertility and at the doses used, biochar, both in powdered and granulated form, did not contribute to increased bean production. Biochar has good potential to be used for different purposes, and it is important to carry out new experiments on the formulation of organomineral fertilizers based on biochar, paying attention to the doses of the granule components. Biocarbon enrichment proved to be more efficient for the source used in this experiment. Finally, further research should be carried out testing the granules on longer-cycle crops, as well as with other biomass for the production of biochar.

Keywords: granules; biochar; *Phaseolus vulgaris* cv. Carioquinha; pyroligneous extract; natural reactive phosphate.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1 Objetivos gerais.....	9
2.2 Objetivos específicos.....	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
3.1 Biocarvão	10
3.2 Extrato Pirolenhoso.....	12
3.3 Feijoeiro e adubação fosfatada	14
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
5. RESULTADOS	21
6. DISCUSSÃO.....	24
7. CONCLUSÃO.....	32
8. REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

A safra de grãos 2024 no Brasil será cerca de 315,4 milhões de toneladas (IBGE, 2024), mesmo no cenário onde há um pequeno decréscimo no rendimento médio e aumento das áreas cultivadas, a preocupação com as mudanças climáticas são cada vez mais frequentes e intensas e fazem com que os sistemas produtivos busquem soluções mais sustentáveis ambientalmente, sem prejuízo na produtividade das culturas.

O uso de resíduos orgânicos como fonte de nutrientes as plantas alia um melhor destino deste tipo de material a reciclagem de nutrientes contidos no mesmo, no entanto mesmo com os benefícios ecológicos e econômicos, devemos conhecer sua composição, para planejar de forma mais adequada o seu uso (NUNES; LIMA JÚNIOR; GUIMARÃES, 2017).

No contexto das mudanças climáticas, a incorporação de formas de carbono mais resistentes à decomposição pelos microrganismos heterotróficos do solo tem sido muito incentivada nos últimos anos. Por meio do processo de pirólise, os resíduos orgânicos são transformados em biocarvões, que são fontes de nutrientes e melhoram as propriedades do solo (CONZ *et al.*, 2017).

Os biocarvões, também conhecidos por biochar, também têm grande potencial para aumentar o sequestro de carbono no solo e mitigar as emissões de gases do efeito estufa, uma vez que apresenta formas mais estáveis de carbono. Em contraste a estes fatos o biocarvão devido a sua baixa densidade e reduzido tamanho de partículas pode se apresentar como um risco a saúde de quem o manuseia e dificulta sua aplicação no campo. Afim de solucionar este problema, o processo de granulação se apresenta como uma possível solução para aumentar a sua eficiência de aplicação e uso agrícola.

No processo de pirólise, além da produção do biocarvão, é produzido o bio-óleo. Os componentes do bio-óleo podem ser separados por decantação em extrato pirolenhoso e alcatrão. O extrato pirolenhoso (EP) é utilizado na agricultura para diversos fins, por exemplo, para controle fitossanitários, indução e estimulante de raízes, fertilização e condicionamento das propriedades do solo, além destes o extrato pirolenhoso tem potencial como aglutinante no processo de peletização, auxiliando na formação de fertilizantes organominerais a base de biocarvões.

Apesar de geralmente apresentarem baixos teores de fósforo na sua composição, os biocarvões podem aumentar a eficiência dos fertilizantes fosfatados, uma vez que suas partículas apresentam alta densidade de cargas elétricas negativas de superfície. Nesse sentido, o enriquecimento dos biocarvões com fósforo, a exemplo dos fosfatos naturais

reativos (FNR) pode ser uma estratégia para maximizar a eficiência dos fertilizantes fosfatados em solos tropicais altamente intemperizados e com alta capacidade de fixação desse nutriente.

Em experimentos em condições controladas para estudar novas fontes de nutrientes e condicionadores de solo, geralmente são utilizadas plantas de ciclo curto e responsivas às adubações, como o feijoeiro comum. Além de ser uma planta muito utilizada em experimentos sobre fertilidade do solo e nutrição de plantas, o feijoeiro tem grande importância para a agricultura brasileira, sendo os grãos uma das bases da alimentação da população. O Brasil é o principal produtor mundial, com estimativa de produção para o ano de 2024 em cerca de 3,103 milhões de toneladas de grãos produzidos.

Diante do exposto, a formulação de fertilizantes organominerais granulados a partir de biocarvão e o extrato pirolenhoso, dois produtos do processo de pirólise, podem ser uma alternativa para o uso mais racional de biocarvões na agricultura. Nesse contexto, o objetivo do projeto é avaliar fertilizantes organominerais granulados produzidos a partir de biocarvão nas propriedades do solo e na produção do feijoeiro.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Avaliar fertilizantes organominerais granulados produzidos a partir de biocarvão nas propriedades do solo e na produção do feijoeiro.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as propriedades químicas do solo após a aplicação de fertilizantes organominerais granulados produzidos a partir de biocarvão;
- Avaliar a produtividade do feijoeiro adubado com fertilizantes organominerais granulados produzidos a partir de biocarvão.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Biocarvão

Dentre as alternativas de resíduos orgânicos capazes de serem utilizados para a produção de fertilizantes organominerais está o biocarvão, material sólido e rico em carbono, obtido a partir da transformação termoquímica de biomassa, este processo envolve baixos teores de oxigênio para ser realizado, com isso ele pode ser aplicado ao solo de modo a obter benefícios para as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (KOOKANA *et al.*, 2011). O biocarvão pode ser obtido a partir de diversas biomassas residuais, onde estas são aquecidas a temperaturas menores que 700°C e submetidas a um ambiente ausente ou com baixos teores de oxigênio (LEHMANN & JOSEPH, 2009; SOHI *et al.*, 2010b).

Durante a pirólise há formação de alguns produtos oriundos de cada fase, no caso a parte líquida, obtida da condensação de vapor, como a gasosa e o bio-óleo, e a fase sólida que forma o biocarvão (JOSEPH *et al.*, 2021; ZAMAN *et al.*, 2017), e a proporção de cada uma destas fases será determinada por taxa de aquecimento, características da biomassa, à temperatura aplicada, pressão do sistema e tempo de carbonização (NOVOTNY *et al.*, 2015).

A pirólise é separada em dois estágios denominados de pirólise primária e secundária, e como resultado primário após o processo está a formação de grupos funcionais de na superfície do biochar, como aldeídos, ácidos carboxílicos, cetonas, carboidratos, dentre outros grupos que sítios reativos, possibilitando a interação com os elementos do solo (FÁTIMA *et al.*, 2021; JANU *et al.*, 2021). Quanto aos tipos de matéria-prima ou biomassa utilizada para a produção de biocarvão, estas podem ser das mais variadas, indo desde materiais de origem animal e vegetal, no entanto, resíduos florestais e agrícolas se destacam em meio às matérias-primas com potencial de exploração por serem de baixo valor, alto valor de recolhimento e limitada utilização (VERHEIJEN *et al.*, 2010).

Sua aplicação no solo passa por dois aspectos importantes, um deles é a alta capacidade de reter nutrientes no solo, já o segundo aspecto está envolvido com as formas mais estáveis de carbono, gerando não só benefícios ao solo, como também ao meio ambiente (LEHMANN, 2007). No entanto, por frequentemente os biocarvões possuírem baixa CTC e superfície específica, é necessário submeter o material a ativação química ou física para que haja melhora das condições físico-químicas do

biochar (GUO et al., 2014; JEFFERY et al., 2011), assim o processo de enriquecimento de biocarvões com compostos minerais vêm se tornando uma opção para o aumento do seu uso a campo (CHEN et al., 2011; CHIA et al., 2014; LIN et al., 2013), enriquecidos com fontes sólidas como por exemplo fosfatos de rocha, em seguida passam pelo processo de secagem e torrefação (MATOSO, 2019), formando um material rico em fósforo e em outros nutrientes, elevando a atividade dos mesmos na solução do solo por um maior período de tempo, quando comparado a fontes mais solúveis (BLACKWELL et al., 2015; CHIA et al., 2014; KIM et al., 2014; LIN et al. 2013).

Seu uso na agricultura é milenar, porém ainda faltam informações técnicas sobre sua aplicação em solos, sendo o modelo mais próximo deste processo são as Terras Pretas de Índios (TPIs) encontradas na Amazônia e na forma de fragmentos em solos de cerrado, advindo da ação humana e queimadas naturais (PETTER., 2010). As características tanto físicas quanto químicas do biocarvão podem alterar as propriedades do solo de modo significativo, sendo importante analisar não somente as condições do processo de pirólise, mas também a matéria-prima usada para sua produção (BASU, 2013; TAG et al., 2016).

O processo de pirólise pode ser classificado de três formas de acordo com as condições de operação: pirólise “*flash*”, rápida e lenta (BAHNG *et al.*, 2009). Mencionando de forma específica a pirólise lenta, esta possui tempo de residência mais longos a uma taxa de aquecimento de 1 a 20°C por minuto, formando maior quantidade de produto sólido (DUTTA RAGHAVAN; NGADI, 2012; BROWN, 2009). Dentre as características do biochar que sofrem maior influência da temperatura de pirólise são: produtividade, pH, recalcitrância e material volátil (ZHAO *et al.*, 2013).

Quando analisamos o tipo de matéria orgânica utilizada na produção de biocarvão, esta pode ser diversa, variando desde resíduos animais até vegetais, incluindo resíduos florestas. Para a conversão de materiais como resíduo de eucalipto e de outras madeiras em biocarvão pode trazer benefícios como redução das emissões de carbono, possuindo maior teor de carbono em comparação as biomassas de origem animal (CHAN & XU, 2009). Materiais lenhosos têm como característica maiores teores de lignina quando comparado aos teores de hemicelulose e celulose (CHAN & XU, 2009).

Segundo CHAN & XU (2009), materiais de origem vegetal possuem menores teores de fósforo (P) comparando-se a biomassas de origem animal, mas apresenta bons níveis de Ca em sua estrutura por possuir alto ponto de fusão (842°C) quando comparado a outros elementos como o fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S) (ABDULLAH *et al.*, 2010; WU *et al.*, 2011). Devido aos fatos citados anteriormente,

ainda se discute que o biochar pode melhorar tanto o desenvolvimento de plantas com ele adubadas e a fertilidade do solo quando o mesmo é aplicado em solos mais férteis ou mesmo com a adição de fertilizantes (STEINER *et al.*, 2007).

A partir do carvão vegetal pode-se obter o fino de carvão (FC), classificando o carvão vegetal por meio de peneiras unidas a vibradores mecânicos, e na granulação entre 2 e 5 mm. Os finos de carvão vêm sendo utilizado como substrato orgânico por algumas empresas (ZANETTI *et al.*, 2003). No entanto, tanto o FC como o próprio biocarvão apresentam alguns pontos de atenção e que podem limitar a sua efetiva utilização no campo, por exemplo sua baixa densidade de partículas, armazenamento e manuseio do material, dificuldade de transporte e pequeno tamanho de partículas (KONG *et al.*, 2013; MOHAMMADI *et al.*, 2021), além de contém componentes com potencial risco a saúde humana e prejuízo a quem manipula este tipo de material (LI; BAIR; PARIKH, 2018). Segundo RODRIGUES (2012) a granulação é um termo genérico utilizado para aglomeração de partículas, de forma a aumentar seu tamanho, unindo matérias primas sólidas por meio de um líquido ligante, formando agregados.

3.2 Extrato Pirolenhoso

O extrato pirolenhoso é obtido pela condensação da fumaça produzida pela queima da madeira durante o processo de formação do carvão vegetal. É um líquido composto principalmente por água e mais de 200 compostos orgânicos, sendo eles fenóis, cetonas, ácido acético, dentre outros compostos e de coloração variando entre o amarelo e o marrom avermelhado (ALVES, 2006). A origem da palavra “pirolenhoso” é oriunda do termo “pirólise” referente ao processo de decomposição térmica de biomassas contendo carbono, sem a presença de oxigênio (ALMEIDA, 2019). As cetonas e ácidos são oriundos da decomposição de celulose e hemicelulose presentes na biomassa; já compostos fenólicos são produzidos a partir da decomposição de lignina (SOL *et al.*, 2014). A composição do extrato pirolenhoso varia de acordo com a biomassa utilizada e pela técnica de carbonização, de acordo com SUTRISNO *et al.* (2014). Este material ou biomassa pode ser obtido a partir de espécies vegetais como o pinus, o bambu e o eucalipto (MAEKAWA, 2002).

Em alguns trabalhos o extrato pirolenhoso teve resultados interessantes quando utilizado como “fertilizante orgânico” na cultura do arroz (TSUZUKI *et al.*, 2000), em

sorgo (ESECHIE *et al.*, 1998) e batata doce (SHIBAYAMA *et al.*, 1998). Além destes trabalhos o extrato pirolenhoso também pode funcionar como nematicida (CUADRA *et al.*, 2000) e fungicida (NUMATA *et al.*, 1994). Resultados obtidos por MIYASAKA *et al.* (2001), concluíram que houve melhora nos atributos do solo, além do aumento da população microbiana, favorecendo a melhor disponibilidade de nutrientes às plantas quando o EP foi diluído em água, com concentrações variando entre 5 e 20 mL L⁻¹.

Segundo ZANETTI *et al.* (2004) houve aumento nos teores de cobre e manganês nas folhas e aumento da concentração de cálcio nas raízes de mudas de limão “Cravo” quando misturado à solução de micronutrientes. No entanto, segundo os autores, para nutrientes como boro, ferro e zinco não houve alteração dos teores quando o extrato destilado foi pulverizado na parte aérea das mudas de limão “Cravo”.

Para SILVA *et al.* (2021), o extrato pirolenhoso aplicado diretamente na semente de feijão inibe a sua germinação, no entanto, quando aplicado via solo com concentração equivalente a 2,0% (dose máxima utilizada) não houve inibição da germinação das sementes de feijão e houve redução no índice de velocidade de emergência (IVE), mas não se obteve incremento de matéria seca das raízes (MSR) e altura das plantas de feijão.

Além da aplicação direta na agricultura, o extrato pirolenhoso ou bio-óleo pode ser utilizado no processo de pelletização como ligante a fim de melhorar as características de pellets produzidos com biocarbono (RIVA *et al.*, 2019), além do bio-óleo ser um ligante ecologicamente correto devido a sua natureza orgânica (PENMETSA *et al.*, 2012). Outros autores também investigaram a co-densificação de biocarbono com o uso de óleo de pirólise (KANG *et al.*, 2018), constatando a capacidade do extrato pirolenhoso em aumentar a estabilidade física formando um encadeamento de partículas mais forte. Para AMAYA *et al.* (2015), houve melhora na densidade energética e propriedades mecânicas de pellets de biocarbono após a introdução do óleo de pirólise. RAVENNI *et al.* (2019), relatam que o uso de bio-óleo pode ser uma alternativa como material ligante na produção de fertilizantes de liberação sustentada à base de biochar (BSRFs) por conter propriedades de polimerização e excelente viscosidade, liberando de forma mais lenta os nutrientes envolvidos na composição do fertilizante.

3.3 Feijoeiro e adubação fosfatada

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é classificado como uma leguminosa herbácea de ciclo de vida com cerca de 95 dias, e está na base alimentar dos brasileiros e de outros países como uma importante fonte de proteína, com plantio de norte a sul do país,

muito consumida pelas classes que possuem menos recursos financeiros (ANTUNES *et al.*, 1995). Segundo dados do IBGE (2024), a produção total estimada para o ano de 2024 é 5% maior quando comparada ao ano anterior com 3.103.982 toneladas de grãos produzidos, e a área plantada também sofrerá um aumento, passando de 2.561.275 para 2.713.869 de hectares, no entanto o contraste é observado no rendimento médio total da cultura, havendo estimativa de queda do ano de 2023 para o ano de 2024.

A cultura do feijoeiro é explorada de diversas formas, sendo por uma agricultura de subsistência, com pouca tecnologia e baixa produtividade até o seu inverso, na qual a agricultura empresarial fornece melhores tecnologias e a possibilidade de altos rendimentos (MEIRELES *et al.*, 2000). O feijoeiro é uma planta cultivada em todos os estados brasileiros, segundo CARNEIRO (1998), assim estando sujeito as mais diversas condições climáticas e às mais diversas realidades econômicas e sistemas de cultivo.

A variação na produtividade da cultura do feijão se deve a diversos fatores, dentre eles a baixa fertilidade dos solos brasileiros e a falta de boas adubações, de modo a obter baixas produtividades (SILVA, 2016). O feijão comum é altamente exigente em nutrientes, e pelo seu ciclo ser considerado curto, o feijoeiro exige altas demandas por nutrientes, para que não haja limitações na sua produção, sendo necessário a elaboração de programas de adubação adequados e eficientes (LACERDA *et al.*, 2019).

Um dos elementos que mais influenciam na produtividade das culturas é o fósforo (BROOKS, 1986), estando relacionado a fatores genéticos das plantas, como superfície radicular, concentração de fósforo na solução e conteúdo de água. MALAVOLTA (1971) constatou que este nutriente é o principal responsável pelo aumento na produção de grãos no feijoeiro. Segundo FAGERIA (1994), o fósforo, seguido de cálcio, magnésio, boro e zinco, é o nutriente mais limitante em termos de produtividade para as leguminosas, o mesmo ocorre para solos de várzea quando comparados aos elementos fósforo, nitrogênio e potássio (BALIGAR E FAGERIA, 1996).

Entre dos fatores que interferem na produtividade de feijoeiros estão os baixos teores de fósforo nos solos brasileiros, devido a alta capacidade de fixação desse elemento por hidróxidos de ferro e alumínio, os quais contêm sítios ativos positivos (FARIAS *et al.*, 2009), de modo a reduzir sua disponibilidade. Dessa forma, as respostas a aplicação desse nutriente são frequentemente positivas (PASTORINI *et al.*, 2000). ZUCARELI (2005) constatou aumento na produtividade das plantas com o aumento dos teores de P no solo, aumentando número de vagens e massa de sementes. SILVA *et al.* (2001)

concluíram que com o aumento de doses de fósforo em solo arenoso, houve aumento de P disponível e P foliar, além de acréscimo no rendimento de grãos.

No mercado mundial existem duas principais classificações de fontes de fósforo, sendo elas as fontes solúveis em ácido cítrico e água e as fontes pouco solúveis em ácido cítrico e água, no caso os fosfatos naturais brasileiros (MOLTOCARO, 2007). O interesse por fontes menos solúveis vem aumentando devido ao alto custo do processamento industrial na fabricação de fontes solúveis. Além disso, segundo RESENDE *et al.*, (2006), o processo de fixação do fósforo foi reduzido pela liberação lenta do fósforo por fontes com menor solubilidade.

Por meio de transformações físicas e biológicas de resíduos orgânicos com agregação de fontes minerais de fósforo pode produzir fertilizantes organominerais com altos teores deste nutriente (BENITES *et al.*, 2010), aumentando a fertilidade do solo e diminuir a fixação do P pelo solo e assim beneficiando o produtor rural em vários aspectos (TEIXEIRA, 2013), e além desta alternativa, outra forma de diminuirmos a adsorção de fósforo pelas argilas do solo é aplicando a fonte fosfatada em associação ao biocarvão (DeLUCA *et al.*, 2009), por possuir vários grupos funcionais e uma estrutura diversificada (JOSEPH *et al.*, 2013). Os fertilizantes organominerais pode ser obtido por mistura, reações químicas, dissolução em água de fertilizantes inorgânicos com teor declarado de um ou mais nutrientes primários com melhoradores de solo ou fertilizantes ou granulação (RAMOS *et al.*, 2017). O processo de granulação, agronomicamente, reduz a área superficial dos fertilizantes de modo que a liberação de nutrientes seja contínua e lenta, tornando mais eficiente a fertilização do solo além de maior durabilidade e efeito residual (RODRIGUES, 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos, em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG), município de Montes Claros – MG, Brasil (16°41'2.03" S, 43°50'19.28" W, altitude de 646 metros). O clima da região é do tipo Aw – tropical com inverno seco e verão chuvoso, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013).

O biocarvão foi produzido por pirólise lenta a 350° C e tinha como matéria prima a madeira de eucalipto *Eucalyptus urograndis* (*E. urophylla* S.T Blake x *E. grandis* W. Hill ex Maiden híbrido clonal I114). A temperatura interna do forno foi medida por sensor infravermelho a cada 30 minutos tanto na etapa de aquecimento quanto na de secagem e a cada 8 horas na etapa de resfriamento (SCHETTINI *et al.*, 2022). O biochar foi previamente moído mecanicamente com almofariz de porcelana e em seguida passado em peneira com malha de 0,56 mm a fim de obter o fino de carvão com homogeneidade entre as partículas. O extrato pirolenhoso foi obtido a partir da produção de carvão vegetal em sistema forno-fornalha localizados na fazenda experimental do ICA/UFMG, com a biomassa utilizada sendo a madeira de *E. urograndis*, em seguida o extrato foi separado do bio-óleo por decantação, as propriedades básicas do aglutinante utilizado foram: pH = 3.31; Condutividade elétrica (CE) = 9963.33 $\mu\text{S. cm}^{-1}$ e Sólidos totais (TS) = 71.93 g. L⁻¹. Já o fosfato natural reativo moído utilizado é oriundo de fosforita contendo 27% de P₂O₅ total, 8,1% de P₂O₅ solúvel em 2% de ácido cítrico e 32% de Ca.

Tabela 2: Propriedades básicas do fino de carvão vegetal de madeira de eucalipto (biochar).

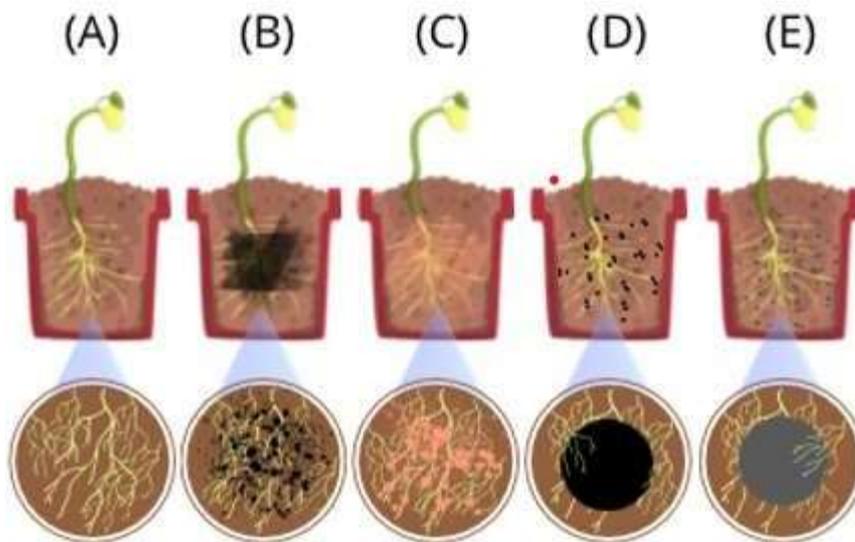
Propriedades	Resultados	Propriedades	Resultados
pH	8.96 (0.01)	C/N	255.03 (5.91)
C.E ($\mu\text{S. cm}^{-1}$)	786.33 (5.94)	P (g.kg ⁻¹)	3.29 (0.03)
Densidade (kg.dm ⁻³)	0.61 (0.01)	K (g.kg ⁻¹)	1.08 (0.05)
Cinzas (%)	50.66 (1.06)	Ca (g.kg ⁻¹)	50.66 (4.33)
VC (%)	23.67 (4.60)	Mg (g.kg ⁻¹)	4.26 (0.24)
Umidade (%)	4.91 (1.18)	Na (g.kg ⁻¹)	0.86 (0.03)
FC (%)	20.76 (2.48)	S (g.kg ⁻¹)	3.57 (0.30)
OC (g.kg ⁻¹)	507.50 (2.3)	Fe (g.kg ⁻¹)	17.52 (0.45)
N total (g.kg ⁻¹)	1.99 (0.05)	Zn (mg.kg ⁻¹)	27.21 (0.09)
		Mn (mg.kg ⁻¹)	479.49 (12.74)
		Cu (mg.kg ⁻¹)	17.88 (0.27)

Os valores entre parênteses são os intervalos de confiança de 95%. EC = condutividade elétrica; VC = compostos voláteis; FC = carbono fixo; OC = carbono orgânico.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados (Figura 1), com cinco tratamentos e cinco repetições (blocos), totalizando 25 parcelas experimentais (vasos). Os tratamentos serão: Testemunha (solo natural sem adubação), Biocarvão (aplicado de modo convencional, não granulado), Convencional (somente fósforo natural reativo no plantio), Grânulo 1 (grânulo formado por biocarvão e extrato pirolenhoso) e Grânulo 2 (grânulo formado por biocarvão, extrato pirolenhoso e fósforo natural reativo).

Figura 1: Representação dos tratamentos experimentais. (A) solo natural; (B) biochar moído não granulado; (C) fosfato natural não peletizado (D) Grânulo 1, com biocarvão e extrato pirolenhoso; (E) Grânulo 2, com biocarvão, fosfato natural reativo e extrato pirolenhoso.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As quantidades de fosfato natural reativo no tratamento Convencional (C) utilizada foi a mesma de biocarvão aplicado no tratamento Biocarvão (B), no caso 1,1 g. L⁻¹ solo no vaso, esta mesma quantidade aplicada foi usada para produzir os fertilizantes organominerais dos tratamentos Grânulo 1 (G1) e Grânulo 2 (G2).

Para a produção dos fertilizantes organominerais granulados, correspondentes aos tratamentos Grânulo 1 e Grânulo 2, o aglutinante extrato pirolenhoso foi adicionado a mistura de biocarvão e FNR com o auxílio de um borrifador e uma proveta até que se atingisse uma homogeneidade na formação dos grãos e que todo o material fosse misturado para a confecção do tratamento Grânulo 1 (para isso uma espátula plástica foi utilizada), com o mesmo procedimento sendo realizado para a confecção do Grânulo 2, no entanto houve a adição de fosfato natural reativo juntamente com o aglutinante e o biocarvão triturado. Após testes preliminares, no tratamento Grânulo 1 foram adicionados 20 ml de aglutinante extrato pirolenhoso, e para o Grânulo 2 a quantidade borrifada foi igual a 25 ml de aglutinante extrato pirolenhoso. Para a granulação das misturas, foi utilizado um granulador adaptado a partir de um agitador horizontal. Após o procedimento anterior os grânulos foram secos em estufa a 65° C até atingirem massa constante. Em seguida, a quantidade de grânulos produzidos em cada tratamento foi

dividido de forma igual entre os vasos, de modo que para os vasos contendo o tratamento Grânulo 1, foram aplicados 4,45 g/vaso de grânulos, já para os vasos com o tratamento Grânulo 2 foram aplicados 8,90 g/vaso de grânulos.

O solo utilizado correspondeu à camada de 0 a 20 cm de profundidade de um Latossolo coletado em uma área de Cerrado nativo. O solo foi caracterizado quanto às suas propriedades físicas e químicas, de acordo com Teixeira et al. (2017), sendo: areia = 780 g.kg⁻¹ ; silte = 100 g.kg⁻¹ ; argila = 120 g.kg⁻¹ ; pH em água = 5,0; fósforo disponível (Mehlich 1) = 1,36 mg.kg⁻¹ ; fósforo remanescente = 40,18 mg.L⁻¹ ; potássio (Mehlich 1) = 10,6 mg.kg⁻¹ ; cálcio = 0,42 cmolc.dm⁻³ ; magnésio = 0,11 cmolc.dm⁻³ ; alumínio = 0,14 cmolc.dm⁻³ ; hidrogênio = 1,38 cmolc.dm⁻³; saturação por bases (V) = 28,20%; capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) = 2,10 cmolc.dm⁻³ e carbono orgânico do solo (COS) = 0,54 dag.kg⁻¹ .

Os vasos foram preenchidos com 3 dm³ de solo, passado em peneira de 2 mm de malha, e os respectivos tratamentos foram misturados e homogeneizados no solo. Na sequência foi realizado o plantio de dez sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* cv. Carioquinha) nos vasos e por fim uma irrigação com água destilada para elevar a umidade do solo para próxima da capacidade de campo. Aos sete dias após a emergência foi realizado um desbaste, deixando apenas uma planta de feijoeiro por vaso.

Com 60 dias após o plantio foi feita uma adubação de cobertura com nitrogênio, de acordo com NOVAIS *et al.* (1991). A dose aplicada foi de 100 mg.dm⁻³ de N, a fonte utilizada foi a ureia (45% de N). Após 100 dias as plantas foram colhidas para a determinação da produtividade de grãos e foram coletadas amostras de solo de cada vaso para análises químicas.

As análises químicas do solo foram realizadas de acordo com Teixeira *et al.* (2017): pH em água; fósforo disponível pelos extratores Mehlich 1 e resina de troca iônica; fósforo remanescente; potássio (Mehlich 1); cálcio; magnésio; alumínio; acidez potencial (H+Al) e carbono orgânico do solo (COS). A partir dos resultados obtidos foram calculados os valores de Soma de Bases (SB); Capacidade de Troca Catiônica em pH igual a 7,0 (T) e Saturação por Bases (V).

Os dados foram submetidos a análise de variância e, quando significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%. O programa estatístico utilizado foi o R versão 3.6.3 – *R Development Core Team*.

5. RESULTADOS

5.1 Propriedades do solo

Para as propriedades químicas do solo, exceto para fósforo remanescente, potássio, magnésio, H+Al e carbono orgânico do solo, foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3). O maior valor de pH do solo foi obtido no tratamento convencional (5,94), enquanto que o menor valor foi verificado no tratamento testemunha (5,00). De acordo com a classificação agrônômica para acidez ativa do solo, o valor de pH do tratamento testemunha foi considerada elevada (ALVARES *et al.*, 1999). Para os demais tratamentos, a acidez foi enquadrada como média (ALVARES *et al.*, 1999).

Tabela 3. Propriedades químicas do solo nos tratamentos Convencional (C), Grânulo 1 (G1), Biocarvão, Grânulo 2 (G2) e Testemunha (Teste).

Variáveis	— Teste	Tratamentos			
		C	B	G1	G2
pH	5,00 c	5,94 a	5,36 b	5,48 b	5,46 b
P (mg dm ⁻³)	1,36 b	111,78 a	1,96 b	1,22 b	13,20 b
Prem (mg L ⁻¹)	40,18 a	41,70 a	41,08 a	40,64 a	40,22 a
K (mg dm ⁻³)	10,6 a	21,2 a	21,2 a	21,2 a	21,2 a
Ca (cmolc dm ⁻³)	0,42 e	0,91 a	0,74 b	0,52 d	0,63 c
Mg (cmolc dm ⁻³)	0,11 a	0,17 a	0,18 a	0,15 a	0,13 a
Al (cmolc dm ⁻³)	0,14 a	0,00 b	0,04 b	0,06 ab	0,03 b
H+Al (cmolc dm ⁻³)	1,52 a	1,50 a	1,28 a	1,50 a	1,34 a
T (cmolc dm ⁻³)	2,10 b	2,60 a	2,26 ab	2,22 ab	2,15 b
V (%)	28,20 d	42,46 a	43,32 a	32,60 cd	37,93 bc
COS (dag dm ⁻³)	0,54 a	0,44 a	0,69 a	0,54 a	0,47 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

O fósforo disponível, determinado pelo método Mehlich 1, foi significativamente maior no tratamento convencional (Tabela 3), sendo classificado como muito alto ou muito bom (ALVARES *et al.*, 1999). No tratamento grânulo 2 o fósforo foi classificado como baixo e nos demais tratamentos muito baixos (ALVARES *et al.*, 1999). Em relação ao fósforo remanescente, não foi verificada diferenças significativas entre os tratamentos e os valores variaram de 41,70 a 40,18 mg L⁻¹ (Tabela 3).

Os teores de potássio trocável não diferiram significativamente entre os tratamentos (Tabela 3). No entanto, de acordo com as classes de interpretação de potássio para fins de avaliação da fertilidade do solo (ALVARES *et al.*, 1999), o teor desse elemento nos tratamentos testemunha foi classificado como muito baixo, enquanto nos demais tratamentos os teores foram baixos.

Para o cálcio trocável, o maior valor foi obtido no tratamento convencional e o menor, no tratamento testemunha (Tabela 3), enquanto os demais tratamentos apresentaram valores intermediários. De acordo com ALVARES *et al.* (1999), os teores de cálcio foram classificados como baixos.

Os teores de magnésio não diferiram significativamente entre os tratamentos e variaram de 0,18 a 0,11 cmolc dm⁻³ (Tabela 3), sendo classificados como baixos nos tratamentos convencional e biocarvão e muito baixos nos demais tratamentos (ALVARES *et al.*, 1999).

Para o alumínio trocável acidez potencial trocável, o maior valor foi obtido no tratamento testemunha (Tabela 3). Em todos os tratamentos, a acidez potencial trocável foi classificada como muito baixa (ALVARES *et al.*, 1999).

Os valores de H+Al, acidez potencial, não diferiram significativamente entre os tratamentos (Tabela 3), sendo classificados como baixos, de acordo com as classes de interpretação dos resultados da análise de solo para fins de avaliação da fertilidade (ALVARES *et al.*, 1999).

A capacidade de troca de cátions potencial ou a pH 7,0 (T) foi maior no tratamento convencional, seguido pelos tratamentos biocarvão, grânulo 1, granulo 2 e testemunha, nessa ordem (Tabela 3). Em todos os tratamentos, os valores de T foram classificados como baixos (ALVARES *et al.*, 1999).

Os valores de saturação por bases do solo (V) foram maiores nos tratamentos biocarvão e convencional, seguidos pelos tratamentos grânulo 2, grânulo 1 e testemunha (Tabela 3). De acordo com ALVARES *et al.* (1999), os valores de V foram classificados como médios, nos tratamentos biocarvão e convencional, e baixos nos demais tratamentos, sendo os solos considerados distróficos, $V < 50\%$ (EMBRAPA, 1999)

Para carbono orgânico do solo (COS) não houve diferença significativa entre os tratamentos e os valores variaram de 0,44 a 0,69 dag kg⁻¹ (Tabela 3). Em todos os tratamentos, os valores de COS foram classificados como baixos (ALVARES *et al.* 1999).

5.2 Produção do feijoeiro

Para a produção do feijoeiro foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos quanto ao número de vagens e número de grãos (Figura 1). Os maiores valores, tanto de número de vagens quanto de grãos foram obtidos no tratamento convencional, seguido dos tratamentos grânulo 2, biocarvão, granulo 1 e testemunha.

Considerando a produtividade relativa como 100% no tratamento convencional, verificou-se, por exemplo, que os valores de número de vagens e de grãos no tratamento grânulo 2 corresponderam a 78% e 50%, respectivamente, dos obtidos no tratamento convencional (Figura 1).

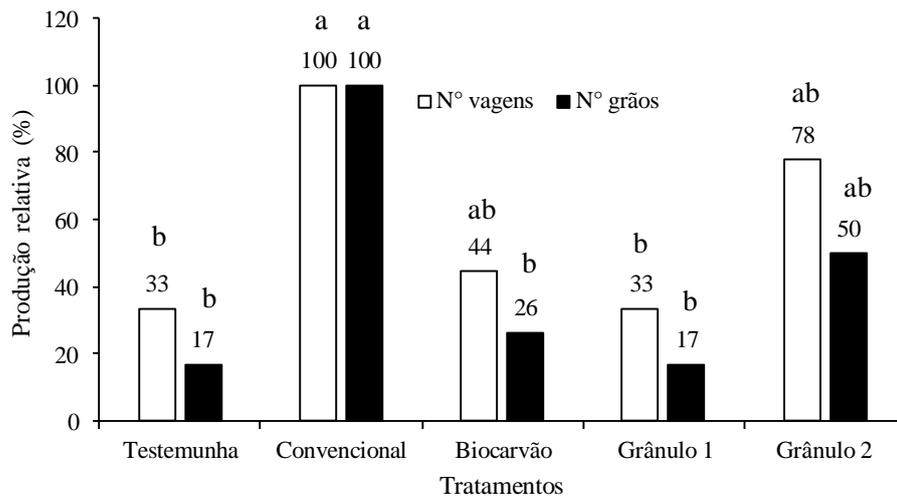


Figura 2. Número de vagens e de grão de feijoeiro nos tratamentos testemunha, convencional, biocarvão, grânulo 1 e grânulo 2.

6 DISCUSSÃO

6.1 Propriedades do solo

De acordo com os resultados, o tratamento Convencional apresentou maior valor de pH e o mais próximo do recomendado para a cultura do feijão em plantio convencional, no caso sendo 6,2 (FAGERIA, 2001). O maior valor de pH no tratamento Convencional que recebeu apenas fosfato natural reativo pode ser devido a formação de bases, como óxido de cálcio, proveniente do fosfato (MARTINS *et al.*, 2015; BATISTA, 2017; TOSCANI E CAMPOS, 2017; ALOVISI *et al.*, 2017), embora outros autores não verificaram elevação do pH do solo pelo uso de fosfatos naturais reativos (SUSTAKOWSKI, 2021; ALOVISI *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2012; ROCHA NETO, 2020).

Para os tratamentos com Biocarvão, tanto na forma em pó quanto na forma de grânulos (tratamentos Grânulo 1 e Grânulo 2), o aumento do pH do solo em relação ao tratamento testemunha (Tabela 3) pode ser justificado pela presença de bases presentes nas cinzas, formadas durante o processo de pirólise. De acordo com vários autores, as cinzas dos biocarvões são ricas em bases, tais como, CaO, MgO e K₂O, e hidróxidos como Ca(OH)₂, Mg(OH)₂ e KOH, de modo que os biocarvões corrigem a acidez do solo, a semelhança dos corretivos (MUKOME *et al.*, 2013; LEHMANN *et al.*, 2011; JOSEPH *et al.*, 2009).

Embora nos tratamentos grânulo 1 e grânulo 2, o aglutinante, extrato pirolenhoso seja de caráter ácido, o pH obtido nesses tratamentos não diferiram do biocarvão em pó (Tabela 2). A característica ácida deste ligante se deve ao processo de pirólise e a matéria-prima utilizada para a produção do bio-óleo, com a celulose, hemicelulose e lignina sendo desintegradas no processo houve a formação de grande grupo de ácidos orgânicos como por exemplo ácido acético, ácido butanoico, ácido fórmico, ácido propanoico, entre outros (CHENG *et al.*, 2022; LEE *et al.*, 2022; ZHANG *et al.*, 2020). O valor de pH ligeiramente menor no tratamento Grânulo 2 quando comparado ao Grânulo 1 pode ser explicado pelo aumento da dose de aglutinante utilizado para a produção do Grânulo 2, composto por extrato, biocarvão e fosfato natural reativo. SANTOS JÚNIOR *et al.*, (2025) avaliando as propriedades de grânulos de fertilizantes organominerais produzidos a partir de biocarvão e fosfato natural com três diferentes aglutinantes constatou a diminuição gradual de pH dos grânulos de acordo com o aumento das doses de extrato incorporado aos grânulos.

Os altos teores de P disponível no tratamento Convencional, podem ser explicados devido ao fosfato natural utilizado e a extração com Mehlich 1, extrator ácido. De acordo com RAIJ *et al.*, (1991) os fosfatos naturais apresentam baixa solubilidade e, nesse caso, o extrator mais indicado é a resina de troca iônica. No caso dos fosfatos naturais, para aumentar a solubilidade, recomenda-se aumentar o contato com o solo, por meio da incorporação, e utilizar fosfatos finamente moídos (CHIEN; HAMMOND, 1989; HAMMOND e LEON (1983).

Nos demais tratamentos, não houve diferenças significativas dos teores de fósforo em relação à Testemunha (Tabela 2). Esses resultados podem ser explicados pelos baixos teores de P no biocarvão (Tabela 1). Outros autores também verificaram que, devido aos baixos teores de P, os biocarvões de madeira isoladamente não elevam significativamente os teores desse elemento no solo P (LI *et al.*, 2019). Por outro lado, biocarvões produzidos de matérias-primas mais ricas em P, como esterco de animais contribuem significativamente para elevar os teores de P do solo (FEOLA CONZ *et al.* 2017).

Em experimento conduzido por SILVA *et al.* (2017) ocorreu aumento nos teores de P dos solos em resposta à adição de biochar com teores mais elevados desse elemento quando comparados ao biocarvão do presente estudo. Além da matéria-prima, a temperatura de pirólise também pode afetar os teores de fósforo no biocarvão. O aumento da temperatura de pirólise concentra mais o fósforo, aumentando os seus teores no biocarvão (AL-WABEL *et al.*, 2013).

Os efeitos do biocarvão como condicionadores das propriedades do solo, como aumento do pH e da CTC podem aumentar a disponibilidade do fósforo do solo pela precipitação de íons ferro (Fe) e de alumínio (Al) presentes na solução solo e diminuição da capacidade de adsorção pelas argilas, respectivamente (DeLUCA *et al.*, 2015; DARI *et al.*, 2016; JIN *et al.*, 2016).

No caso dos tratamentos com biocarvão granulado, embora os teores de fósforo não tenham se diferenciado do tratamento com biocarvão em pó, o aglutinante utilizado, extrato pirolenhoso, assim como o biocarvão, apresenta grupos funcionais contendo oxigênio, como por exemplo, grupos hidroxila e carboxila o que fez com que o grânulo possuísse polaridade mais alta, aumentando a retenção de nutrientes pelo grânulo, especialmente compostos iônicos polares, dentre eles PO_4^{3-} (SANTOS JÚNIOR, 2022; SAMSURI *et al.*, 2014). SIM *et al.* (2021) constataram que grupos carboxilas e hidroxila combinados com H^+ formam grupos carregados positivamente, possibilitando a adsorção de grupos carregados negativamente, dentre eles formas de P encontrados no

solo. Essa característica proporciona-se aos fertilizantes granulados uma liberação mais lenta de nutrientes gerada pela menor difusão de água até o interior do grânulo (CHENG *et al.*, 2022), sendo a difusão de água para o interior do grânulo controlado pelo aumento da densidade gerado pela alta massa molecular e insolubilidade em água de compostos presentes no extrato pirolenhoso (LACHOS-PEREZ *et al.*, 2023; MATTOS *et al.*, 2019). Desse modo a hipótese sugerida é de que devido a liberação lenta dos nutrientes provenientes do biocarvão e do fosfato natural reativo nos grânulos, as concentrações de P liberados pelo grânulo foram menores quando comparados aos resultados encontrados para o tratamento Convencional. Outro fator que pode explicar a liberação mais lenta de P pode ser explicada pela formação de pontes de cátions entre o fósforo e a matriz do biocarvão (KIM *et al.*, 2014; LUO *et al.*, 2021). De modo geral quanto maiores as doses de aglutinante de extrato pirolenhoso, menor a capacidade de absorção de água pelo grânulo, e em doses altas como as usadas neste experimento, aumentam o potencial de formação de uma matriz mais coesa ao redor do grânulo (SARKER *et al.*, 2023; YUSTANTIA *et al.*, 2022). Baseado na constatação feita pelos autores citados anteriormente, a hipótese sugerida é de que a matriz ao redor tanto do Grânulo 1 como do Grânulo 2 tenha afetado a dissolução tanto do P no biocarvão como do fosfato natural reativo, diminuindo a liberação de nutrientes para o solo.

Para o potássio não houve diferença significativas entres os tratamentos (Tabela 2), indicando que o biocarvão adicionou pouco potássio e não influenciou nas propriedades do solo relacionadas a esse elemento.

O tratamento Convencional apresentou maiores teores de cálcio quando comparado aos demais tratamentos devido à alta concentração deste elemento no fosfato utilizado, que por consequência da dissolução do fosfato levou ao aumento da concentração deste elemento no solo (Chien & Menon, 1995; Bolan *et al.*, 1997; Novais & Smyth, 1999; Arcand & Schneider, 2006). LUCHINI (2008) também obteve aumento dos teores de cálcio na solução do solo na aplicação de fosfatos naturais em solos arenosos sem calagem e sem inoculação com *Bradirhizobium japonico* em feijão guandu. ALOVISI *et al.* (2017), avaliando a disponibilidade de cálcio após a adubação com pó de rocha observaram aumento dos teores do nutriente após 120 dias em arroz sequeiro. OSTERROHT (2003) ressalta a importância da granulometria da rocha na disponibilização de nutrientes pelos fosfatos, assim quanto menor for a granulometria, mais rápida a alteração do mineral e disponibilidade do nutriente as plantas.

Para o tratamento Biocarvão, houve aumento dos teores do nutriente no solo quando comparado ao tratamento Testemunha, podendo ser explicado pela presença deste elemento no fino do biocarvão. SOUSA (2018) relata aumento dos teores de cálcio em Neossolo Quartzarênico com 91% de areia após a aplicação de biocarvão de eucalipto produzido em diferentes temperaturas de pirólise. Para WOICIECHOWSKI *et al.* (2018), a cinza originada do processo de pirólise do biochar eleva o teor deste nutriente no solo por ser rica em óxidos e hidróxidos de Ca, elevando o teor de bases trocáveis (Ca^{+2}).

Para os tratamentos Grânulo 1, houve aumento significativo dos teores de Ca no solo, sendo superior ao tratamento Testemunha e inferior ao tratamento Grânulo 2. Apesar de anteriormente ter sido citado que o biocarvão contém grande concentração de Ca em suas cinzas, a liberação deste nutriente para o solo foi limitada devido a característica do ligante utilizado, no caso o extrato pirolenhoso, que diminui a difusão de água para o interior do grânulo desse modo a liberação de nutrientes é feita de modo gradual (CHENG *et al.*, 2022).

No tratamento Grânulo 2, houve diferença significativa quando comparado tratamento Testemunha. A hipótese sugerida é de que devido a presença de Ca no biocarvão e no fosfato natural reativo, os teores tenham se elevado. Em experimento conduzido por VEGA (2024), os valores de Ca aumentaram em relação a testemunha aplicando fertilizante organomineral a base de biocarvão e extrato pirolenhoso, explicando que a interação da matriz orgânica com os fertilizantes minerais fez com que a solubilização dos mesmos fosse mais lenta, além disso a diferença entre os teores de Ca obtidos neste experimento e no experimento anteriormente citado deve-se a aplicação de calcário na forma de carbonato de cálcio em todos os tratamentos feitos pelo autor.

Para o Mg, não houve diferença significativa nos teores do nutriente no solo quando comparado o tratamento Testemunha, isso se deve as baixas concentrações deste elemento nos e constituintes nos tratamentos e pela difusão lenta do nutriente pelo grânulo. Segundo ENDERS *et al.* (2012) a disponibilidade de certos nutrientes, dentre eles o magnésio, varia de acordo com o tipo de material utilizado como matéria-prima na produção do biocarvão, esta mesma conclusão foi obtida por outros autores quando se aplicam biocarvões provenientes de outras matérias-primas (YUAN; XU, 2011). Para SILVA (2016), também houve aumento na concentração de Mg ao aplicar biocarvão proveniente de casca de eucalipto produzido a baixa temperatura, explicando que o aumento foi gerado devido as cinzas no biochar que são ricas em bases trocáveis.

O tratamento Convencional os teores de Mg não tiveram diferença estatística significativa ao ser comparado ao tratamento Testemunha. Em comparação ao experimento realizado por RAFAEL *et al.* (2018), também não houve diferença estatística quando aplicado somente fosfato natural reativo no solo. Este resultado pode ser explicado por não haver a presença deste elemento na composição do fosfato natural utilizado. Para ERNANI *et al.* (2001), não houve diferença significativa na concentração de Mg nas diferentes camadas do solo após a aplicação de fosfato de cálcio no solo.

Em relação aos tratamentos Grânulo 1 e Grânulo 2, também se equiveram estatisticamente aos demais tratamentos. Mesmo que ambos tivessem em sua composição o biocarvão, o fenômeno de liberação lenta dos nutrientes citado anteriormente para outros elementos também se fez valer para o Mg. SANTOS JÚNIOR (2022) em experimento avaliando pellets de biocarvão sem e com fertilizante PK, relata aumento do nutriente em função tanto da quantidade presente no fertilizante como no biochar, contrastando com os encontrados neste experimento, já que o biochar utilizado apresenta menor quantidade em comparação ao utilizado pelo autor.

No tratamento Biocarvão, os teores de Al trocável do solo (acidez potencial trocável) foram menores quando comparados ao tratamento Testemunha, isso é explicado pela atuação de biocarvões como corretivos de solo, elevando o pH convertendo Al^{+3} em $Al(OH)^{+2}$ e $Al(OH)^{+3}$ a partir de reações de precipitação, além da adsorção destes grupos nas carboxilas encontradas na superfície do biocarvão (QIAN; CHEN; HU, 2013; TANG *et al.*, 2013). Alguns autores utilizando diferentes concentrações de cavaco de madeira na produção de biocarvões, demonstraram a redução do Al no solo após a aplicação na cultura da soja, explicando que o fenômeno ocorreu devido ao valor de calagem do biochar (Van Zwieten *et al.*, 2010).

O tratamento Convencional diminuiu os teores de alumínio trocável no solo. A elevada presença de Ca na composição do fosfato elevou o pH do solo, conseqüentemente, diminuindo os valores de Al no solo a valores iguais a $0,00 \text{ cmolc.dm}^{-3}$. Para ALOVISI *et al.* (2017), a precipitação de Al após a aplicação de pó de basalto na cultura da soja ocorreu devido ao aumento do pH em decorrência das reações de Ca presente no material, liberando bases para a solução do solo (OH^-), o mesmo fenômeno ocorrido neste experimento.

Para o Grânulo 1, a redução do Al presente no solo foi reduzido principalmente devido ao aumento do pH promovido pelos materiais presentes no grânulo que como explicado anteriormente elevou o pH e conseqüentemente houve a redução do alumínio, já para o Grânulo 2 o fenômeno observado pode ser explicado pela presença de bases como Ca na composição do fosfato natural reativo e do biocarvão presente no grânulo, além de outras bases como Mg e K no biocarvão, que de forma conjunto reduziram os níveis de Al no solo. Segundo FAGERIA (2001) solos que apresentam pH maior que 5,5 não se observam níveis de Al⁺ no solo que sejam tóxicos para as plantas, e para ambos os grânulos, este fenômeno não ocorreu.

A acidez potencial (H+Al) no tratamento Biocarvão foi reduzida, mesmo que não tenha se diferido estatisticamente do tratamento Testemunha. Esse resultado pode ser explicado por fatos citados anteriormente, como a discreta elevação do pH e redução significativa dos teores de Al trocável no solo. Este resultado é contrário aos obtidos em experimento utilizando biocarvão do endocarpo de Ouricuri na cultura do feijão, segundo TENÓRIO (2017). A hipótese sugerida é de que de modo geral, todos os tratamentos não se diferiram estatisticamente do tratamento Testemunha devido a um equilíbrio entre o pH e os teores de Al no solo.

No tratamento Convencional, a elevação do pH em quase 1,0 e a redução a 0,00 de Al no solo por fatores anteriormente esclarecidos mantiveram a acidez potencial igualada estatisticamente ao tratamento Testemunha, já para os Grânulos 1 e 2, a menor elevação do pH quando comparado ao tratamento Convencional e menor correção do Al presente no solo equivaleu aos Grânulos 1 e 2. Em experimento conduzido por VEGA (2024) aplicando organominerais a base de biocarvão e extrato pirolenhoso a acidez potencial foi aumentada, mas não houve diferença estatística com o tratamento controle gerado pela redução do alumínio a 0,00 cmolc. dm⁻³ e maior elevação do pH, quando comparado ao pH deste experimento.

No tratamento Biocarvão a capacidade de troca de cátion potencial (CTC- T) foi maior quando comparado ao tratamento Testemunha, devido ao aumento das bases trocáveis, corroborando com MOTA (2020), que explica que a elevação da CTC se deve principalmente a adição de bases como o Ca. Outros autores relatam a importância da adição de bases em solos ácidos e de baixa matéria orgânica (GONDEK *et al.*, 2019), como o solo utilizado neste experimento. BIBAR (2014) diz que a adição de cátions derivado dos biocarvões aumenta a CTC, de acordo com a biomassa (matéria-prima) utilizada.

Para os Grânulos 1 e 2 a CTC aumentou significativamente quando comparada a Testemunha. O fato pode ser explicado principalmente pelo aumento no pH do solo (SANTOS JÚNIOR, 2022), e pela adição de bases pelo biochar que constitui ambos os grânulos (DUME; MOSSISA; NEBIYU, 2016). Os mesmos autores relatam que a porosidade e a área superficial do biocarvão também contribuem no aumento da CTC, no entanto com a adição do aglutinante extrato pirolenhoso, ambas as características do biocarvão foram reduzidas, explicando os menores valores de T quando comparados ao tratamento Biocarvão e Convencional.

Já no tratamento Convencional, a CTC potencial se elevou e apresentou maiores valores quando comparados aos demais tratamentos, em função dos maiores aumentos nos teores de cálcio pelo fosfato natural reativo, como discutido anteriormente. Em experimento conduzido por ESTEVES (2004), aplicando fontes naturais e fontes solúveis de fosfatos na cultura do triticale, observou-se que houve aumento da CTC quando comparado ao tratamento onde não houve aplicação de nenhuma fonte de P, explicando que o aumento da CTC acompanhou o aumento de elementos como o Ca, Mg e soma de bases com o mesmo apresentando efetiva participação nos valores da capacidade de troca de cátions. O aumento relatado pelo autor também foi visto quando na cultura de soja foram aplicadas maiores proporções de fosfatos solúveis conjuntamente a aplicação de fosfatos menos solúveis, indicando que maiores proporções de fosfatos solúveis possuem maior aumento da CTC do que fontes de P menos solúveis a curto prazo, no entanto em segundo cultivo o fosfato natural (menos solúvel) apresentou maior CTC.

No tratamento Biocarvão a saturação por bases aumentou em comparação a Testemunha. Resultados semelhantes foram obtidos com biocarvão de Ouricuri no feijoeiro por TENÓRIO (2017). Este resultado foi contrário ao obtido por MOTA (2020), que relatou diminuição da saturação devido ao aumento da acidez potencial e da CTC potencial em maior proporção que o acréscimo de bases no solo.

Para o tratamento Convencional houve aumento significativo na saturação por bases, resultados similares foi obtido por alguns autores (GARCIA., 2014; CRUZ 2015). Os autores testaram a aplicação de diferentes fontes de P na cultura do milho, indicando que fontes com maiores concentrações de Ca elevaram a saturação mesmo sem a aplicação de calcário, como no caso deste experimento onde o fosfato natural reativo utilizado elevou as concentrações de Ca no solo, sem a aplicação de calcário. LUCHINI (2008) aplicando diferentes fontes de P no solo em solos arenosos e argilosos com e sem calagem constatou o aumento de V% aplicando fosfato natural para estas

situações.

A saturação por bases aumentou em comparação à testemunha tanto para o Grânulo 1 quanto para o Grânulo 2. Para o Grânulo 1 este valor se explica pela adição de Ca e Mg pelo biochar de eucalipto, já para o Grânulo 2 o aumento também teve influência do fosfato natural reativo por meio do Ca presente em sua composição, assim como observado por SANTOS JÚNIOR (2022). O autor citado anteriormente utilizou de biocarvão a base de esterco bovino, que tinha maior concentração de bases quando comparado ao biocarvão de eucalipto utilizado neste experimento.

Apesar do biocarvão ser fonte de carbono não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Uma possível explicação é o favorecimento da atividade biológica do solo pelo biocarvão, com consequente mineralização da matéria orgânica do solo, efeito *priming* positivo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). De acordo com os autores, o efeito *priming* positivo refere-se à aceleração da mineralização do COS, enquanto o efeito *priming* negativo está associado ao retardamento da mineralização do COS quando se adiciona novas fontes de carbono ao solo.

6.1 Produção do feijoeiro

Foi considerado a produção do feijoeiro obtida no tratamento Convencional como 100% para a obtenção das produções relativas dos demais tratamentos (Figura 2). A maior produção no tratamento convencional está relacionada a maior disponibilidade de fósforo, decorrente da aplicação de fosfato natural, como discutido anteriormente. Resposta do feijoeiro a aplicação de fosfato natural reativo também foi obtido por VIEIRA (2021). Segundo MACHADO *et al.* (2011), em solos mais arenosos, devido aos menores teores de argila e matéria orgânica, há uma menor adsorção de P e assim o elemento em questão se torna mais disponível às plantas. ZUCARELI *et al.*, (2011), relatam aumento no número de grãos produzidos pelo feijoeiro após a aplicação de doses crescentes de P₂O₅. Fosfatos naturais reativos tem maior necessidade de contato com o solo para maiores taxas de dissolução da rocha e liberação de P suficiente para o bom desenvolvimento da cultura (CHIEN & MENON, 1995a, 1995b; RAJAN *et al.*, 1996; HOROWITZ & MEURER, 2004).

Em caso de fosfatos essa eficiência pode aumentar com o passar do tempo devido ao ser potencial poder residual com a liberação lenta de P e maior proteção a fixação no solo (NOVAIS & SMYTH, 1999; RESENDE *et al.*, 2006b; COSTA *et al.*, 2008; GUEDES *et al.*, 2009; ONO *et al.*, 2009). A origem sedimentar do fosfato tende ao mesmo ser mais reativo e hidrossolúvel do que fosfatos de origem ígnea (KAMINSKI & PERUZZO, 1997), podendo assim obter maior eficiência no curto prazo.

Para o Biocarvão a produção relativa de número de vagens aumentou em comparação à Testemunha, alguns autores já relataram aumento na quantidade de vagens (TENÓRIO, 2017; ÁVILA *et al.*, 2010). Em experimento conduzido por SILVA (2016), verificou-se que houve aumento tanto no número de vagens quanto do número de grãos de feijão adubado com biochar oriundo de diferentes tipos de biomassa. A autora explica que o aumento do número de vagens e grãos, dentre outras características agrônômicas varia de acordo com a disponibilidade de nutrientes presentes no solo, podendo explicar a diferença no número de vagens e grãos obtidos entre os dois experimentos.

Para o Grânulo 2, tanto o número de grãos quanto número de vagens foram superiores aos demais tratamentos, exceto em comparação ao tratamento Convencional. URRUTIA *et al.* (2014) explicam que a associação de fertilizantes fosfatados (ex: fosfato natural reativo) com biocarvões favorece a formação de complexos que em tese são mais eficientes em promover e aumentar absorção de P pelas plantas e melhorar sua utilização. Segundo SANTOS (2015), a eficiência de fertilizantes a base de biocarvão e fertilizante fosfatado não apresentou diferença estatística em primeiro cultivo de duas doses deste fertilizante, mas já para segundo cultivo o experimento apresentou diferença significativa na produção de milho em segundo ciclo, indicando que melhores resultados possam ser expressos com a permanência dos fertilizantes granulados por maior tempo. Pellets de biocarvão onde foram incorporados fertilizantes contendo P e K apresentam maiores taxas de liberação destes nutrientes do que pellets de biocarvão sem fertilizantes pela presença de maiores quantidades destes fertilizantes nos pellets (KIM; HENSLEY; LABBÉ, 2014), assim como visto neste experimento onde o Grânulo 1 sem a presença de fosfato natural apresentou menor taxa de liberação de P no solo, logo, menor aproveitamento pelo feijoeiro. Além disso, a baixa superfície específica e pequeno tamanho de poros do biocarvão diminui a interação da água com o fertilizante associado (KIM *et al.*, 2014).

O fato citado anteriormente é comum para biocarvões de madeira obtidos sob baixas temperaturas (IGALAVITHANA *et al.*, 2017 ; KEILUWEIT *et al.*, 2010 ; LAGHARI *et al.*, 2016 ; SHAHEEN *et al.*, 2019).

Para o Grânulo 1, o mesmo apresentou a mesma produtividade tanto no número de vagens como no número de grãos quando comparado à Testemunha. Este resultado pode ser explicado pelo processo de granulação juntamente com a adição de aglutinante, que influencia de forma direta sobre a liberação de nutrientes, mas também na taxa de dissolução em água (ROMBEL; KRASUCKA; OLESZCZUK, 2021). Para biocarvões oriundos de biomassa lignocelulósica por pirólise rápida, quando incorporados no solo, ainda precisam que fertilizantes inorgânicos ou orgânicos sejam integrados à mistura para que haja melhora no rendimento das colheitas (KIM; HENSLEY; LABBÉ, 2014). Para os autores citados anteriormente um dos fatores que mais afeta a liberação de nutrientes para o solo é a proporção de aglutinante, ou seja, quanto maior essa proporção menor será a taxa de liberação de nutrientes, devido a formação de poros menores e menor volume de poros, sendo este argumento um dos possíveis motivos para os resultados obtidos, consequentemente não havendo diferença estatística e numérica entre os valores encontrados na Testemunha e o Grânulo 1.

7. CONCLUSÃO

O biocarvão, na forma de pó ou granulada melhorou as propriedades químicas do solo relacionadas à fertilidade como pH, Ca, Al, V% e CTC.

Nas doses utilizadas, o biocarvão, tanto na forma de pó quanto granulada, não contribuiu para o aumento da produção do feijoeiro.

O enriquecimento do biocarvão utilizado se mostrou extremamente importante para a obtenção de melhores resultados.

A quantidade de aglutinante utilizado interferiu diretamente na dinâmica de dissolução do grânulo e liberação de nutrientes para o meio, sendo necessária a realização de novas pesquisas abordando sobre doses dos constituintes dos grânulos.

Novas pesquisas podem ser realizadas por maiores períodos ou com culturas de maior ciclo para a avaliação do grânulo por maior tempo.

8. REFERÊNCIAS

Abdullah, N., Sulaiman, F., & Zainal, Z. (2010). **Thermal properties of biochar and its potential use in agriculture**. *Biomass and Bioenergy*, 34(4), 289-297.

ALMEIDA, M. J. G. de. Caracterização e fracionamento do extrato pirolenhoso de eucalipto. 2019. 90 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Química) – Instituto Politécnico de Tomar, Tomar, 2019.

ALOVISI, A. M. T.; FRANCO, D.; ALOVISI, A. A.; HARTMANN, C. F.; TOKURA, L. K.; SILVA, R. S. da. Atributos de fertilidade do solo e produtividade de milho e soja influenciados pela rochagem. Edição Especial: II Seminário de Engenharia de Energia na Agricultura. Acta Iguazu, v. 6, n. 5, p. 57-68, 2017. ISSN: 2316-4093

Alovisi, A.M.T.; Taques, M.M.; Alovisi, A.A.; Tokura, L.K.; Silva, R.S.; Piesanti, G.H.L.M. (2017). Alterações nos atributos químicos do solo com aplicação de pó de basalto. Acta Iguazu, v.6, n.5, p69-79 .

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GOLÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brasil. Meteorologisc he Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, M. **Impactos da utilização de fino de carvão e extrato pirolenhoso na agricultura**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo. Jaboticabal, p. 56. 2006.

AL-WABEL, Mohammad I. et al. Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 7, p. 2124-2161, 2018.

Antunes, P. L., Bilhalva, A. B., Elias, M. C., & Soares, G. J. D. (1995). Valor nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*), cultivares rico 23, carioca, pirata-1 e rosinha- G2. *Revista Brasileira de Agrociência*, 1, 12–18.

ARCAND, M.M. & SCHNEIDER, K.D. Plant- and microbial-based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. *Anais Acad. Bras. Ci.*, 78:791-807, 2006.

ÁVILA, M.R.; BARIZÃO, D. A; O.; GOMES, E. P.; FEDRI, G.; ALBRECHT, L. P. Cultivo de feijoeiro no outono/inverno associado à aplicação de bioestimulantes e adubo foliar na presença e ausência de irrigação. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 11, n.3, p. 221-230, 2010.

BAHNG, Mi-Kyung et al. Current technologies for analysis of biomass thermochemical processing: A review. **Analytica chimica acta**, v. 651, n. 2, p. 117-138, 2009.

BASU, P. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory Pyrolysis. Elsevier Inc., 2.ed. 2013. p. 548.

Batista, N.T.F.; Ragagnin, V.A.; Hack, E.; Görgen, A.L.; Martins, E.S. (2017). Atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de soja e sorgo submetido ao uso de basalto moído. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.241-247.

BAZARGAN, A.; ROUGH, S. L.; MCKAY, G. Compaction of palm kernel shell biochars for application as solid fuel. *Biomass and bioenergy*, v. 70, p. 489-497, 2014.

Benites, V. M., Madari, B. E., & Teixeira, W. G. (2010). **Fertilizantes organominerais: Produção e características**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(5), 1611-1618.

BIBAR, M. P. S. **POTENCIAL AGRÍCOLA DE BIOCÁRVÕES PROVENIENTES DE BIOMASSAS ALTERNATIVAS**. Dissertação (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical) – IAC. Campinas, p. 115. 2014.

Santos Júnior, José Mendes dos. Granulated organomineral fertilizers produced from biochar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, 2025. [no prelo]

Blackwell, P.; Joseph, S.; Munroe, P.; Anawar, H.M.; Storer, P.; Gilkes, R.J.; Solaiman, Z.M. 2015. Influences of biochar and biochar mineral complex on mycorrhizal colonisation and nutrition of wheat and sorghum. *Pedosphere*, 25: 686–695.

BOLAN, N.s.; ELIOTT, j.; GREGG, p.e.h. & weil, s. Enhanced dissolution of phosphate rocks in the rhizosphere. *Biol. Fert. Soils*, 24:169-174, 1997

BONFIM-SILVA, Edna Maria; OLIVEIRA, Jakeline Rosa de; ANICESIO, Ellen Cristina de; SILVA, Tonny Jose Araujo da. Teor de clorofila e desenvolvimento de feijão guandu adubado com fosfato natural reativo em Latossolo do Cerrado. **Agrarian**, [S. l.], v. 9, n. 33, p. 248–253, 2017.

BRAGA, G. **Eficiência de fosfatos com solubilidade variável em água em solos com capacidade de fixação de fósforo induzida**. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 83. 2006.

BROOKS, A. Effects of phosphorus nutrition on ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase activation, photosynthetic quantum yield and amounts of some Calvin cycle metabolites in spinach leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, Collingwood, v.13, p.221-237, 1986.

BROWN, R. Biochar production technology. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). *Biochar for environmental management: science and technology*. London: Earthscan, 2009. p. 127-148

CARNEIRO, P.C.S. Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento. 1998. 168f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa..

CHAN, K. AND XU, Z. (2009) Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement. In: Lehmann, J. and Joseph, S., Eds., *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, Earthscan, London, UK, 67-84.

CHEN, B. et al. A novel magnetic biochar efficiently sorbs organic pollutants and phosphate. *Bioresource Technology*, v. 102, p. 716-723, 2011.

CHENG, J. et al. Characterization of the pyroligneous acids generated from the pyrolysis of four types mulberry branches. **Industrial Crops and Products**, v. 183, p. 114949, set. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669022004320>. Acesso em: 15 set. 2024.

CHENG, J. et al. Synthesis of an environmentally friendly binding material using pyrolysis by-products and modified starch binder for slow-release fertilizers. **Science of The Total Environment**, v. 819, p. 153146–153146, 1 maio 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722002364>. Acesso em: 03 dez. 2024.

CHENG, Jie et al. Synthesis of an environmentally friendly binding material using pyrolysis by-products and modified starch binder for slow-release fertilizers. **Science of The Total Environment**, v. 819, p. 153146, 2022.

Chia, C.H.; Singh, B.P.; Joseph, S.; Graber, E.R.; Munroe, P. 2014. Characterization of an enriched biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 108: 26–34.

CHIEN, S.H. & MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fert. Res.*, 41:227-234, 1995.

CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L. Agronomic effectiveness of partially acidulated phosphate rocks as influenced by soil phosphorus-fixing capacity. *Plant and Soil*, v.120, p.159-164, 1989.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Agronomic evaluation of modified phosphate rock products. IFDC's experience. *Fertilizer Research*, v.41, p.197-209, 1995a.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fertilizer Research*, v.41, p.227-234, 1995b.

Conz, R. F. et al. (2017). Effect of pyrolysis temperature and feedstock type on agricultural properties and stability of biochar. *Agricultural Sciences*, 8, 914-933.

COSTA, S.E.V.G.A.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; SILVA, T.O.& SILVA, T.R. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. *Ci. Agrotec.*, 32:1419-1427, 2008.

CRUZ, C.V. **Efeito residual de fontes de fósforo e adubação fosfatada no crescimento do milho**. Dissertação (Mestre em Agronomia) – UNESP. Botucatu, p 54. 2015;

CUADRA, R.; CRUZ, X.; PEREIRA, E.; MARTIN, E.; DIAZ, A. Algunos compuestos naturales con efecto nematicida. *Revista de Protección Vegetal, La Habana*, v.24, n.15, p.31-37, 2000.

DA SILVA, Darlan Weber et al. Efeito do extrato pirolenhoso no desenvolvimento inicial de plantas de milho e feijão. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 7, n. 1, p. 93-102, 2021.

DARI, B.; NAIR, V. D.; HARRIS, W. G.; NAIR, P. K. R.; SOLLENBERGER, L.; MYLAVARAPU, R. Relative influence of soil- vs. biochar properties on soil phosphorus retention. *Geoderma*, v. 280, p. 82–87, 2016.

DeLuca, T. H., MacKenzie, M. D., & Gundale, M. J. (2009). **Biochar treatment of subsoil improves water-holding capacity, nutrient retention, and crop productivity in a greenhouse study.** *Soil Science Society of America Journal*, 73(5), 1325-1332.

DeLUCA, T. H.; GUNDALE, M. J.; MACKENZIE, M. D.; JONES, D. L. **Biochar effects on soil nutrient transformations. Biochar for environmental management: science.** Technology and implementation. Taylor and Francis, New York, USA, pp. p. 421-454, 2015.

DUME, Bayu; MOSISSA, Tadesse; NEBIYU, Amsalu. Effect of biochar on soil properties and lead (Pb) availability in a military camp in South West Ethiopia. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 10, n. 3, p. 77-85, 2016.

DUTTA, B.; RAGHAVAN, G. S. V.; NGADI, M. Surface characterization and classification of slow and fast pyrolyzed biochar using novel methods of pycnometry and hyperspectral imaging. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 32, n. 2, p. 105-120, 2012.

ENDERS, A.; HANLEY, K.; WHITMAN, T.; JOSEPH, S.; LEHMANN, J. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource Technology*, 2012.

ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 939–946, dez. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/GTZvVvwww5cxKkbLzh7Zxqh/>. Acesso em: 29 set. 2024.

ESECHIE, H.A.; DHALIWAL, G.S.; ARORA, R.; RANDHAWA, N.S.; DHAWAN, A.K. Assessment of pyroligneous liquid as a potential organic fertilizer. In: *Ecologica*

agriculture and sustainable development, 1997, Chandigarh, India. Proceedings...Chandigarh: Center of Research in rural and Industrial Development, 1998, v.1, p. 591-595.

ESTEVEZ, José Antonio de Fátima. **Substituição de fosfato solúvel por reativo em soja cultivada em semeadura direta em função de níveis de fósforo e modo de aplicação.** 2004. xii, 119 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2004. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/f21da10e-d438-42ae-9270-7a7bba989873/content>. Acesso em: 7 de out. 2024.

Fageria, N. K. (2001). **Nutrient management for improving crop production in tropical soils.** *Field Crops Research*, 71(2-3), 165-176.

Fageria, N.K. and Baligar, V.C. 1996. Response of lowland rice and common bean grown in rotation to soil fertility levels on a Varzea soil. *Fertilizer Res.* 45: 13–20.

FAGERIA, N.K. Soil acidity affects availability of nitrogen, phosphorus and potassium. *Better Crops International*, Atlanta, v.10, p.8-9, 1994.

Farias, J. R. B., Lima, J. F. A., & Pereira, H. S. (2009). **Fósforo em solos brasileiros: Fixação, disponibilidade e manejo no cultivo do feijão.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(3), 779-788.

FÁTIMA, I.; AHMAD, M.; VITHANAGE, M.; IQBAL, S. Abstraction of nitrates and phosphates from water by sawdust- and rice husk-derived biochars: Their potential as N- and P-loaded fertilizer for plant productivity in nutrient deficient soil. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 155, p. 1-9, 2021.

FEOLA CONZ, RAFAELA, THALITA F. ABBRUZZINI, CRISTIANO A. DE ANDRADE, DEBORA M. B. P. MILORI, and CARLOS E. P. CERRI. 2017. "Effect of Pyrolysis Temperature and Feedstock Type on Agricultural Properties and Stability of Biochars." *Agricultural Sciences* 08(09):914–33. Utilisation of Charcoal for Soil Amendment." *Journal of the Brazilian Chemical Society* 20(6):1003–10.

FERREIRA, T.; OLIVEIRA, V. A.; CARDIM, D. Resposta do feijoeiro a diferentes dosagens de fosfato monoamônico e compostagem de resíduos orgânicos urbano no sistema de plantio direto. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 8. 2023.

GARCIA, L. A. Eficiência agronômica de rejeitos da indústria de fertilizantes fosfatados. Botucatu, 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

GONDEK, Krzysztof et al. Influence of biochar application on reduced acidification of sandy soil, increased cation exchange capacity, and the content of available forms of K, Mg, and P. **Pol. J. Environ. Stud**, v. 28, n. 1, p. 1-9, 2019.

grown in rotation to soil fertility levels on a Varzea soil. *Fertilizer Res.* 45:

GUEDES, E.M.S.; FERNANDES, A.R.; LIMA, E.V.; GAMA, M.A.P. & SILVA, A.L.P. Fosfato natural de Arad e calagem e o crescimento de *Brachiaria brizanta* em Latossolo Amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. *R. Ci. Agron.*, 52:117-129, 2009.

GUO, Y. et al. Mechanism of Cu(II) adsorption inhibition on biochar by its aging process. *Journal of Environmental Sciences*, v. 26, p. 2123-2130, 2014.

HAMMOND, L.L.; LEÓN, L.A. Relative agronomic effectiveness of some Latin America phosphate rocks in Colombian soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PHOSPHORUS COMPOUNDS, 3., Brussels, 1983. *Anais Brussels*, 1983. p.124-125.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). *Fósforo na agricultura brasileira* Piracicaba: Potafos, 2004. p.665-687.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?=&t=resultados>. Acesso em: 02 set. 2024.

IGALAVITHANA, Avanthi Deshani et al. Advances and future directions of biochar characterization methods and applications. *Critical reviews in environmental science and technology*, v. 47, n. 23, p. 2275-2330, 2017.

JANU, R.; MRLIK, V.; RIBITSCH, D.; HOFMAN, J.; SEDLÁČEK, P.; BIELSKÁ, L.; SOJA, G. Biochar surface functional groups as affected by biomass feedstock, biochar composition and pyrolysis temperature. *Carbon Resources Conversion*, v. 4, p. 36-46, 2021.

JEFFERY, S. et al. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 144, p. 175-187, 2011.

JIN, Y.; LIANG, X.; HE, M.; LIU, Y.; TIAN, G.; SHI, J. Manure biochar influence upon soil properties, phosphorus distribution and phosphatase activities: A microcosm incubation study. *Chemosphere*, v. 142, p. 128-135, 2016.

Joseph, S., Lin, Y., & Feng, J. (2013). **Characterization of biochar: A review of the literature and its potential applications.** *Environmental Science & Technology*, 47(12), 7002-7014.

Joseph, S., Peacocke, C., Lehmann, J., Munroe, P., 2009. Developing a biochar classification and test methods. *Biochar Environ. Manage. Sci. Technol.* 107–126.

JOSEPH, Stephen et al. How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. *Gcb Bioenergy*, v. 13, n. 11, p. 1731-1764, 2021.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficiência de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo.** Santa Maria: NRS, SBCS, 1977. 31 p. (Boletim Técnico, n.3)

KEILUWEIT, Marco et al. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environmental science & technology*, v. 44, n. 4, p. 1247-1253, 2010.

KIM, M. S.; MIN, H. G.; KO, N.; PARK, J.; LEE, S. H.; BAK, G. I.; KIM, J. G. The effectiveness of spent coffee grounds and its biochar on the amelioration of heavy metals contaminated water and soil using chemical and biological assessments. *Journal of Environmental Management*, v. 146, p. 124-130, 2014.

KIM, P.; HENSLEY, D.; LABBÉ, N. Nutrient release from switchgrass-derived biochar pellets embedded with fertilizers. *Geoderma*, v. 232-234, p. 341-351, 2014.

KONG, L.; TIAN, S. H.; LI, Z.; LUO, R.; CHEN, D.; TU, Y. T.; XIONG, Y. Conversion of recycled sawdust into high HHV and low NO_x emission bio-char pellets using lignin and calcium hydroxide blended binders. *Renewable Energy*, v. 60, p. 559-565, 2013.

KOOKANA, Rai S. et al. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. *Advances in agronomy*, v. 112, p. 103-143, 2011.

LACERDA, D. M. L. de; ALMEIDA, E. F. de; PIMENTEL, R. C. C. F. de; CUNHA, T. J. F. da; ALMEIDA, A. C. de. Programas de adubação no feijão: um estudo para a melhoria da produtividade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 14, n. 2, p. 150-159, 2019.

LACHOS-PEREZ, Daniel et al. Review on biomass pyrolysis with a focus on bio-oil upgrading techniques. *Analytica*, v. 4, n. 2, p. 182-205, 2023.

LAGHARI, Mahmood et al. Recent developments in biochar as an effective tool for agricultural soil management: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 96, n. 15, p. 4840-4849, 2016.

LEE, Chuan Li et al. Production and potential application of Pyrolygneous acids from rubberwood and Oil Palm Trunk as Wood preservatives through Vacuum-pressure impregnation treatment. *Polymers*, v. 14, n. 18, p. 3863, 2022.

LEHMANN, J. & JOSEPH, S. **Biochar for environmental management**. Science and technology. London: EARTHSCAN. 2009.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v.5, p.381-387, 2007.

LEHMANN, J. et al. Biochar effects on soil biota - A review. *Soil Biology & Biochemistry*, London, v. 43, p. 1812-1836, 2011

LI, C.; BAIR, D. A.; PARIKH, S. J. Estimating potential dust emissions from biochar amended soils under simulated tillage. *Science of The Total Environment*, v. 625, p. 1093-1101, 2018.

LI, Fayong et al. Effects of biochar amendments on soil phosphorus transformation in agricultural soils. *Advances in agronomy*, v. 158, p. 131-172, 2019.

Lin, Y.; Munroe, P.; Joseph, S.; Ziolkowski, A.; van Zwieten, L.; Kimber, S.; Rust, J. 2013. Chemical and structural analysis of enhanced biochars: thermally treated mixtures of biochar, chicken litter, clay and minerals. *Chemosphere*, 91: 35–40.

LUCHINI, I.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; SANTOS, D. H. Fósforo disponível em solos ácidos e corrigidos com aplicação de fosfatos solúvel, reativo e natural. **Scientia Agraria Paranaensis**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. p. 82–94, 2008. DOI: 10.18188/sap.v11i1.4446.

LUO, W. et al. A potential Mg-enriched biochar fertilizer: excellent slow-release performance and release mechanism of nutrients. *Science of the Total Environment*, v. 768, e144454, 2021.

MACHADO, V. J. et al. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico = Availability curves of phosphorus in soils with different textures after application of increasing doses of monoammonium ... *Bioscience Journal*, v. 27, n. 1, 1 fev. 2011.

MAEKAWA, K. Curso sobre produção de carvão, extrato pirolenhoso e seu uso na agricultura (APAN – Associação dos produtores de Agricultura natural), 2002. (Mimeo).

MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1., Campinas, 1971. Anais. Viçosa, UFV, 1972. p.2111-42.

Martins, V.; Silva, D.R.G.; Marchi, G.; Leite, M.C.A.; Martins, E.S.; Gonçalves, A.S.F.; Guilherme, L. R. G. (2015). Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, n.1, p.194-204.

Matoso, S.C.G.; WADT, P.G.S.; Souza Júnior, V.S. de.; Pérez, X.L.O. 2019. Synthesis of enriched biochar as a vehicle for phosphorus in tropical soils. *Acta Amazonica* 49: 268-276.

MATTOS, C. et al. Biocidal applications trends of bio-oils from pyrolysis : Characterization of several conditions and biomass, a review. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 139, p. 1-12, 2019.

MEIRELES, E. J. L.; VIEIRA, E. H. N.; SILVA, S. C. Clima e produção de sementes. In: VIEIRA, E. H. N.; RAVA, C. A. Sementes de Feijão: produção e tecnologia. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. p. 53-63.

MIYASAKA, S.; OHKAWARA, T.; NAGAI, K.; YAZAKI, H.; SAKITA, M.N. Técnicas de produção e uso de fino de carvão e licor pirolenhoso In: I ENCONTRO DE

PROCESSOS DE PROTEÇÃO DE PLANTAS: Controle ecológico de pragas e doenças. Resumos...Botucatu, SP, p.161-176, 2001.

MOHAMMADI, A. Overview of the Benefits and Challenges Associated with Pelletizing Biochar. *Processes*, v. 9, n. 1591, p. 1-11, 2021.

MOLTOCARO, R.C.R. Guandu e micorriza no aproveitamento do fosfato natural pelo arroz em condições da casa-de-vegetação. 2007. 65p. Dissertação (Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico IAC, Campinas, 2007.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

MOTA, M. F. C. Uso de biochar de eucalipto na produção de cana-de-açúcar. Tese (Doutor em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, 67f. 2020.

MUKOME, F.N.D., ZHANG, X., SILVA, L.C.R., SIX, J., PARIKH, S.J., Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. *J. Agric. Food Chem.* 61, 2196–2204. 2013.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S., eds. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. p. 189-254.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. F.; CARVALHO, M. T. M.; MADARI, B. E. Biochar: Carbono Pirogênico para uso agrícola - Uma visão crítica. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.2, p.120-131, fev. 2015.

NUMATA, K.; OGAWA, T.; TANAKA, K. Effects of pyroligneous acid (wood vinegar) on the several soilborne diseases. *Proceedings of the Kanto Tosan Plant Protection Society, Omagary*, v.5, n.41, p.107-110, 1994.

NUNES, W. A. G. de A.; LIMA JÚNIOR, S. A. de; GUIMARÃES, F. F. **Caracterização de resíduos orgânicos de cadeias produtivas da agropecuária na região Centro-Oeste do Brasil**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2017. (Documentos, 141).

ONO, F.B.; MONTAGNA, J.; NOVELINO, J.O.; SERAFIM, M.E.; DALLASTA, D.C. & GARBIATE, M.V. Eficiência agrônômica de superfosfato triplo e fosfato natural de Arad em cultivos sucessivos de soja e milho. *Ci. Agrotec.*, 33:727-734, 2009.

Osterroht, R. R. (2003). **Influência da granulometria dos fosfatos naturais na disponibilidade de nutrientes para as plantas**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27(5), 1053-1060.

PASTORINI, L. H. et al. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. *Revista Ceres*, v. 47, n. 270, p. 219-228, 2000.

PENMETSA, S.; KUMAR, A.; SINGH, S. P.; SINGH, R. K.; SINGH, R. P. Bio-oil as a binder for carbonaceous materials: A review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 96, p. 1-10, 2012.

PETTER, Fabiano André. Biochar as soil amendment: agronomic and environmental aspects of its application in soils of the Brazilian savana (cerrado). 2010. 130 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

QIAN, L.; CHEN, B.; HU, D. Effective Alleviation of Aluminum Phytotoxicity by Manure-Derived Biochar. **Environmental Science & Technology**, v. 47, n. 6, p. 2737–2745, 26 fev. 2013.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo, Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, J.H.; SINCLAIR, A.G. Phosphate rocks for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, v.57, p.77-159, 1996.

RAMOS, L.A.; LANA, R.M.Q, KORNDÖRFER, G.H.; SILVA, A.A. Effect of organo-mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties. *African Journal of Agricultural Research*, v. 12, n. 1, p. 20-27, 2017.

Resende, A. S., Almeida, J. A., & Costa, C. D. (2006). **Fixação de fósforo em solos e o**

uso de fontes com liberação lenta para aumentar a eficiência da adubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(6), 1023-1030.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPORA, D.I.; SANTOS, J.Z.L. & CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:453-466, 2006b.

RIVA, L. et al. Analysis of optimal temperature, pressure and binder quantity for the production of biocarbon pellet to be used as a substitute for coke. **Applied Energy**, v. 256, p. 113933–113933, 1 dez. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919316204>. Acesso em: 15 set. 2024.

Rocha Neto, A.R. (2020). Solubilização de pó de fonolito em Latossolo Vermelho distroférico por ação de poáceas cultivadas como plantas de cobertura. 45 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal.

Rodrigues, Rafaella da Fonseca. **Influência das condições de processo na granulação de super-simples em tambor rotativo.** Uberlândia, 2012. 114 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia.

ROMBEL, A.; KRASUCKA, P.; OLESZCZUK, P. Sustainable biochar-based soil fertilizers and amendments as a new trend in biochar research. *Science of the Total Environment*, n. 151588, p. 1-17, 2021.

SAMSURI, A. W.; SADEGH-ZADEH, F.; SEH-BARDAN, B. J. Characterization of biochars produced from oil palm and rice husks and their adsorption capacities for heavy metals. **International Journal of environmental science and technology**, v. 11, p. 967-976, 2014.

Santos Júnior, José Mendes dos. Granulated organomineral fertilizers produced from biochar. *Scientia Agricola*, Piracicaba, 2025. [no prelo]

Santos Júnior, José Mendes dos. Pellets de biochar como condicionador de solo na

produção e nutrição de *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais. Montes Claros, p. 60. Fevereiro de 2022.

SANTOS, S. **Biocarvão associado a fertilizante e sua influência no aproveitamento de fósforo pela planta**. 2015. 38 p. Dissertação (Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

SARKER, Tumpa R. et al. Optimization of pelletization process conditions and binder concentration for production of fuel pellets from oat hull and quality evaluation. **Biomass and Bioenergy**, v. 174, p. 106825, 2023.

Schettini, C. R., Souza, M. A. D., & Ferreira, M. F. (2022). **Análise da temperatura interna de fornos durante as etapas de aquecimento, secagem e resfriamento utilizando sensores infravermelhos**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(3), 148-155.

SHAHEEN, Sabry M. et al. Wood-based biochar for the removal of potentially toxic elements in water and wastewater: a critical review. **International Materials Reviews**, v. 64, n. 4, p. 216-247, 2019.

SHIBAYAMA, H.; MASHIMA, K.; MITSUMORI, M.; ARIMA, S. Effects of application of pyroligneous acid solution produced in Karatsu city on growth and free sugar contents of storage roots of sweet potatoes. Marine and Highland Bioscience Center Report, Phukel, v.7, p.15-23. 1998.

Silva, A.; Almeida, J.A.; Schmitt C.; Amarante, C.V.T. (2012). Fertilidade do solo e desenvolvimento de feijão-comum em resposta a adubação com pó de rocha. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, n. 4, p. 548-554.

SILVA, E. B.; RESENDE, J. C. F.; CINTRA, W. B. R. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo em solo arenoso. *Revista Ciência Rural*, v. 31, n. 06, p. 973-977. 2001

SILVA, I. C. **Atributos do solo e características agronômicas do feijoeiro adubado com biochar**. 2016, 62f. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias, Montes Claros, 2016.

SIM, D. H. H.; TAN, I. A. W.; LIM, L. L. P.; HAMEED, B. H. Encapsulated biochar-based sustained release fertilizer for precision agriculture: A review. *Journal of Cleaner Production*, v. 303, n. 127018, p. 1-18, 2021.

SOHI, Saran P. et al. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in agronomy**, v. 105, p. 47-82, 2010.

SOUSA, H. M. **Caracterização e efeitos de biocarvões para uso agrônômico em solo arenoso**. Tese (Doutora em Agricultura Tropical) – Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, p. 150. 2018.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; NEHLS, T.; MACÊDO, J.L.V. de; BLUM, W.E.H.; ZECH, W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonia n upland soil. *Plant and Soil*, v.291, p.275-290, 2007. DOI: 10.1007/s11104-007-9193-9.

SUSTAKOWSKI, Monica Carolina Sustakowski. Teor de nutrientes, propriedades físicas do solo e produtividade de soja após a aplicação de pó de rocha associado a plantas de cobertura. 2021. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021

Sutrisno A, Nguyen NT, and Tangen D (2014) Incorporating translation in qualitative studies: Two case studies in education. *International Journal of Qualitative Studies in Education* 27(10): 1337–1353. DOI: 10.1080/09518398.2013.837211.

TAG, A. T. TAGHIZADEH-TOOSI, A.; CLOUGH, T. J.; SHERLOCK, R. R.; CONDRON, L. M. Effects of Feedstock Type and Pyrolysis Temperature on Potential Applications of Biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2016.

Teixeira, W. G. (2013). **Biocarvão e sua utilização para melhoria das propriedades físicas e químicas do solo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(5), 1267-1275.

TENÓRIO, F. A. **Cultivo de feijão comum sob aplicação de biocarvão do endocarpo do Ouricuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc): atributos químicos e biológicos do solo**. 2017. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2017.

- Toscani, R.; Campos, J.E.C. (2017). Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. *Geociências*, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 259-274.
- TSUZUKI, E.; MORIMITSU, T.; MATSUI, T. Effect of chemical compounds in pyroligneous acid on root growth in rice plant. *Japan Journal Crop Science*, Tokyo, v.66, n.4, p.15-16, 2000.
- Urrutia, O., Gascó, G., & Sánchez-Monedero, M. Á. (2014). **Effect of biochar on phosphorus availability and retention in soils.** *Geoderma*, 227-228, 88-95.
v. 42, n. 2, p. 545–552, 2013
- VAN ZWIETEN, L. et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v. 327, n. 1-2, p. 235–246, 19 jun. 2009.
- VEGA, C. F. P. Propriedades químicas e biológicas do solo enriquecido com biocarvão e cultivado com cana-de-açúcar. Tese (Doutor em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais/ Instituto de Ciências Agrárias. Montes Claros, 80f. 2024.
- VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S.; BASTOS, A.C.; VAN DER VELDE, M.; DIAFAS, I. Biochar Application to Soils – A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. JRC Scientific and technical Reports, Joint Research Centre. Luxembourg, 2010
- VIEIRA, Nilson Darlan. Resposta da soja a fontes e doses de fósforo em solos com diferentes teores de argila. 2021 90f. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2021.
- WOICIECHOWSKI, T.; LOMBARDI, K. C.; GARCIA, F. A. O.; GOMES, G. S. Soil nutrients and moisture after incorporating biochar in na *Eucalyptus benthamii* FOREST. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 4, p. 1455-1464, 2018.
- Wu, H., Zhang, W., & Zhang, Y. (2011). **The thermal and chemical properties of biochar from different feedstocks and their implications for application in agriculture.** *Journal of Environmental Management*, 92(7), 1757-1762.
- XING, X.; FAN, F.; JIANG, W. Characteristics of biochar pellets from corn straw under different pyrolysis temperatures. *Royal Society Open Science*, v. 5, n. 8, p. 1-10, 2018.

YUAN, J.-H.; XU, R.-K. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. **Soil use and management**, v. 27, n. 1, p. 110-115, 2011.

YUSTANTI, Erlina; MUHARMAN, Abrar; MURSITO, Anggoro Tri. The effect of wood tar and molasses composition on calorific value and compressive strength in bio-coke briquetting. **International Journal of Renewable Energy Development**, v. 11, n. 3, p. 600-607, 2022.

ZAMAN, Chowdhury Zaira et al. Pyrolysis: a sustainable way to generate energy from waste. **Pyrolysis**, v. 1, p. 3-36, 2017.

ZANETTI, Marcelo et al. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro'Cravo'em ambiente protegido. **Revista brasileira de fruticultura**, v. 25, p. 508-512, 2003.

ZANETTI, Marcelo. Uso de sub-produtos da fabricação de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro'cravo'em ambiente protegido. 2004.

ZHANG, Chenting et al. Evolution of the functional groups/structures of biochar and heteroatoms during the pyrolysis of seaweed. **Algal research**, v. 48, p. 101900, 2020.

ZHAO, L. et al. Mineral constituents profile of biochar derived from diversified waste biomasses: implications for agricultural applications. *Journal of environmental quality*, v. 42, n. 2, p. 545–552, 2013.

ZUCARELI, C. Adubação fosfatada, produção e desempenho em campo de sementes de feijoeiro cv. Carioca Precoce e IAC Carioca Tybatã. 2005. 183 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

ZUCARELI, Claudemir et al. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivado no período das águas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 32-38, 2011.