



**Influência da aplicação de cinza na produção e exportação de nutrientes pelo
trevo-encarnado e aveia**

Alberto Domingos Agostinho

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do
Grau de Mestre em Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com o Instituto
Superior Politécnico do Cuanza Sul*

Orientado por

Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

Coorientado por

Professora Doutora Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues

Bragança

2025

PENSAMENTO

Porque Deus amou o mundo de tal modo que deu o seu Filho Unigênito para que todo aquele que nele crê não pereça mais tenha a vida eterna.

João 3:16

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, irmãos e familiares pelo apoio prestado durante a minha formação.

AGRADECIMENTO

A Deus, Pai Todo-Poderoso por seu grande amor infinito, que deu seu filho como prova de amor e do seu plano de salvação para a humanidade.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues e Professora Margarida Arrobas Pereira Rodrigues, pela paciência, dedicação, entrega, disponibilidade e pela atenção durante todo percurso.

À equipa do laboratório de solos da Escola Superior Agrária de Bragança, técnicas Rita Diniz, e Almeida Sawimbo pelo auxílio e orientação prestado durante as análises laboratoriais. Sem esquecer o senhor. Ao Professor Peltier Rossi Lino de Aguiar, pelo impulso, e a atenção prestada nas diferentes fases do percurso.

À Direção do Instituto Superior Politécnico do Cuanza-Sul, com especial destaque ao Presidente da Instituição, Dr. Raimundo Kwaia, e do Vice-Presidente para a Área Académica, Dr. Domingos Nongando Freitas, pelo valioso apoio, pela oportunidade concedida e, acima de tudo, pela confiança em mim depositada. Agradeço igualmente ao Instituto Politécnico de Bragança, na pessoa do Diretor da Escola Superior Agrária, Pedro Bastos pela sua contribuição fundamental e acolhimento. Um agradecimento especial ao Senhor Filipe Rodrigues, cujo inestimável apoio foi crucial tanto na comunicação como na minha integração nas atividades académicas no IPB.

Aos meus pais, Salvador Alberto e Gongga João Manuel, que acreditaram e apoiaram a minha formação desde o início até então, momento em que estou concluindo este trabalho.

Aos professores do Instituto Escola Superior Agrária em especial aos professores afeto ao curso de Agroecologia, pela entrega no processo de ensino-aprendizagem e pelos ricos ensinamentos a mim transmitido, aconchego e acompanhamento durante a minha formação.

A todos os meus colegas do curso de mestrado e os de licenciatura em Angola, pelo apoio e companheirismo ao longo de toda a caminhada.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que esta caminhada fosse feita de forma vitoriosa. O meu muito obrigado.

Índice Geral

PENSAMENTO	I
DEDICATÓRIA	II
AGRADECIMENTO	III
Índice de Figuras	VII
Índice de Quadros	VIII
Resumo	IX
Abstract.....	X
Introdução.....	1
1. FUNDAMENTACÃO TEÓRICA.....	3
1.2. Breve historial da agricultura.....	3
1.3. Desenvolvimento sustentável	4
1.3.1. Agricultura sustentável.....	5
1.4. Fertilizantes convencionais e problemáticas ambientais associados.....	6
1.5. Fertilização orgânica.....	7
1.5.1. Disponibilidade e qualidade dos fertilizantes orgânicos	8
1.6. Economia circular e necessidade de reciclar e reutilizar	9
1.7. Fertilizantes orgânicos na agricultura.....	11
1.8. Cinza e sua aplicação na agricultura.....	13
1.8.1. Definição	13
1.8.2. Produção e uso de cinza na agricultura	13
1.8.3. Características e composição das cinzas	14
1.8.4. Efeito das cinzas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.....	15
1.9. Gramíneas.....	16
1.9.1. Adaptação ao solo e fertilização da aveia.....	17

1.10.	Leguminosas.....	18
1.10.1.	Adaptação ao solo e fertilização do trevo.....	18
2.	MATERIAIS E MÉTODOS	20
2.1.	Localização da área experimental.....	20
2.2.	Caraterização edafo-climática da área experimental.....	20
2.2.1.	Solo.....	20
2.2.2.	Clima	21
2.3.	Descrição da experiência	21
2.4.	Instalação e condução do ensaio.....	22
2.5.	Determinações laboratoriais feitas no solo.....	23
2.5.1.	Determinação do carbono facilmente oxidável	23
2.5.2.	pH	24
2.5.3.	Fósforo e potássio.....	24
2.5.4.	Determinação do boro	25
2.6.	Parâmetros determinados nos tecidos vegetais.....	26
2.6.1.	Determinação de azoto	26
2.6.2.	Boro	27
2.6.3.	Restantes nutrientes	28
2.7.	Determinação da quantidade de nutrientes exportados	28
2.8.	Determinação da quantidade de azoto fixado pelo trevo.....	28
2.9.	Análise estatística	28
3.	RESULTADOS.....	29
3.1.	Matéria seca.....	29
3.2.	Azoto atmosférico fixado na cultura do trevo	30
3.3.	Concentração de macronutrientes nos tecidos vegetais.....	30

3.4. Concentração de macronutrientes secundários e micronutrientes nos tecidos vegetais	32
3.5. Exportação de macronutrientes nos tecidos vegetais	34
3.6. Exportação de micronutrientes nos tecidos vegetais	35
3.7. Propriedades do solo.....	36
4. DISCUSSÃO	38
4.1. Produção de biomassa	38
4.2. Fixação de azoto atmosférico	40
4.3. Concentração de macronutrientes nos tecidos vegetais.....	41
4.4. Concentração de outros macro e micronutrientes pela cultura do trevo.....	44
4.5. Concentração de outros macro e micronutrientes na cultura da aveia	44
4.6. Exportação de nutrientes pelo trevo	45
4.7. Exportação de nutrientes pela aveia	46
4.8. Propriedades do solo.....	47
CONCLUSÕES	50
BIBLIOGRAFIA	51

Índice de Figuras

Figura 1: Valores mensais de precipitação (RR) e temperatura média das mínimas (TN), temperatura média (Md) e temperatura média das máximas (TX) registadas durante o período do ensaio (IPMA, 2025).	21
Figura 2: Determinação da matéria orgânica facilmente oxidável	24
Figura 3: Espectrofotómetro de Absorção molecular	25
Figura 4: Matéria seca triturada: aveia (esquerda) e trevo (direita)	26
Figura 5: Equipamento de digestão (esquerda) e leitura automática do azoto no equipamento Kjeldahl a (direita)	27
Figura 6: Quantidade de matéria seca produzida pela aveia e trevo submetido aos tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA); e Testemunha (Test). Médias com a mesma letra não apresentam diferença estatística significativas pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).	29
Figura 7: Teor de azoto (N) nos tecidos da aveia e trevo submetidos a tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA), Cinza (Ci), Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA) e Testemunha (Test). Médias com a mesma letra não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).	30
Figura 8: Teor de fósforo (P) nos tecidos da aveia e trevo submetidos aos tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA) e Testemunha (Test). Médias com a mesma letra indicam que não há diferença estatística significativas entre tratamentos pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).	31
Figura 9: Teor de potássio (K) nos tecidos da aveia e trevo submetidos aos tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA); e Testemunha (Test). Médias com letras iguais indicam que não há diferenças estatísticas significativas entre tratamentos pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).	32

Índice de Quadros

Quadro 1: Principais características do solo usado no ensaio.....	20
Quadro 2: Principais características da cinza e composto usadas no ensaio.....	22
Quadro 3: Quantidade de azoto atmosfera fixado pela cultura do trevo submetida aos tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA); e Testemunha (Test).	30
Quadro 4: Concentração de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Boro (B), Ferro (Fe), Manganês (Mg), Zinco (Zn) e Cobre (Cu) nos tecidos da aveia e trevo submetidos aos tratamentos Composto (Com), Nitrato de Amónio (NA), Cinza (Ci), Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA) e Testemunha (Test).	33
Quadro 5: Teores de azoto (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) exportados pela aveia e trevo submetidos a tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA); e Testemunha (Test).	34
Quadro 6: Exportação de boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre Cu pelas culturas da aveia e trevo submetido aos tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA); e Testemunha (Test).	35
Quadro 7: Carbono orgânico (CO), pH (H ₂ O), fósforo (expresso em P ₂ O ₅), potássio (expresso em K ₂ O) e boro (B) em função dos tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA); e Testemunha (Test).	36

Resumo

Os fertilizantes são substâncias minerais ou orgânicas, que fornecem um ou mais nutrientes ao solo. O uso de fertilizantes tem contribuído para o aumento da produção de alimentos. Não obstante, o uso excessivo pode levar à degradação dos solos e à redução da sua produtividade, podendo comprometer a segurança alimentar. Nos anos recentes, tem havido um esforço na utilização de fertilizantes que possam causar menor dano ambiental e ser um complemento à fertilização convencional. As cinzas têm sido indicadas como alternativas ecológicas na gestão da fertilidade do solo. A cinza é um produto inorgânico obtido durante o processo de combustão, responsável pela maior ou menor sublimação dos componentes químicos, e da adoção da requeima parcial ou total da biomassa vegetal. A cinza possui composição que inclui compostos inorgânicos capazes de proporcionar efeitos benéficos nas plantas, especialmente em solos com maior limitação em nutrientes. O presente trabalho foi realizado em Bragança no período compreendido entre outubro de 2024 e maio de 2025. Teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de cinza na produção e exportação de nutrientes pelo trevo-encarnado e aveia. A experiência foi realizada em vasos, ao ar livre. O delineamento experimental foi organizado de forma completamente casualizada com três repetições. Foram incluídos os tratamentos: Cinza; Composto orgânico; Nitrato de amónio; Cinza + Nitrato de amónio; e Testemunha. A cinza foi aplicada à razão de 5 t ha⁻¹. O composto e o nitrato de amónio foram aplicados em doses correspondentes a 60 kg N ha⁻¹. As principais etapas do protocolo experimental foram a preparação dos vasos, a adubação de fundo, a sementeira, a adubação de cobertura, a colheita e preparação das amostras de plantas e de solo e a análise laboratorial. A aplicação das cinzas aumentou os teores de fósforo e potássio no solo para além de elevar a disponibilidade de azoto para as culturas. Na cultura do trevo, aplicação de cinzas resultou em maior rendimento em matéria seca e, conseqüentemente, maior exportação de macronutrientes em comparação aos tratamentos que receberam nitrato de amónio. Na aveia, maiores rendimentos de matéria seca foram conseguidos com a aplicação de nitrato de amónio, porém as cinzas obtiveram rendimentos mais altos de matéria seca e de exportação de macronutrientes em relação aos tratamentos que receberam composto orgânico e a testemunha. De modo geral, a aplicação de cinza promoveu alterações significativas no pH do solo, elevando-o para valores a volta de 7,1, o que revela eficácia na correção da acidez e impacto positivo na melhoria da reação do solo. O estudo demonstrou que as cinzas podem ser uma alternativa sustentável para a agricultura, pois melhoram a fertilidade do solo e impulsionam a produtividade das culturas.

Palavras-chave: fertilização orgânica; fertilização mineral; *Trifolium incarnatum*; *Avena sativa*

Abstract

Fertilizers are mineral or organic substances that provide one or more nutrients to the soil. Their use has contributed significantly to the increase in food production. However, excessive application can lead to soil degradation and a decline in productivity, potentially threatening food security. In recent years, efforts have been made to adopt fertilizers that pose less environmental harm and serve as a complement to conventional fertilization practices. Ashes have been identified as environmentally friendly alternatives for managing soil fertility. Ash is an inorganic product obtained during the combustion process, responsible for the greater or lesser sublimation of chemical components, and for the adoption of partial or total re-burning of plant biomass. The ash has a composition that includes inorganic compounds capable of providing beneficial effects on plants, especially in soils poor in essential nutrients. This study was carried out in Bragança between October 2024 and May 2025. Its objective was to evaluate the influence of ash application on the production and export of nutrients by Crimson clover and oats. The experiment was conducted in pots, outdoors. The experimental design was organized in a completely randomized manner with three repetitions. The treatments included: Ash; Organic compost; Ammonium nitrate; Ash + Ammonium nitrate; and Control. The ash was applied at a rate of 5 t ha⁻¹. The compound and ammonium nitrate were applied in doses corresponding to 60 kg N ha⁻¹. The main stages of the experimental protocol were the preparation of the pots, the basal fertilization, the sowing, the top dressing, the harvesting, and the preparation of plant and soil samples, and the laboratory analysis. The application of ashes increased the levels of phosphorus and potassium in the soil in addition to enhancing the availability of nitrogen for the crops. In the subterranean clover, the application of ash resulted in higher dry matter yield and consequently, greater export of macronutrients compared to treatments that received ammonium nitrate. In oats, higher dry matter yields were achieved with the application of ammonium nitrate. However, the ashes resulted in higher yields of dry matter and macronutrient export compared to treatments that received organic compost and the control. In general, the application of ash led to significant changes in soil pH, raising it to around 7.1. This indicates its effectiveness in correcting soil acidity and highlights a positive impact on improving soil reaction. The study demonstrated that ash can be a sustainable alternative for agriculture, as it improves soil fertility and boost crop productivity.

Keywords: Organic amendment; inorganic fertilization; ash; *Trifolium incarnatum*; *Avena sativa*

Introdução

Os fertilizantes são definidos como substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, que fornecem um ou mais nutrientes às plantas. Os fertilizantes têm como principal função elevar os teores de nutrientes no solo, bem como repor os elementos exportados pelas culturas a cada colheita, visando à manutenção ou ao incremento da capacidade produtiva do solo. Sua utilização é essencial para o aumento da produtividade agrícola, o que contribui de forma decisiva para a intensificação da produção de alimentos.

O crescimento acelerado da população mundial tem exercido pressão crescente sobre os sistemas de produção de alimentos. Historicamente, a disparidade entre a taxa de crescimento populacional, caracterizada por uma progressão geométrica e a produção de alimentos que evoluiu em ritmo aritmético, configurou um desafio estrutural à manutenção da segurança alimentar em escala global (Tadeu, 2013). Essa assimetria evidenciou a urgência no desenvolvimento e na adoção de tecnologias capazes de promover aumentos substanciais na produtividade agrícola, sem a correspondente ampliação das áreas cultivadas. A incorporação de técnicas e insumos modernos, com destaque para os fertilizantes sintéticos, consolidou-se como um dos pilares centrais da intensificação produtiva. Ao viabilizarem incrementos expressivos na produtividade por unidade de área, os fertilizantes contribuíram de forma decisiva para atender à crescente demanda alimentar mundial, ao mesmo tempo em que possibilitaram a redução da pressão sobre os ecossistemas naturais.

Contudo, o uso intensivo e indiscriminado desses insumos também acarreta desafios ambientais significativos, como a contaminação de solos e recursos hídricos. Por outro lado, o seu impacto e dependência, de recursos não renováveis representam um desafio para a sustentabilidade actual (Arora, 2019). Os adubos minerais utilizados na agricultura sob forma de aumentar a produção apresentam alta solubilidade e elevada concentração de elementos químicos – que muitas vezes são lixiviados, volatilizados ou absorvidos em grandes quantidades pelas plantas, causando desequilíbrios nutricionais (Cavallaro júnior, 2006). A lixiviação de nitratos causa a eutrofização dos cursos de água doce e das águas marinhas e reduz a disponibilidade de azoto nos solos; adicionalmente, no processo de volatilização de amoníaco, este reage com óxidos de enxofre formando sulfato de amónio que, chegando ao solo com a chuva, causa acidificação. Através da desnitrificação, os gases resultantes (óxidos de azoto) atingem a atmosfera onde atuam como um potente gás de estufa. Para além disso, reagem com o oxigénio provocando a destruição da camada de ozono.

Diante destes problemas, torna-se imprescindível a adoção de práticas agrícolas sustentáveis que favoreçam a melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo tal como referido por (Ziech *et al.*, 2014). Tais práticas contribuem para o desenvolvimento de uma agricultura ambientalmente responsável, economicamente viável e socialmente equitativa, assegurando a conservação dos recursos naturais e a manutenção da capacidade das futuras gerações em atender às suas próprias necessidades. De entre as diversas estratégias adotadas, destaca-se o uso de fertilizantes orgânicos de diferentes origens como alternativa promissora para a melhoria da qualidade do solo, especialmente na reabilitação de áreas degradadas ou em processo de degradação (Figueiredo & Tanamati, 2010).

A utilização de cinzas proveniente da queima de biomassa vegetal tem-se mostrado uma alternativa ecológica para o manejo de nutrientes no solo. Esse subproduto, gerado em processos de queima de resíduos agrícolas, florestais ou industriais, é rico em macronutrientes e micronutrientes essenciais, embora a sua composição possa variar com a origem da biomassa. As cinzas contêm nutrientes essenciais como potássio, fósforo e cálcio, que, quando incorporados ao solo, contribuem para a melhoria da sua fertilidade, aumentam a capacidade de retenção de água e estimulam a atividade microbiana.

Do ponto de vista ambiental, o uso agrícola da cinza promove o reaproveitamento de resíduos que, de outra forma, poderiam ser descartados de maneira inadequada, como em aterros ou áreas de queima a céu aberto. Sua utilização pode reduzir significativamente os custos com fertilizantes minerais, especialmente potássicos, cuja utilização implica custos elevados. Além disso, ao valorizar resíduos locais, promove-se a economia circular no meio rural, o que contribui para a autonomia dos sistemas de produção e para o desenvolvimento sustentável. A aplicação controlada da cinza no solo evita perdas de nutrientes por lixiviação e reduz a dependência de fertilizantes industriais cuja produção envolve elevado consumo energético e emissão de gases de efeito estufa (Albuquerque, 2020). Do ponto de vista económico, a cinza de biomassa representa um insumo de baixo custo ou até gratuito, de fácil acesso, sobretudo quando é obtido a partir de diferentes tipos de resíduos disponíveis na própria propriedade agrícola ou região.

O objetivo principal deste trabalho prendeu-se na necessidade de avaliar a influência da aplicação de cinza na produção e exportação de nutriente pelo trevo-encarnado e pela aveia. Como objetivos secundários pretendeu avaliar-se: o potencial produtivo do trevo e da aveia submetidos a tratamentos com cinza, composto orgânico, nitrato de amónio, cinza + nitrato de amónio e testemunha; a exportação de nutrientes pelas culturas; e o efeito dos tratamentos nas propriedades do solo.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.2. Breve historial da agricultura

Desde tempos remotos, o ser humano procurou relacionar-se com a natureza sob forma de absorver dela os recursos necessários para a sua sobrevivência. A satisfação das suas necessidades alimentares esteve sempre entre as principais prioridades, inicialmente baseada na caça e na recolha, numa vida de nómada. Com o passar do tempo, o ser humano procurou sedentarizar-se em zonas férteis onde pudesse produzir os seus próprios alimentos, o que deu origem às primeiras civilizações. Pelo uso da força, procedeu à desmatagem de árvores para a construção de abrigo e para a produção de alimentos (Albuquerque *et al.*, 2016).

De acordo com Alves (2021), as intervenções feitas pelo ser humano na natureza não se limitaram apenas em desmatar florestas para cultivar alimento, mas também interferiram diretamente na vida dos animais selvagens por meio da domesticação de forma a torná-los mais adaptados ao contexto da vida dos seres humanos, e assim tirar proveito disso.

O crescimento populacional em escala geométrica, em detrimento da produção de alimentos em escala aritmética, impulsionou as civilizações sedentárias a uma incessante busca por maior eficiência e volume na produção agrícola, um imperativo fundamental para a sua subsistência e expansão. Desta forma, foi necessário o uso de técnicas e fatores de produção que pudessem impulsionar a produção agrícola para garantir a sustentabilidade dos povos, já que as necessidades alimentares por habitante aumentavam com o passar do tempo (Tadeu, 2013).

Com a Revolução Verde a partir da década de 1960, nos Estados Unidos e na Europa, e nas décadas seguintes em outros países, deu-se uma grande disseminação de sementes melhoradas e o uso de fatores de produção, como fertilizantes e pesticidas, num amplo programa idealizado para aumentar a produção agrícola no mundo, estimulado também pelo incremento da mecanização agrícola e pela redução do uso de mão-de-obra (Tadeu, 2013). A primeira Revolução Agrícola ocorreu concomitantemente à primeira Revolução Industrial e ficou marcada pelo abandono do sistema agrícola denominado paulatino de pousio, tempo de repouso do solo entre um cultivo e outro, e a introdução de uma agricultura baseada na rotação de culturas (Mazoyer & Roudart, 2001).

Segundo Matos & Pessôa (2011), a Revolução Verde trouxe inúmeros problemas ambientais. O desmatamento para cultivo e a alteração do ecossistema com as monoculturas, favoreceu o aparecimento em massa de pragas e doenças que impulsionaram a utilização de pesticidas.

Como resultado destas alterações, houve uma contaminação em todo o ecossistema – solos, rios, atmosfera – dificultando a vida animal e vegetal.

1.3. Desenvolvimento sustentável

O desenvolvimento sustentável apresenta-se como um novo paradigma necessário frente aos impactos socioambientais provocados pela Revolução Verde, que, apesar de ter elevado a produção agrícola, intensificou a degradação ambiental e as desigualdades no campo. O desenvolvimento sustentável propõe uma nova abordagem que concilie o aumento da produtividade agrícola com a sustentabilidade ambiental, a inclusão social e a promoção da segurança alimentar (Serra *et al.*, 2016)

De acordo com Rodrigues (2009), este modelo começou a ser desenvolvido na década de 1980 como uma estratégia mundial que incorpora os aspetos de um sistema de consumo em massa no qual a preocupação com a natureza, fonte de extração da matéria-prima, é máxima.

Tendo em evidência o desenvolvimento global, foi realizada a 70ª Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), em setembro de 2015, considerada a maior iniciativa global voltada ao desenvolvimento económico, social e ambiental, redução da pobreza e da desigualdade, além da melhoria das condições económicas e sociais dos povos de forma integrada à promoção dos direitos humanos (Menezes, 2019).

Nessa assembleia foi aprovado os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Foram estabelecidos 17 objetivos e 169 metas específicas a serem atingidos até 2030, além de um vasto conjunto de indicadores acordados para monitorar o processo de implementação do compromisso multilateral pelas partes (Menezes, 2019).

Os 17 objetivos organizam-se em torno dos eixos estruturantes que definem a conceção de desenvolvimento social, económico e ambiental, ou, como definido pela própria agenda, os chamados “5 Ps” da sustentabilidade: Pessoas; Prosperidade; Planeta; Paz; e Parcerias, que também pode ser traduzida como prosperidade das pessoas resultante da paz entre os parceiros integrantes (Arraes & Gehre 2013).

Entre os ODS não ficou de parte a Sustentabilidade Agrícola, sendo evidenciado no segundo objetivo do Desenvolvimento Sustentável como acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar, a melhoria da nutrição humana e a promoção da agricultura sustentável (Menezes, 2019).

A quarta meta deste objetivo tem como foco, até 2030, garantir sistemas de produção sustentáveis de alimentos, que aumentem a produtividade, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade do solo. De modo geral, esta medida visa acabar com a fome e alcançar a segurança alimentar (Menezes, 2019).

1.3.1. Agricultura sustentável

O século XX testemunhou o auge da agricultura convencional, um paradigma impulsionado por avanços químicos, motorizados, mecanizados e técnico-científicos que se intensificou nos países desenvolvidos da Europa Ocidental e da América do Norte. Contudo, em resposta a esse modelo, emergiu simultaneamente um movimento em busca de formas não convencionais de agricultura (Vinciguera, 2014).

A sustentabilidade na agricultura está intrinsecamente ligada à justiça social e à viabilidade econômica e ambiental. De acordo com Pretty (2011), a agricultura sustentável não se limita em práticas ecológicas, mas também de construir sistemas alimentares que sejam equitativos e economicamente viáveis para todos os envolvidos na cadeia produtiva, permite a preservação do meio ambiente, promove a segurança alimentar, economia local, saúde pública, conservação de recursos naturais.

Segundo Olalde (2007), a agricultura sustentável é a gestão e utilização dos recursos naturais de forma a satisfazer as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas necessidades.

Um dos objetivos da sustentabilidade visa consciencializar os agricultores a adotar medidas saudáveis, cuidando da terra, das águas, podendo assim contribuir com a preservação do meio ambiente, e deixar de colocar em risco a saúde dos trabalhadores e da sociedade (Vinciguera, 2014). Pesquisa realizada por Matos & Pessôa, (2011), demonstraram que a principal preocupação da sustentabilidade está ligada ao uso incorreto e exagerado de agroquímicos na agricultura mundial, uma vez que mais de 2,5 kg desses produtos são consumidos anualmente por cada habitante.

Na visão de Oliveira & Santos (2020), a sustentabilidade na agricultura deve velar pela promoção de práticas que não agridam o meio ambiente. O objetivo é conscientizar a sociedade sobre a necessidade de usufruir dos benefícios da natureza de forma responsável.

1.4. Fertilizantes convencionais e problemáticas ambientais associados

Segundo Fernandes *et al.*, (2022), fertilizantes ou adubos inorgânicos são produtos químicos aplicados no solo para repor os macronutrientes e micronutrientes necessários de forma a garantir o pleno desenvolvimento das plantações. Para Morais (2020), os fertilizantes são compostos que desempenham funções essenciais no crescimento e desenvolvimento das plantas, que fornecem ao solo os nutrientes que elas necessitam para produzir folhas, sementes e frutos. Importa realçar que a maioria dos fertilizantes minerais são obtidos industrialmente através de processos físico-químicos e que contêm um ou mais nutriente essencial.

Um dos grandes objetivos das adubações é garantir a suficiência de nutrientes durante o ciclo das plantas. No entanto, o efeito dessa prática vai muito além disso e podem representar um risco para o meio ambiente, cria impacto na qualidade dos solos e das águas, do ar e até mesmo na saúde humana e dos animais através de poluentes, como dioxinas e metais pesados presentes nos fertilizantes (Fernandes *et al.*, 2022).

De acordo com, Rodrigues & Arrobas (2011), o azoto é o nutriente mais utilizado no mundo por ser o mais requerido pelas culturas. Este, quando não absorvido pelas plantas, pode ser perdido de três formas principais que causam poluição: perda de nitratos por lixiviação; volatilização de amoníaco; e perda de óxidos de azoto por desnitrificação para a atmosfera (Alves, 2021). A lixiviação de nitratos causa a eutrofização de cursos de água e águas marinhas, reduzindo a disponibilidade de azoto no solo. Por outro lado, no processo da volatilização do amoníaco, este reage com óxidos de enxofre formando sulfato de amónio, que chegando ao solo com a chuva causa acidificação. Através da desnitrificação, os gases resultantes (óxidos de azoto) reagem com o oxigénio provocando a destruição da camada de ozono e comportando-se como um gás de efeito estufa. Uma alternativa para reduzir as emissões de óxidos de azoto para a atmosfera são as estratégias de gestão da adubação que aumentam a eficiência de absorção de azoto pela vegetação (IFA, 2015).

Estudo realizados por Alves (2021), sobre a relação entre agricultura e degradação do solo evidencia que o uso intensivo de fertilizantes e a má gestão dos solos são catalisadores da degradação pedológica. A erosão hídrica surge como um dos problemas mais proeminentes, manifestando-se desde pequenos sulcos até a formação de voçoroca, o que resulta numa redução drástica da fertilidade do solo devido à perda da sua camada mais rica em matéria orgânica e nutrientes, o horizonte O ou A.

1.5. Fertilização orgânica

Segundo Veloso *et al.*, (2022), a matéria orgânica é formada pela biomassa viva, detritos com tamanho reduzido e substâncias não húmicas, como hidratos de carbono simples, açúcares e proteínas, entre outros. Embora represente a menor parte do total do volume do solo, a matéria orgânica também é a mais suscetível à ação microbiana. A matéria orgânica tem também efeitos benéficos na estabilidade dos agregados, facilita a infiltração da água, pelo que a sua destruição contribui para um decréscimo da produtividade do solo; pode afetar o ciclo de nutrientes e a sua disponibilidade para as plantas, reduz o armazenamento, a retenção de água, e impacta negativamente a diversidade microbiana.

Turmel *et al.*, (2015), referem que a reintegração de resíduos orgânicos no solo é crucial para a reposição de matéria orgânica, que é estabilizada por meio de complexas interações físico-químicas e processos biológicos no ambiente edáfico. Essa dinâmica intrínseca à qualidade do solo otimiza a ciclagem de nutrientes e sustenta a produtividade eco sistémica.

Arrobas *et al.*, (2021) relataram que a especialização da agricultura reduziu os estrumes de pecuária disponíveis para a atividade agrícola, tornando-a dependente de outros materiais fertilizantes, como os compostos de resíduos sólidos urbanos. Também se têm destacado ultimamente como alternativas, o uso de biochar, lamas da ETAR, cinzas e outros derivados vegetais que podem ser usados como corretivos orgânicos e ter um papel fertilizante equivalente aos estrumes.

Os fertilizantes orgânicos, independentemente da sua origem, desempenham um papel central na fertilidade do solo. Entre muitos efeitos benéficos, os fertilizantes orgânicos melhoram as características físicas, químicas e biológicas do solo, já que disponibilizam nutrientes, melhoram o arejamento e a retenção de água (Weil & Brady, 2017).

A aplicação de fertilizantes orgânicos contribui para o aumento do teor de matéria orgânica no solo, promovendo melhorias na sua estrutura, nomeadamente através da redução da densidade aparente, do aumento da porosidade; por outro lado, os fertilizantes orgânicos protegem o solo da erosão, através da formação de agregados estáveis, e favorece a disponibilidade de nutrientes, a atividade e diversidade microbiana e, ainda, o aumento da capacidade de troca catiónica (Veloso *et al.*, 2022). A matéria orgânica diminui os efeitos nocivos dos agroquímicos e melhora o poder tampão relativamente ao pH e à salinização, bem como o armazenamento de dióxido de carbono. Desta forma, a matéria orgânica do solo contribui para o aumento da sua resiliência face às alterações climáticas, o que contribui para a valorização e conservação dos solos cultivados.

1.5.1. Disponibilidade e qualidade dos fertilizantes orgânicos

A matéria orgânica provém das plantas e demais organismos vivos e seus processos biológicos como excreção, secreção e morte. A vegetação representa mais de 65% do material a partir do qual a matéria orgânica se origina (Cunha *et al.*, 2016). Embora se reconheçam diversas vantagens aos fertilizantes orgânicos, a disponibilidade é limitada. Os compostos nem sempre estão disponíveis e acessíveis às explorações agrícolas em quantidades desejadas, isto porque a sua disponibilidade varia nos diversos continentes.

Uma outra limitação está ligada ao transporte dos compostos a longas distâncias, devido ao seu peso e volume. O composto não pode ser transportado a longas distâncias, uma vez que acarreta altos custos económicos (Grand & Miche, 2020).

A qualidade dos compostos orgânicos também é uma limitação. Se o composto orgânico não apresentar qualidade compatível com os requisitos da aplicação específica, é mais apropriado reconsiderar a sua utilização, uma vez que compostos de baixa qualidade podem comprometer a qualidade do solo e afetar negativamente o desempenho agronómico da planta. A má qualidade de um composto orgânico pode dever-se a um teor de nutrientes desequilibrado e/ou contaminantes orgânicos e inorgânicos (Cunha *et al.*, 2016).

Outro problema referido por Grand & Miche (2020), reside na falta de qualidade dos resíduos orgânico resultante de uma produção incorreta que leva a obtenção e concentração de esporos viáveis de agentes patogénicos fúngicos e bacterianos, sementes de ervas daninhas e vírus patogénicos. Nestes casos, a aplicação de composto diminuirá a saúde dos solos contaminando-os com microrganismos patogénicos e ervas daninhas.

O processo de compostagem, que consiste no reaproveitamento e valorização de resíduos ou subprodutos de natureza orgânica também é um fator que limita a disponibilidade de composto orgânico, através de fatores como: i) equipamentos que normalmente são caros e raramente estão disponíveis em instalações agropecuárias; ii) qualificação do pessoal, uma vez que a produção de compostos orgânicos requer especialização dos técnicos a eles associados e conseqüentemente um aumento da mão-de-obra, principalmente quando a exploração se encontra desprovida de equipamentos tecnológicos; e iii) tempo de decomposição, já que a qualidade do produto final depende do tempo de decomposição que se encontra intrinsecamente relacionado com o material a ser decomposto.

Contudo, a escassez de resíduos orgânicos para aplicar aos solos é um problema que afeta a fertilidade do solo, a qualidade e a sustentabilidade da agricultura. A reposição de resíduos em forma de fertilizantes nas proporções adequadas melhora a fertilidade dos solos e conseqüentemente o aumento da renda dos produtores (Esteves, 2020).

1.6. Economia circular e necessidade de reciclar e reutilizar

O reaproveitamento de biomassa residual como restos culturais, efluentes pecuários, compostos orgânicos e subprodutos agroindustriais constitui um vetor essencial para a implementação da economia circular no setor agrícola. Essa estratégia minimiza a dependência de insumos alóctones, mitiga os impactos ambientais negativos e otimiza a ciclagem de nutrientes nos sistemas agrícolas (Gonçalves & Barroso, 2019).

Dentro das ciências sociais, a economia estuda as principais atividades económicas nomeadamente a produção, distribuição e consumo de bens e serviço, dirigida à consecução de recursos escassos para atender melhor às necessidades ilimitadas dos consumidores, para além de relacionar questões sociais, políticas, diplomáticas e ambientais (Resico, 2012).

Atualmente são conhecidos dois grandes modelos de economia que se distinguem entre si com base na fonte de recursos a utilizar para a produção de bens e serviços: economia linear e a economia circular. De acordo com Andrews (2015), o modelo da economia linear surgiu no século XVIII e ainda é utilizado nos dias atuais. Este modelo está centrado no desenvolvimento dos novos processos industriais impulsionados pela industrialização, juntamente com a variedade e velocidade de produção. O princípio básico desse modelo da economia está ligado com a matéria-prima: recursos; transformação; e utilização/disposição dos materiais e resíduos.

Ao analisar o problema da economia “recursos limitados vs necessidades ilimitadas” este modelo representa um problema ao desenvolvimento sustentável, já que os recursos do planeta não são infinitos, além de que o número de consumidores cresce continuamente mais do que aqueles que o mesmo consegue satisfazer. No modelo da economia linear é evidente a excessiva exploração dos recursos disponíveis por parte das empresas, indústrias e população. Por sua vez, consome praticamente tudo que é produzido, descartando demasiado produtos e materiais (Quinto *et al.*, 2021).

Esse fator tem sido responsável por gerar resíduos de forma excessiva no planeta onde, na maioria das vezes, são descartados no meio ambiente, sem nenhuma utilidade, já que não existe a preocupação de reutilização e reaproveitamento dos produtos, transformados em resíduos, além da extração agressiva dos recursos naturais que leva a escassez de matérias-primas, o que gera diversos problemas ambientais (Nunes, 2018). A insustentabilidade deste modelo reside na finitude dos recursos planetários, aos quais a sociedade global está intrinsecamente ligada.

O relatório “Os Limites do Crescimento” publicado em 1972, citado por Quinto *et al.*, (2021), aponta que os limites do planeta seriam atingidos em 100 anos, se a população continuasse a crescer tão rapidamente e conseqüentemente, a produção de alimentos, poluição e industrialização.

Nesse contexto, a economia circular surge como uma alternativa sustentável e promissora. O seu objetivo é redefinir os padrões de crescimento e desenvolvimento, focado na geração de benefícios para toda a sociedade (Ellen MaCarthur Foundation, 2012). Segundo Foster *et al.*, (2016), a economia circular tem como objetivo a reinserção da matéria-prima no ciclo de produção, no qual visa a minimização do descarte de resíduos ao meio ambiente e também evita os impactos ambientais negativos.

De acordo com Ellen MaCarthur Foundation (2017), o modelo exposto constitui-se de três princípios básicos: i) preservação e aumento do capital natural, as tecnologias e processos usados garantem o melhor desempenho e utilizam recursos renováveis no sistema produtivo, sendo esses recursos estimulados através da criação de condições necessárias para a sua regeneração; ii) circulação constante de produtos, componentes e materiais, permitindo esta atividade a otimização da produção de recursos; e iii) eficácia do sistema, realizada através da identificação e exclusão das externalidades negativas.

A crescente necessidade de conciliar a produção agrícola com a preservação ambiental impõe uma mudança de paradigma. Para agregar valor à cadeia produtiva, o agricultor moderno deve incorporar o reaproveitamento de recursos como um pilar fundamental da sua prática. Essa abordagem é indispensável nos sistemas de produção intensivo onde a otimização de cada recurso é crucial. Os resíduos orgânicos, representam uma fonte valiosa que pode ser reintegrada ao ciclo produtivo (Gonçalves & Barroso, 2019). Estes resíduos, ao retornarem à terra como matéria-prima, nutrem o solo e contribuem diretamente para a produção de novos alimentos. Quando bem manejados, oferecem um grande potencial produtivo, enquanto reduzem significativamente os custos operacionais (Quinto *et al.*, 2021).

É perceptível a necessidade de um modelo circular, para que os recursos ilimitados não sejam simples objetos de consumo e depois descartados como resíduos. Portanto, a economia circular, transforma os resíduos em novos recursos para a produção de novos bens, através da reciclagem e reutilização, agregando valor e prolongando a vida útil desse material (Gregson *et al.*, 2015).

Desta forma, Kirchherr *et al.*, (2018), defendem a extensão de vida útil dos bens, através da reutilização, reparação, renovação e reciclagem. Para eles, o termo resíduo não existe como resto, mais sim como um bem ou produto que pode voltar a entrar no ciclo de produção.

Assim a economia circular constitui um modelo para o desenvolvimento sustentável das empresas, em particular das empresas agrícolas, onde a reutilização de materiais orgânicos animais e vegetais resultantes do processo de produção são alternativas ecológicas para produção de novos produtos que podem ser integrados no próximo ciclo de produção a fim de tornar os ecossistemas mais sustentáveis, principalmente em países mais desenvolvidos (Gregson *et al.*, 2015). A economia circular vai além de uma simples reciclagem, está concentrado em instigar o desenvolvimento de novos estudos no qual possam surgir novos modelos de negócios e novos sistemas produtivos que não agridem o meio ambiente.

De acordo com Azevedo (2015), a economia circular, ao determinar a possibilidade de criação de produtos de ciclos múltiplos de uso, torna-se numa alternativa para reduzir a dependência em recursos, aumentar a empregabilidade nos sistemas agrícolas, conservar os ecossistemas, ao mesmo tempo em que elimina o desperdício.

1.7. Fertilizantes orgânicos na agricultura

Com o decorrer do tempo, a maioria dos solos agrícolas tornam-se cada vez mais exigentes em fertilizantes, facto ocasionado pela exportação de nutrientes pelas culturas, lixiviação, erosão, imobilização, desnitrificação e, principalmente, pelo manejo inadequado da gestão de fertilizantes nos solos.

O uso inadequado e intensivo do solo pode levar a um estado de degradação que, caso seja reversível, requer muito mais tempo e recurso para sua recuperação (Mendes, 2002). Assim, faz-se necessário o monitoramento dos solos cultivados com vista à preservação da sua qualidade de forma a garantir produções contínuas.

Aliado a isso, torna-se necessário o uso de técnicas com finalidades de melhorar as propriedades físicas e biológicas do solo. Entre as diversas técnicas utilizadas, o uso de fertilizantes orgânicos de diferentes origens é uma alternativa para a melhoria da qualidade do solo das propriedades agrícolas nomeadamente para a reconstituição de solos degradados ou aqueles em via de degradação (Figueiredo & Tanamati, 2010; Ziech *et al.*, 2014).

Para a transformação dos resíduos orgânicos em adubos ou compostos orgânicos utilizam-se diferentes métodos de transformação, com maior predominância o método de compostagem, por ser a mais disseminada pelos agricultores familiares e produtores em sistema orgânico, pois possibilita menor dependência de insumos externos (Ferreira *et al.*, 2013).

Podem também usar-se métodos como valorização e tratamentos de lamas provenientes das ETAR, vermi-compostagem, fermentação líquida de compostos orgânicos (produção de chorume) e o método de carbonização de matéria orgânica para obtenção de cinza. A adição de fertilizantes orgânicos aumenta a biodiversidade do solo e a produtividade das culturas (Finatto *et al.*, 2013), além de poder melhorar as características organolépticas dos produtos em relação aos cultivados em solos adubados exclusivamente com fertilizantes minerais (Ziech *et al.*, 2014). Estes insumos proporcionam não apenas uma diminuição dos custos de produção, mas também se torna mais lucrativa e satisfatória para o agricultor, além de fornecer nutrientes ao solo especialmente azoto, fósforo e enxofre.

Em geral, os processos de reaproveitamento e valorização de resíduos orgânicos animal e vegetal representam práticas sustentáveis nos sistemas agropecuários, ao transformar as quantidades enormes de resíduos orgânicos das explorações e não só em fertilizantes orgânicos com elevado valor para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Kirchherr *et al.*, 2018).

De acordo com Azevedo (2015), Gregson *et al.*, (2015) e Sawimbo (2024), a incorporação de fertilizantes orgânicos no solo constitui uma fuga da prática da economia linear passando para a economia circular pela reciclagem e reaproveitamento dos resíduos que passam a entrar no ciclo de produção aumentando a autossuficiência dos produtores, agregando valor ao produto final, e que não compromete o bem-estar das gerações futuras.

1.8. Cinza e sua aplicação na agricultura

A urgência em promover uma agricultura mais ecológica tem impulsionado a investigação a inovar nos processos industriais, tendo em vista, não só a redução dos impactos ambientais, mas também o desenvolvimento de tecnologias para a valorização dos resíduos gerados. Uma estratégia promissora para a gestão desses resíduos sólidos industriais é a sua aplicação no solo como insumo agrícola. Entre os volumosos resíduos da indústria de papel e celulose, a cinza de biomassa surge como um dos principais, sendo o subproduto da combustão de biomassa florestal, fundamental na matriz energética do setor (Hanisch, 2018).

1.8.1. Definição

A cinza é um produto inorgânico resultante do processo de combustão, responsável pela maior ou menor sublimação dos componentes químicos, e da adoção da requieima parcial ou total da biomassa vegetal. A cinza possui composição que inclui compostos inorgânicos capazes de proporcionar efeitos benéficos para as plantas, especialmente em solos com maior limitação em nutrientes (Arruda, 2024). O processo de combustão da biomassa vegetal determina maior ou menor capacidade de libertar componentes químicos para a atmosfera. Entretanto, as características das cinzas são muito variadas dependendo de fatores como a biomassa, método de colheita e formas e tempo de combustão (Andrade *et al.*, 2024)

A quantidade de cinza a aplicar por hectare depende da sua composição química. Em geral, usam-se quantidades entre 0,5 a 80 t/ha (Arruda *et al.*, 2016; Albuquerque, 2020; Arruda, 2024; Andrade *et al.*, 2024), embora possam ser utilizadas quantidades mais elevadas, como 150 a 300 t/ha (Martins, 2001).

1.8.2. Produção e uso de cinza na agricultura

As cinzas podem ser obtidas de processos industriais, laboratoriais e tradicionais. De acordo com Albuquerque (2020), as indústrias são os principais produtores deste produto impulsionadas pelo atual crescimento das indústrias de celulose, papel e siderurgia, o que tem gerado elevadas quantidades de cinza de biomassa florestal.

As cinzas foram os únicos fertilizantes usados para adubação potássica até ao descobrimento das jazidas de sais potássicos solúveis, o que mostra que, no passado, existia uma relação direta entre a agricultura e o uso da cinza, prática essa perdida ao longo do tempo (Arruda *et al.*, 2016).

Embora as cinzas tenham perdido espaço para os fertilizantes de rápida solubilidade, sua produção tem acompanhado o crescente uso global de biomassa como fonte alternativa de combustíveis. A sua reinserção de biomassa na matriz energética global, foi motivada principalmente pela escassez de recursos naturais, limitação e instabilidade da oferta de combustíveis fósseis, factos vivenciados durante a depreciação do petróleo na década de 1970, além das pressões socioambientais instauradas desde a década de 1980 (Vassilev *et al.*, 2013; Vidal & Hora, 2011).

Atualmente, a combustão direta da biomassa contribui com 95 a 97% do total de bioenergia consumida mundialmente. Considerando um rendimento médio de 6,8% de cinza, estima-se que, dos 7 bilhões de toneladas de biomassa produzida globalmente, são geradas aproximadamente 476 milhões de toneladas de cinzas (Vassilev *et al.*, 2013).

A gestão apropriada das cinzas é um fator decisivo do ponto de vista da sustentabilidade. Albuquerque (2020) afirma que formas viáveis da utilização das cinzas devem ser observadas porque, de certa forma, elas trazem problemas para as indústrias que são detentoras do seu resíduo e têm, portanto, a responsabilidade social de destinar adequadamente o que produzem. As cinzas vegetais representam um grupo de resíduos que constituem riscos de contaminação ao meio ambiente (Andrade *et al.*, 2024). A adoção de métodos de aproveitamento, reutilização e reinserção desses resíduos como adubos alternativos constitui a atual preocupação em relação às políticas ambientais.

A utilização da cinza de biomassa pode mostrar-se uma alternativa ecologicamente correta para a devolução de nutrientes ao solo (Brunelli & Pisani, 2006). Hanisch (2018), estudou o efeito das cinzas de biomassa no sistema de produção de cereais em 4 anos em base agroecológica chegou a conclusão de que o uso da cinza de biomassa em sistema de produção agroecológico não apresenta efeitos nocivos ao sistema e é uma fonte segura de K, devido à ausência de fontes não solúveis deste elemento serem uma das limitações para suprimento deste nutriente às culturas.

1.8.3. Características e composição das cinzas

As cinzas possuem uma composição heterogénea na sua morfologia, com partículas de diferentes formas e tamanhos. A sua composição química, varia em função dos parâmetros do processo de incineração como a temperatura, tempo de incineração e do tipo de biomassa incinerada (Teixeira *et al.*, 2008; Cacuro & Waldman, 2015). Em relação à morfologia, as cinzas são compostas principalmente por três tipos de partículas: i) material orgânico das cinzas, também conhecido como carbono não queimado, sendo a sua quantidade dependente da eficiência do processo de

combustão e percentagem de água no bagaço e a sua maior ou menor concentração indicia o grau de eficiência da incineração (Basu *et al.*, 2009); ii) partículas de silicatos e dióxido de silício correspondem a cerca de 60 % das cinzas, podendo ser identificados na forma sílica amorfa e na forma de cristais, normalmente derivadas da areia e do quartzo oriundo da lavoura chegando a aderir permanentemente aos resíduos e persistindo após a incineração (Cacuro & Waldman, 2015); e iii) óxidos de metais, entre os principais óxidos estão alguns que contêm fósforo, potássio, cálcio e magnésio que representam cerca de 32% das cinzas (Cordeiro *et al.*, 2008).

A cinza proveniente da combustão da biomassa vegetal destaca-se por conter quantidades significativas de catiões como potássio, cálcio e magnésio, apresentando, por isso, pH tendencialmente alcalino. Isso confere-lhe propriedades vantajosas para a reposição e disponibilização de nutrientes em solos agrícolas (Arruda, 2024). No entanto, é importante salientar que também podem conter metais como cádmio e zinco, embora em concentrações geralmente baixas (Osteras *et al.*, 2005). Gonçalves & Moro (1995), citado por Arruda (2015), observaram que a aplicação de 15 t ha⁻¹ de cinza disponibilizou aproximadamente 230 kg ha⁻¹ de K₂ ou 277 kg ha⁻¹ de K₂O.

1.8.4. Efeito das cinzas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo

A adição de cinza de biomassa ao solo melhora a estrutura do solo e o nível de agregação das partículas do solo, aumenta a circulação do ar e a capacidade de retenção de água no solo, particularmente em solos arenosos, embora não seja comprovado que a cinza aumenta a disponibilidade da água para as culturas (Guariz *et al.*, 2009). O aumento do rendimento das culturas só será possível se a água retida no solo aumentar a disponibilidade de água pelas raízes das culturas principalmente em período de estiagem (Martins, 2001). As cinzas também podem apresentar efeitos cimentantes, limitando a infiltração da água e assim o desenvolvimento das raízes. Esta característica encontra-se intrinsecamente relacionada com a quantidade de cinza aplicada ao solo eo teor de matéria orgânica do solo. Pesquisa realizada por Andrade *et al.*, (2024), revelou que a aplicação de cinza reduziu a condutividade hidráulica dos solos.

No que diz respeito às propriedades químicas, as cinzas podem ser fonte de macro e micronutrientes como boro, cálcio, potássio, magnésio, molibdénio, enxofre e zinco. Geralmente as cinzas contêm quantidades suficientes de micronutrientes para as culturas. No entanto, a sua aplicação deve ser cuidada uma vez que em excesso pode provocar toxidades nas plantas (Arruda *et al.*, 2016).

A alcalinidade e a salinidade são os principais efeitos imediatos da aplicação de cinzas. Devido o seu carácter normalmente alcalino, as cinzas são usadas e recomendadas para elevar o pH dos solos ácidos, levando o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo.

A quantidade de carbonato ou cinza para elevar uma unidade de pH depende da sua composição e das condições do solo. O seu maior ou menor efeito depende do poder tampão do solo. Assim, a quantidade a aplicar em solos com alto poder tampão será maior do que as quantidades a aplicar em solos com baixo poder tampão para se obter o mesmo efeito no valor de pH (Albuquerque, 2020).

Prado *et al.*, (2002), ao estudarem o processo de nutrição das plantas pela aplicação de cinzas, verificaram que a cinza aplicada em um Argissolo Vermelho-Amarelo alterou significativamente as características químicas analisadas, tanto na presença quanto na ausência de calagem. Houve aumento no pH e nos teores de micronutrientes (B, Cu e Zn), além de redução da acidez potencial, em resposta à aplicação de cinza, independentemente da presença de calcário.

Segundo Arruda *et al.*, (2016), as cinzas possuem cálcio prontamente disponível na solução do solo levando uma rápida modificação do pH, o que resulta num decréscimo inicial da atividade microbiológica e do número de organismo do solo e juntamente a respiração microbiana. Contudo, a população de organismos e a diversidade tende a aumentar com o decorrer do tempo. Estudos citados por Martim (2001), mostraram que a aplicação de cinza depois de 20 meses, elevou o pH, dobrou o potencial de nitrificação, aumentou a população e a diversidade de microrganismos no solo. Neste quesito, a adição de matéria orgânica é fundamental, para garantir que o decréscimo inicial de microrganismos não venha comprometer o desenvolvimento das culturas e a disponibilidade de nutrientes nos primeiros meses da aplicação das cinzas. Geralmente as culturas fixadoras de azoto ou as que mais toleram a salinidade são as que mais beneficiam da aplicação das cinzas.

1.9. Gramíneas

A família das gramíneas ou Poaceae é uma das principais famílias na divisão Magnoliophyta e da classe Liliopsida. São plantas floríferas, frequentemente rizomatosas ou anuais. Nessa família estão as gramas (comumente designadas de capins e relvas). Possuem folhas lineares e flores nuas e as inflorescências são espigas, panículas ou racemos, sendo o fruto uma cariopse (Lucena *et al.*, 2009).

O sucesso das gramíneas está ligado principalmente à sua capacidade de produção de biomassa em regiões tropicais e subtropicais. Porém, grande parte destas regiões é constituída por terras de baixa fertilidade ou solos em estágio de degradação com baixa disponibilidade de nutrientes como azoto, fósforo e potássio, essenciais ao desenvolvimento das plantas (Danielowski *et al.*, 2021).

A produção de biomassa encontra-se intrinsecamente ligada a disponibilidade de água e de azoto, fósforo e potássio. O azoto destaca-se por ser extraído em grandes quantidades do solo pelas plantas. O azoto é o nutriente que tem maior efeito no crescimento das gramíneas e o que, frequentemente, mais limita a produção de biomassa (Demétrio, 2012).

1.9.1. Adaptação ao solo e fertilização da aveia

De acordo com Danielowski *et al.* (2021), a cultura da aveia é uma das principais opções para cultivo na estação fria, especialmente nas regiões de clima mediterrânico, sendo uma alternativa técnica e economicamente viável de cultivo, no período de outono/inverno/primavera.

Os solos com textura franca, com baixa acidez (pH em água ≥ 6) e manejados com práticas conservadoras, como a rotação de culturas, entre outras, são os mais indicados para o cultivo da aveia. Nesses solos, a resposta da cultura às práticas que melhoram a fertilidade do solo são potencializadas (Castro, 2012).

As necessidades em azoto dependem dos objetivos da produção (feno, silagem ou grão) e da quantidade de matéria orgânica disponível no solo. Assim, para a produção de grão recomendam-se 60 a 80 kg ha⁻¹ para solos com matéria orgânica inferior a 2,5% e 40 a 60 kg ha⁻¹ para solos com 2,6 a 5% de matéria orgânica, se a perspectiva de rendimento for de 3 t ha⁻¹ (Danielowski *et al.*, 2021).

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2019) recomenda 30 a 40 kg N ha⁻¹ para 2 t de grão, 41 a 50 kg N ha⁻¹ para 2,1 a 3 t de grão, 51 a 60 kg N ha⁻¹ para 3,1 a 4 t de grão e 61 a 70 kg N ha⁻¹ para 5 t de grão. Para a produção de massa seca (feno/silagem), normalmente usam-se doses de 75 a 100 kg N ha⁻¹ para 3 t de matéria seca, 101 a 150 kg N ha⁻¹ para 3 a 6 t de matéria seca, 151 a 200 kg N ha⁻¹ para 7 a 10 t de matéria seca e 201 a 250 kg N ha⁻¹ para rendimentos acima de 10 t de matéria seca.

Danielowski *et al.* (2021), SBCS (2019) e Castro (2012) sugerem que 10 a 20 kg ha⁻¹ devem ser aplicados em fundo e o restante da dose recomendada deve ser aplicado em cobertura, no início do afilhamento. Para as doses mais elevadas podem ser feitas duas ou mais fertilizações de cobertura.

1.10. Leguminosas

A família das leguminosas ou Fabaceae é a terceira maior família das angiospermas, com mais de 760 géneros e aproximadamente 19500 espécies. Apresentam distribuição global e elevada importância ecológica e económica (Azani, 2017). Ocorrem principalmente nas regiões tropicais e temperadas, do equador até desertos frios e secos, em diferentes habitats, latitudes e altitudes, e também em áreas abertas e perturbadas. São caracterizadas pela produção de um fruto conhecido como vagem (Montes *et al.*, 2020).

Segundo Aguiar *et al.*, (2021), depois das Poaceae, a família Fabaceae surge como aquela de maior importância económica e alimentar a nível mundial, sendo grande fonte de matérias-primas para as indústrias farmacêutica, de cosméticos e alimentar.

As Fabaceae destacam-se entre as famílias de plantas de maior importância na estrutura de diversas formações florestais. Sobretudo devido às suas associações com bactérias fixadoras de azoto. Muitas leguminosas são caracterizadas pelo pioneirismo e capacidade de colonizar os mais variados ambientes (Filho *et al.*, 2023; Azani, 2017).

1.10.1. Adaptação ao solo e fertilização do trevo

Os trevos são das leguminosas forrageiras mais importantes e amplamente distribuída no mundo, adaptadas principalmente a zonas temperadas (Langer, 1972). Possuem um papel fundamental nas pastagens, destacando-se tanto pelo alto rendimento de massa seca como pela qualidade da forragem, sendo um dos grupos de leguminosas mais utilizadas em pastagens consorciadas (Duthil, 1989).

Os trevos tendem a apresentar hábito prostrado, dispondo o seu caule na superfície do solo e produzindo continuamente raízes adventícias. Esta característica confere aos trevos uma maior resistência ao pisoteio dos animais, maior capacidade de rejuvenescimento depois do corte, tornando-as entre as principais plantas leguminosas submetidas a pasto intensivo (Aguiar & Rodrigues, 2010). A sua semente apresenta tamanho não superior a 2 mm, podendo 1 kg conter 1653700 sementes (Machado, 2013).

Os trevos suportam um intervalo alargado de condições de clima e solo. Resistem a temperaturas negativas durante o Inverno (até - 6 °C). Relativamente à pluviosidade, os trevos prosperam em uma faixa que se estendem dos 350 mm aos 800 mm.

Desenvolvem-se em todos os tipos de solos e texturas, sendo os solos pobres de textura grosseira, mal drenados os menos indicados (Aguiar & Rodrigues, 2010). Embora possam ser produzidos em uma ampla faixa de pH (4,5 a 8,3), os solos ácidos inibem o seu crescimento. O pH ideal situa-se entre os 6,1 a 6,7, sendo o mínimo aceitável de 5,8.

Em função da sua capacidade simbiótica com bactérias fixadoras de azoto, os trevos requerem pouca ou nenhuma fertilização azotada e são uma boa fonte de proteína para o gado. Caso seja necessário a fertilização, principalmente quando é produzida em consórcio com gramíneas, um valor de azoto inferior a 150 kg ha^{-1} é ideal para os trevos (Antunes, 2023). Embora possam inibir o desenvolvimento da associação com o rizóbio, quantidades mais elevadas de azoto favorecem o crescimento das gramíneas que, nestas condições, competem com o trevo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Localização da área experimental

O experimento foi conduzido nas estufas da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, com as coordenadas 41°47'50"N 6°45'42"W. Inicialmente os vasos foram colocados no interior de uma estufa para estimular a germinação das sementes, uma semana após a germinação as jovens plântulas foram postas ao ar livre de onde ficaram até o término do ensaio.

2.2. Caracterização edafo-climática da área experimental

2.2.1. Solo

Para o presente ensaio, foi colhido solo de uma área não cultivada, adjacente às estufas da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança. O solo foi colhido de forma uniforme até uma profundidade de 20 cm fazendo uso de uma enxada de dente e uma pá para o revolver e homogeneizar. O solo foi posteriormente crivado num crivo de 2 mm. O solo tem textura arenosa, pH ácido e teor em matéria orgânica baixo. Estas e diversas outras propriedades do solo determinadas nestas amostras de solo iniciais são apresentadas no **Quadro 1**.

Quadro 1: Principais características do solo usado no ensaio.

Parâmetros	Resultados	Unidades
Matéria orgânica	2,0	%
pH em H ₂ O	6,4	-
Textura	Franco-arenosa	-
Fósforo (P ₂ O ₅)	71,8	mg kg ⁻¹
Potássio (K ₂ O)	134,3	mg kg ⁻¹
Potássio (K ⁺)	0,3	mg kg ⁻¹
Sódio (Na ⁺)	0,2	mg kg ⁻¹
Cálcio (Ca ⁺⁺)	11,4	mg kg ⁻¹
Magnésio (Mg ⁺⁺)	4,1	mg kg ⁻¹
Acidez de troca	0,3	mg kg ⁻¹
Cap. Troca catiónica	16,4	mg kg ⁻¹
Boro	0,8	mg kg ⁻¹
Ferro	108,3	mg kg ⁻¹
Zinco	3,4	mg kg ⁻¹
Cobre	82,4	mg kg ⁻¹
Manganês	125,4	mg kg ⁻¹

2.2.2. Clima

O clima da cidade de Bragança é caracterizado por temperaturas elevadas no verão e inverno bastante frio, chegando a atingir temperaturas negativas. Com base na classificação climática de Köppen, e Geiger o clima é classificado como Csb (clima mediterrânico de inverno chuvoso e verão quente e seco). Em Bragança a precipitação concentra-se nos meses de inverno, sendo o verão seco. A precipitação média anual é de 720 mm. A temperatura média anual observada em Bragança é de 11.5 °C. A **figura 1** mostra os registos da temperatura do ar e a precipitação durante o período do ensaio.

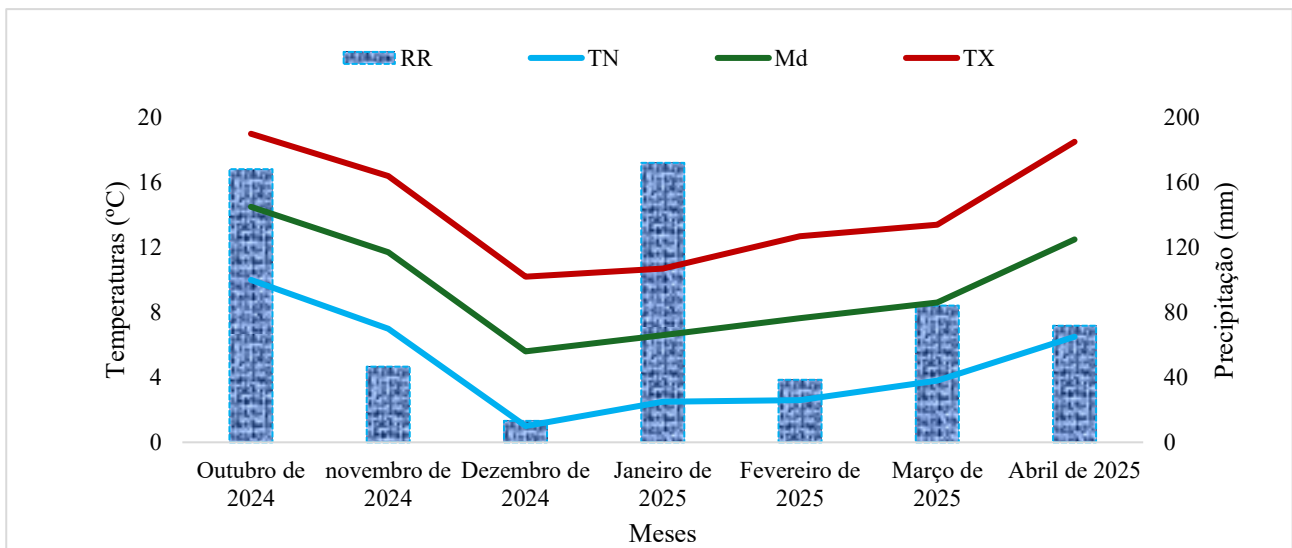


Figura 1: Valores mensais de precipitação (RR) e temperatura média das mínimas (TN), temperatura média (Md) e temperatura média das máximas (TX) registadas durante o período do ensaio (IPMA, 2025).

2.3. Descrição da experiência

O ensaio foi realizado em vasos de plástico, com altura de 14 cm e diâmetro de boca de 16 cm e capacidade para 3 kg de solo. No ensaio foram incluídos cinco tratamentos: cinza (Ci); composto (Com); nitrato de amónio 20,5% (NA); cinza mais nitrato de amónio (Ci+NA); e testemunha (Test). Os tratamentos fertilizantes foram aplicados a duas culturas, designadamente trevo-encarnado e aveia (cv. Boa Fé). Para a combinação de cada espécie e tratamento fertilizante foram incluídas três repetições. Assim, a experiência foi organizada em fatorial com dois fatores: espécies (dois níveis de fator); e fertilizantes (cinco níveis de fator).

A cinza foi usada na dose de 10 g vaso⁻¹, quer no tratamento constituído apenas por cinza quer no tratamento que recebeu também nitrato de amónio. O composto foi usado na dose de 20 g vaso⁻¹. Nitrato de amónio foi usado na dose de 0,6 g vaso⁻¹, dividido em fundo (0,2 g vaso⁻¹) e cobertura (0,4 g vaso⁻¹).

Atendendo à área da boca dos vasos, estas doses tentaram similar o uso de 5 t ha⁻¹ de cinza, 10 t ha⁻¹ de composto e 20 (fundo) e 40 (cobertura) kg ha⁻¹ de azoto na forma de nitrato de amónio. As principais propriedades de cinza e composto são apresentadas no **Quadro 2**.

Quadro 2: Principais características da cinza e composto usadas no ensaio.

Parâmetros	Cinza	Composto	Unidade
	Resultado		
Carbono	0,2	36,7	%
Azoto	0,0	2,4	%
Fósforo	1,4	0,4	%
Potássio	5,3	2,5	%
Cálcio	22,4	2,5	%
Magnésio	2,2	0,4	%
Boro	103,7	43,8	mg kg ⁻¹
Cobre	13848,5	55,0	mg kg ⁻¹
Ferro	2253,8	4805,1	mg kg ⁻¹
Zinco	127,2	217,3	mg kg ⁻¹
Manganês	65,6	610,3	mg kg ⁻¹
Níquel	0,2	10,3	mg kg ⁻¹
Chumbo	28,5	3,8	mg kg ⁻¹
Crómio	1,6	14,6	mg kg ⁻¹
Cádmio	27,4	0,3	mg kg ⁻¹
Condutividade	18,1	3,0	mg kg ⁻¹
pH	12,7	7,4	-
Humidade	0,7	22,1	%

2.4. Instalação e condução do ensaio

O ensaio foi instalado no mês de outubro de 2024. Inicialmente fez-se a adubação de fundo utilizando as doses acima referidas. Após a incorporação dos fertilizantes fez-se a sementeira distribuindo a semente homogeneamente nos vasos numa profundidade não superior a 2 cm.

O desbaste foi realizado duas semanas após a sementeira, quando as plantinhas apresentavam um vigor aceitável e quando as raízes ainda não estavam entrelaçadas entre si no interior do solo. Esta atividade teve como objetivo equilibrar a quantidade de plantas contidas nos vasos para cada espécies e respetivos tratamentos, uma vez que à sementeira se usou propositadamente um ligeiro excesso de semente.

Em função das precipitações que se verificam na região, efetuou-se a rega, sem um calendário definido, mas quando se julgou necessário atender às necessidades hídricas das plantas. Após o desbaste ou a adubação de cobertura foi sempre aplicada uma rega.

Para evitar a competição por nutrientes e água, as infestantes foram eliminadas continuamente ao longo do ciclo das culturas.

A adubação de cobertura (adubação azotada), foi realizada nos tratamentos que receberam nitrato de amónio no início da primavera, em 24 de março de 2025. A adubação de cobertura destinou-se a reduzir as perdas do nutriente por lixiviação e volatilização, resultante da incapacidade das plantas absorverem o azoto devido às condições de temperaturas baixas registadas no inverno.

A colheita da biomassa foi realizada em 30 de abril, quando as plantas já não mostravam resposta à adubação azotada. A colheita consistiu no corte das plantas à um nível de altura próximo a superfície do solo.

Após o corte, as amostras foram colocadas numa estufa regulada a 70 °C. A matéria seca obtida foi pesada numa balança de precisão e, de seguida moída, passando numa malha de 1 mm, antes de seguir para as análises laboratoriais.

2.5. Determinações laboratoriais feitas no solo

2.5.1. Determinação do carbono facilmente oxidável

O teor de carbono facilmente oxidável (**Figura 3**), transformado posteriormente em % de matéria orgânica, foi determinado através do método de Walkley-Black. Pesou-se 1 g de terra fina (fração menor que 2mm) para um *erlenmeyer* de 250 mL.

Posteriormente adicionou-se 10 mL de dicromato de potássio e 20 mL de ácido sulfúrico. Esta mistura foi mantida em reação durante o período de 30 minutos. Ao fim deste tempo adicionou-se 250 mL de água destilada. Foi preparado um branco com os reagentes sem a amostra.

Após a adição do indicador fenantrolina foi efetuada uma titulação do excedente de dicromato com uma solução de sulfato de ferro amoniacal 0,5 M (Van Reeuwijk, 2002). A quantidade do carbono facilmente oxidável foi calculada a partir da seguinte equação matemática:

$$\text{Porcentagem de carbono facilmente oxidável (\%)} = \frac{(B-S) \times M \text{ de Fe} \times 12}{g \text{ do solo} \times 4000} \times 100, \text{ onde:}$$

B – mL da solução de ferro necessárias para titulação do branco

S- mL da solução de ferro necessárias para titulação da amostra

M – Molaridade da solução do sulfato de ferro amoniacal

12/4000- Peso de um miliequivalente de carbono em gramas

A quantidade de matéria orgânica foi calculada com base no pressuposto de que este constituinte do solo contém 50% de carbono equivale $\% \text{ de matéria orgânica} = \% \text{ carbono} \times 100/58$ ou $\% \text{ de matéria orgânica} = \% \text{ carbono} \times 1,72$



Figura 2: Determinação da matéria orgânica facilmente oxidável

2.5.2. pH

Foram pesadas 10 g da terra fina para um copo de 50 mL, às quais se adicionou s 25 mL de água destilada. A leitura foi realizada por potenciometria dos valores do pH em água.

2.5.3. Fósforo e potássio

A determinação do fósforo e do potássio, obedeceu os procedimentos do método de Égner-Riehm. Para tal foram pesadas 2 g de terra fina para um copo de 250 mL. Posteriormente adicionou-se 40 mL de uma solução à base de ácido láctico e ácido acético. A suspensão de solo+ solução extrativa foi submetida a agitação num agitador mecânico durante 2 horas, seguido de filtração da suspensão. O fósforo foi determinado após a adição de uma solução de desenvolvimento de cor à base de molibdato de amónio e ácido ascórbico. A intensidade da cor azul desenvolvida foi lida num espectrofotómetro de absorção molecular a 882 nm. O potássio foi determinado diretamente na solução filtrada por fotometria de chama no equipamento Jenway PFP7, Jenway (Balbino, 1968).

2.5.4. Determinação do boro

A determinação da concentração de boro foi feita após desenvolvimento de cor com azometina-H, em espectrofotómetro a 420 nm. Para tal, pesaram-se 10 g de terra fina em sacos plásticos e foram adicionados 20 mL de CaCl_2 0,02M. Seguidamente os sacos foram colocados em água em ebulição durante 10 minutos. Depois de resfriados os sacos foram abertos e o conteúdo filtrou-se o solo com auxílio de um papel filtro para frascos de polietileno.

Seguidamente transferiu-se 1 mL da solução filtrada em tubos de 10 mL ao qual se adicionaram 2 mL de uma solução tampão à base de acetato de amónio, EDTA e ácido acético. Adicionaram-se de seguida 2 mL da solução de azometina-H para o desenvolvimento de cor em função da concentração em boro. A determinação foi feita no espectrofotómetro T80+ UV/VIS Spectrometer, fabricado pela PG Instruments depois de 30 minutos e quantificada a partir de uma reta de calibração feita para boro (FAO, 2022).



Figura 3: Espectrofotómetro de Absorção molecular

2.6. Parâmetros determinados nos tecidos vegetais

Na matéria seca oriunda da biomassa obtida nos ensaios, foram realizadas diferentes análises laboratoriais que se descrevem a seguir. As amostras foram previamente secas a 70 °C numa estufa de ventilação forçada (**Figura 4**). Posteriormente foram moídas num moinho com um crivo de 1 mm de malha. Após estas operações a matéria seca foi sujeita a processos analíticos.



Figura 4: Matéria seca triturada: aveia (esquerda) e trevo (direita)

2.6.1. Determinação de azoto

Para determinação do azoto, pesou-se 1 g da matéria seca, que foi colocada no tubo do equipamento de digestão da marca FOSS, modelo 2520 (para 20 tubos) frequentemente usado para a digestão de amostras no método Kjeldahl. Adicionaram-se duas pastilhas catalisadoras a base de $\text{CuSO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ e 15 mL de H_2SO_4 concentrado em cada tubo de digestão onde continha a amostra. Depois de 1 hora e 20 minutos à temperatura de 420° C. A determinação do azoto foi feita depois do resfriamento da solução usando um equipamento de destilação e titulação Kjeldahl automático (marca Foss, modelo FOSS FiberCap).

Adicionando uma quantidade de hidróxido de sódio no tubo com a amostra digerida, forma-se amónia que é arrastada numa corrente de vapor e titulada com ácido clorídrico em solução de ácido bórico com indicadores (Bremner, 1996).



Figura 5: Equipamento de digestão (esquerda) e leitura automática do azoto no equipamento Kjeldahl a (direita)

2.6.2. Boro

Para a determinação do boro pesou-se 1 g da matéria seca e 1 g de óxido de cálcio. Procedeu-se a mistura dos elementos em um cadinho de porcelana até atingir uma mistura homogénea. Seguidamente, os cadinhos foram levados numa mufla a 500 °C por 90 minutos.

Após o resfriamento dos cadinhos, adiciona-se 10 mL de ácido sulfúrico 0,5M e procede-se a agitação da suspensão durante 15 minutos. Depois de um período de repouso de 30 minutos procedeu-se a filtração.

Transferiu-se 1 mL da amostra filtrada para tubos de polietileno e adiciona-se 2 mL de uma solução de azometina-H mais 2 mL de uma solução tampão à base de acetato de amónio e EDTA de sódio, para o desenvolvimento de cor. Feita a agitação dos tubos, a leitura foi realizada depois de 30 minutos, no espectrofotómetro de absorção molecular (T80+ UV/VIS Spectrometer, fabricado pela PG Instruments) a 420 nm, e quantificada a partir de uma reta de calibração feita para boro.

2.6.3. Restantes nutrientes

Para a determinação do fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês, procedeu-se à mineralização de 0,25 gramas da matéria seca com 10 mL de ácido nítrico num digestor de amostras por micro-ondas, durante cerca de 30 minutos. Depois do arrefecimento, o fósforo foi determinado após o desenvolvimento da cor azul com uma solução de molibdato de amónio e ácido ascórbico, num espectrofotómetro de absorção molecular (T80+ UV/VIS Spectrometer, fabricado pela PG Instruments) a 882 nm. Os restantes micronutrientes (cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco, manganês), foram determinados no espectrofotómetro de absorção atómica da marca Perkin Elmer modelo PinAAcle 900T (Temminghoff e Houba, 2004).

2.7. Determinação da quantidade de nutrientes exportados

A exportação de nutrientes pelas culturas de aveia e trevo foi estimada pela multiplicação da concentração de nutrientes nos tecidos vegetais (em g kg⁻¹ ou mg kg⁻¹) pela produção de biomassa seca (em g vaso⁻¹), considerando toda a parte aérea das plantas. Esta abordagem segue a metodologia descrita por Corrêa *et al.* (2024), com adaptações para as espécies estudadas.

2.8. Determinação da quantidade de azoto fixado pelo trevo

A estimativa da quantidade de azoto fixado pela leguminosa foi baseada no método das diferenças. Para isso, considerou-se a diferença entre o azoto total exportado na parte aérea do trevo e o azoto exportado pela aveia, utilizada como planta referência não fixadora, assumindo-se que a aveia obtém todo o azoto exclusivamente do solo.

2.9. Análise estatística

A análise dos resultados foi realizada através do programa estatístico R Stúdio. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA). As médias com diferenças significativas entre tratamentos foram sujeitas ao teste de comparação múltipla de médias Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

3. RESULTADOS

3.1. Matéria seca

A matéria seca corresponde à parte da biomassa vegetal que permanece depois da remoção da água. A **figura 5** apresenta o peso da massa seca da aveia e do trevo, submetidos aos diferentes tratamentos.

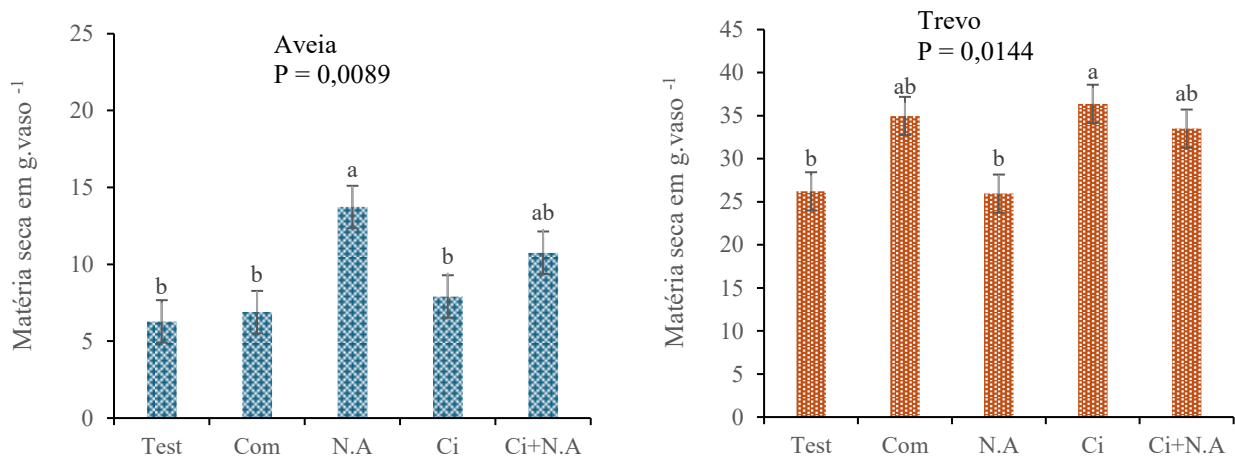


Figura 6: Quantidade de matéria seca produzida pela aveia e trevo submetido aos tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA); e Testemunha (Test). Médias com a mesma letra não apresentam diferença estatística significativas pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

A cultura do trevo registou valores médios de matéria seca mais elevados quando comparado com a aveia, com médias a variar entre 25,9 e 36,3 g vaso⁻¹, e evidenciando diferenças significativas entre os tratamentos. Valores médios mais elevado foram observados no tratamento Ci; o tratamento NA resultou em valores médios mais baixos de biomassa produzida.

Também foram observadas diferenças significativas na produção de matéria seca na cultura da aveia, os valores variaram entre 6,4 g vaso⁻¹ e 13,7 g vaso⁻¹. O tratamento Ci registou valores tendencialmente mais elevados que os tratamentos Com e Test, porem sem diferirem significativamente. Médias mais altas foram conseguidas com aplicação de nitrato de mónio; o tratamento NA registou valores médios mais elevados.

3.2. Azoto atmosférico fixado na cultura do trevo

A cultura do trevo (leguminosa) difere da cultura da aveia (gramínea) na sua morfologia e fisiologia. Porém, uma das grandes diferenças destes dois grupos de plantas reside no facto de as leguminosas serem fixadoras do azoto atmosférico através de simbiose com bactérias nitrificantes.

Quadro 3: Quantidade de azoto atmosfera fixado pela cultura do trevo submetida aos tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA); e Testemunha (Test).

	Test	Com	NA	Ci	Ci+NA
Azoto da atmosfera (mg vaso ⁻¹)*	485,1	670,0	403,4	721,4	590,0
Azoto da atmosfera (%)*	92,6	94,9	80,4	94,7	86,1

*Valor obtido pela diferença de azoto exportado na matéria seca no trevo e na aveia, assumindo que a aveia não fixa azoto atmosférico.

Com base no **Quadro 3**, quantidades mais elevadas de azoto fixado foram registadas no tratamento Ci e no tratamento Com. Por outro lado, a percentagem de fixação naqueles tratamentos foram de 94,9 e 94,7, respetivamente. As quantidades mais baixas de azoto fixado foram registadas nos tratamentos que receberam aplicação de nitrato de amónio (NA e Ci+NA, com 80,4 e 86,1 %, respetivamente).

3.3. Concentração de macronutrientes nos tecidos vegetais

A **Figura 7** apresenta a concentração de N nos tecidos vegetais na cultura da aveia e do trevo, submetidos aos tratamentos Composto, Nitrato de Amónio, Cinza, Cinza + Nitrato de Amónio e Testemunha.

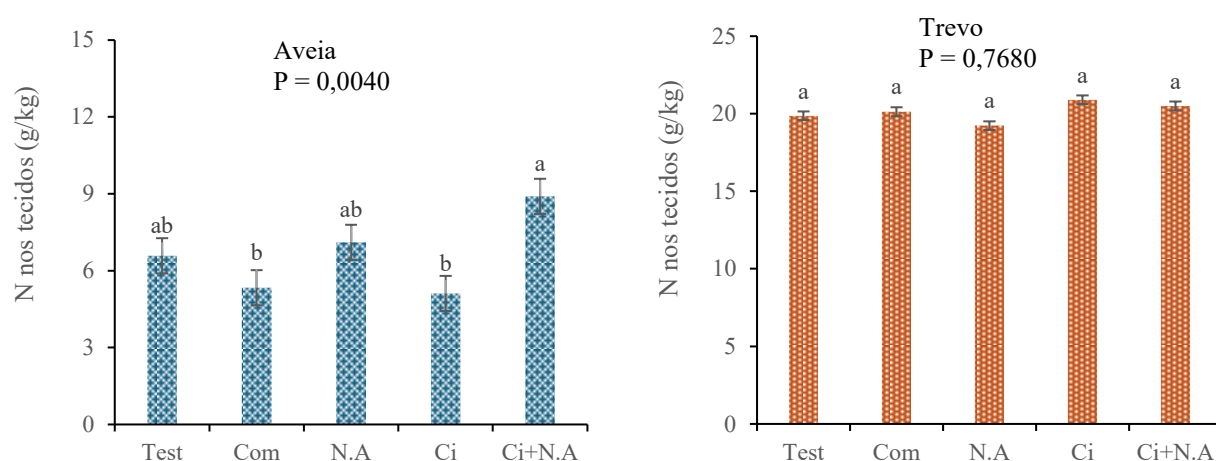


Figura 7: Teor de azoto (N) nos tecidos da aveia e trevo submetidos a tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA), Cinza (Ci), Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA) e Testemunha (Test). Médias com a mesma letra não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

Com base na **Figura 7**, nota-se que a concentração de azoto nos tecidos vegetais da cultura do trevo originou médias de concentração de azoto mais altas. Os valores variaram entre 19,2 e 20,5 g kg⁻¹, embora sem diferenças significativas entre tratamentos.

Na aveia a concentração de azoto variou significativamente com os tratamentos. Concentrações mais baixas foram registadas no tratamento Ci (5,1 g kg⁻¹). O tratamento Ci+NA registou a média mais elevada (8,90 g kg⁻¹). Os tratamentos NA e Test não diferiram entre si na concentração de azoto.

A figura a seguir apresenta a concentração de fósforo nos tecidos da aveia e do trevo, submetidos aos cinco tratamentos.

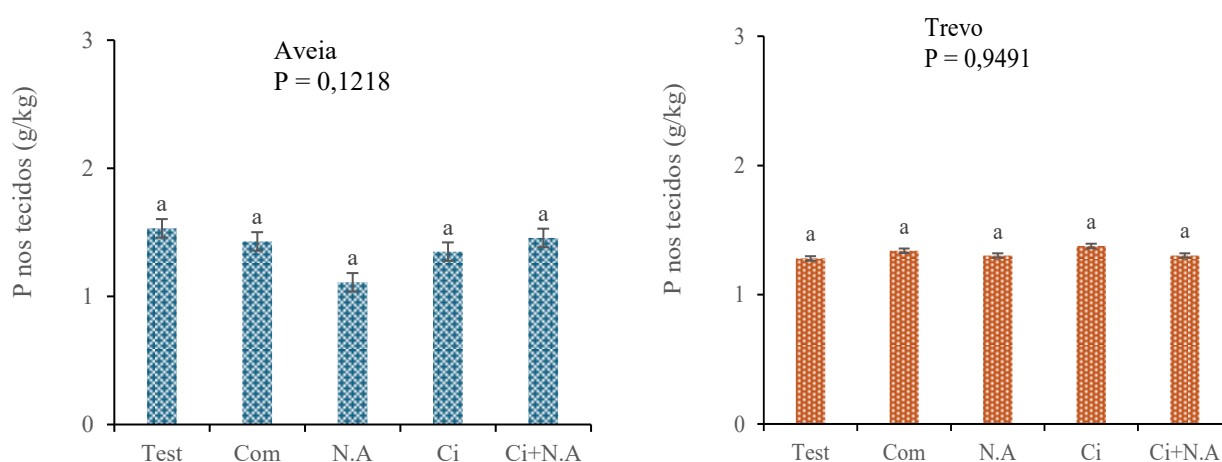


Figura 8: Teor de fósforo (P) nos tecidos da aveia e trevo submetidos aos tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA) e Testemunha (Test). Médias com a mesma letra indicam que não há diferença estatística significativas entre tratamentos pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

As concentrações de fósforo nos tecidos vegetais não diferiram significativamente na cultura da aveia e no trevo (**Figura 8**). Na cultura do trevo as médias variaram entre 1,1 e 1,5 g kg⁻¹. A maior concentração foi observada no tratamento Test e o valor mais baixo foi registado no tratamento Ci. Na cultura do trevo as médias entre os tratamentos diferiram menos e variaram entre 1,28 e 1,4g kg⁻¹.

A **Figura 9** apresenta a variação da concentração do potássio nos tecidos vegetais na cultura da aveia e do trevo, submetidos ao tratamento Composto, Nitrato de Amónio, Cinza, Cinza + Nitrato de Amónio e Testemunha.

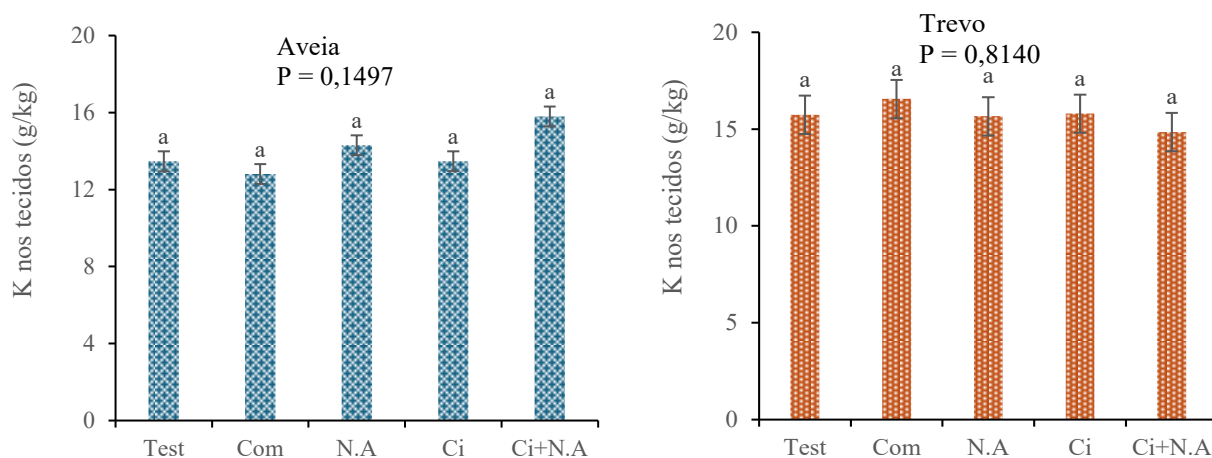


Figura 9: Teor de potássio (K) nos tecidos da aveia e trevo submetidos aos tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA); e Testemunha (Test). Médias com letras iguais indicam que não há diferenças estatísticas significativas entre tratamentos pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

A concentração de potássio nos tecidos não diferiu significativamente entre os tratamentos na cultura da aveia e trevo (**Figura 9**). As concentrações nos tecidos da aveia variaram entre 12,8 e 15,8 g kg⁻¹. Ainda que sem diferenças significativas, valores mais altos foram registados no tratamento Ci+NA e a média mais baixa foi registada no tratamento Com. A cultura do trevo apresentou médias mais altas, no tratamento Com (16,6 g kg⁻¹).

3.4. Concentração de macronutrientes secundários e micronutrientes nos tecidos vegetais

No **Quadro 4** apresentam-se as concentrações nos tecidos de macro e micronutrientes, nomeadamente cálcio, magnésio, boro, ferro, manganês, zinco e cobre em função dos tratamentos Composto, Nitrato de Amónio, Cinza, Cinza + Nitrato de Amónio e Testemunha.

Quadro 4: Concentração de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Boro (B), Ferro (Fe), Manganês (Mg), Zinco (Zn) e Cobre (Cu) nos tecidos da aveia e trevo submetidos aos tratamentos Composto (Com), Nitrato de Amônio (NA), Cinza (Ci), Cinza + Nitrato de Amônio (Ci+NA) e Testemunha (Test).

		Ca	Mg	B	Fe	Mn	Zn	Cu
Culturas	Tratamentos	mg.kg ⁻¹						
Aveia	Test	2,3 a	1,8 a	9,7 b	2812,0 a	114,8 a	14,5 a	28,8 a
	Com	2,1 a	1,5 a	10,3 b	2485,2 a	93,8 ab	10,6 a	23,3 a
	NA	1,9 a	1,4 a	9,9 b	1237,2 a	63,4 b	8,3 a	11,0 a
	Ci	2,7 a	1,8 a	18,0 a	3318,1 a	104,9 ab	12,6 a	28,0 a
	Ci+NA	2,3 a	1,7 a	10,4 b	1190,3 a	58,9 b	11,1 a	12,4 a
Trevo	Test	5,0 a	2,3 a	20,6 b	286,3 a	50,9 a	26,8 a	7,0 a
	Com	5,7 a	2,4 a	18,3 b	246,3 a	40,5 a	18,0 a	6,2 a
	NA	5,4 a	2,4 a	26,9 a	250,9 a	64,0 a	17,2 a	7,0 a
	Ci	5,5 a	2,4 a	30,6 a	197,8 a	35,7 a	16,3 a	5,5 a
	Ci+NA	5,2 a	2,0 a	29,0 a	216,1 a	32,9 a	15,2 a	6,4 a
Prob (Aveia)		0,1338	0,1514	0,0159	0,0627	0,0121	0,4262	0,0505
Prob (Trevo)		0,7969	0,8515	0,0003	0,3222	0,0652	0,1030	0,1693

Médias com as mesmas letras não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

A concentração de cálcio e magnésio não diferiram significativamente entre tratamentos. De modo geral, os valores médios variaram entre 1,9 à 2,7 de Ca e 1,4 à 1,8 mg kg⁻¹. Os valores mais elevados foram registados no tratamento CI e os mais baixos no tratamento NA (1,9 mg kg⁻¹).

A concentração de boro variou significativamente entre tratamentos. O valor médio da concentração de boro variou de 9,7 a 18 mg kg⁻¹ na cultura da aveia (**Quadro 4**). O tratamento Ci se distinguiu dos demais registando médias mais elevadas. Os teores de ferro, zinco e cobre variaram entre os tratamentos, porém sem diferença estatisticamente significativa. A concentração de manganês variou significativamente entre tratamentos, sendo as médias mais elevadas registadas no tratamento Ci (104,9 mg kg⁻¹) e as médias mais baixas no tratamento com Ci+NA (58,9 mg kg⁻¹).

A concentração de cálcio e magnésio nos tecidos do trevo, não diferiu significativamente entre tratamentos (**Quadro 4**). As médias variaram entre 5,0 e 5,7 mg kg⁻¹ de cálcio e 2,0 e 2,4 mg kg⁻¹ de magnésio. Para estes macronutrientes, o tratamento Com e Ci pareceram registar médias tendencialmente mais altas, sendo as médias mais baixas obtidas no tratamento com Ci+NA e na Test.

O teor de boro na cultura do trevo variou significativamente entre tratamentos. Os tratamentos Ci+NA, Ci e NA registaram médias mais altas, porém não diferiram significativamente entre si. A média mais baixa foi registada no tratamento Com (18,3 mg kg⁻¹).

Os tratamentos com Ci e Ci+NA diferiram dos demais tratamentos apresentando as médias mais altas (30,6 e 29 mg kg⁻¹, respectivamente). A concentração de ferro, manganês, zinco e cobre não diferiram significativamente entre tratamentos.

3.5. Exportação de macronutrientes nos tecidos vegetais

Os macronutrientes principais são demandados pelas plantas e retirados do solo em maior quantidade em relação aos micronutrientes e a sua concentração nos tecidos vegetais encontra-se diretamente relacionada com a sua disponibilidade no solo. No **Quadro 5** apresentam-se as quantidades dos macronutrientes exportados pelas culturas da aveia e do trevo submetidas aos diferentes tratamentos.

Quadro 5: Teores de azoto (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) exportados pela aveia e trevo submetidos a tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amônio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amônio (Ci+NA); e Testemunha (Test).

Culturas	Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg
		g.kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹	
Aveia	Test	38,7 b	9,3 a	83,0 b	14,5 a	11,0 a
	Com	36,0 b	9,7 a	89,3 b	14,5 a	10,6 a
	NA	98,4 a	15,3 a	197,0 a	26,9 a	18,7 a
	Ci	40,3 b	10,6 a	106,3 b	20,9 a	14,6 a
	Ci+NA	95,4 a	15,7 a	169,4 ab	25,3 a	18,5 a
Trevo	Test	523,8 b	33,9 a	409,4 a	131,4 a	61,0 a
	Com	706,0 a	47,1 a	579,6 a	199,6 a	84,9 a
	NA	501,8 b	33,8 a	406,6 a	140,0 a	61,0 a
	Ci	761,8 a	50,5 a	577,3 a	202,7 a	88,3 a
	Ci+NA	685,4 ab	43,6 a	498,5 a	172,9 a	68,7 a
Prob (Aveia)		0,0005	0,0586	0,0052	0,1472	0,1608
Prob (Trevo)		0,0427	0,1224	0,0595	0,0865	0,3213

Médias com a mesma letra não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

Como apresentado na **Quadro 5** ocorreram diferenças significativas na exportação de azoto pela aveia. Os tratamentos NA e Ci+NA obtiveram médias mais altas, porém sem diferenças significativas entre si (98,4 e 95,4 g kg⁻¹, respectivamente). Valores mais baixos foram observados nos tratamentos Ci, Com e Test; estes, por sua vez, também não apresentaram diferenças significativas entre si. Não se observaram diferenças significativas no fósforo exportado entre os diferentes tratamentos na cultura da aveia. As médias variaram entre os 9,3 e 15,7 g kg⁻¹. Os valores mais altos foram registrados nos tratamentos NA. O teor de potássio variou significativamente entre os

tratamentos. A média mais elevada foi registada no tratamento NA (197 g kg⁻¹). Os tratamentos Ci, Com e Test, não diferiram entre.

A cultura do trevo registou médias mais altas de exportações de macronutrientes (**Quadro 5**). A quantidade de azoto exportado variou significativamente entre tratamentos. Os tratamentos Ci e Com registaram médias mais altas (761, e 706.0 g kg⁻¹). Médias mais baixas foram registadas no tratamento com NA (501,8 g kg⁻¹). Porém, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre tratamentos nas exportações de fósforo e potássio. Os tratamentos Com e Ci pareceram registar médias mais altas. Médias mais baixas foram obtidas nos tratamentos NA e Test.

Não houve diferenças significativas na exportação de macronutrientes secundários (cálcio e magnésio). Os tratamentos Ci e Com apresentaram valores mais altos naqueles macronutrientes exportados.

3.6. Exportação de micronutrientes nos tecidos vegetais

Embora os micronutrientes sejam requeridos pelas culturas em quantidades menores em relação aos macronutrientes, sua concentração nos tecidos vegetais é indispensável para o pleno desenvolvimento das culturas. O **Quadro 6** apresenta a exportação de boro, ferro, manganês, zinco e cobre pelas culturas da aveia e trevo.

Quadro 6: Exportação de boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre Cu) pelas culturas da aveia e trevo submetido aos tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amónio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amónio (Ci+NA); e Testemunha (Test).

Culturas	Tratamentos	B	Fe	Mn	Zn	Cu
		mg.kg-1				
Aveia	Test	0,1 a	19,9 a	0,7 a	0,1 a	0,2 a
	Com	0,1 a	18,1 a	0,7 a	0,1 a	0,5 a
	NA	0,1 a	17,9 a	0,9 a	0,1 a	0,5 a
	Ci	0,1 a	26,7 a	0,8 a	0,1 a	0,2 a
	Ci+NA	0,1 a	12,6 a	0,6 a	0,1 a	0,1 a
Trevo	Test	0,5 c	7,7 a	1,31 a	0,7 a	0,2 a
	Com	0,6 bc	8,6 a	1,41 a	0,6 a	0,2 a
	NA	0,7 bc	6,4 a	1,64 a	0,5 a	0,9 a
	Ci	1,1 a	7,1 a	1,29 a	0,6 a	0,2 a
	Ci+NA	1 ab	7,3 a	1,09 a	0,5 a	0,2 a
Prob (Aveia)		0,1012	0,6094	0,7754	0,0584	0,7239
Prob (Trevo)		0,0016	0,7378	0,3725	0,4693	0,5105

Médias com a mesma letra não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

Não foram observadas diferenças significativas na exportação de micronutrientes (boro, ferro, manganês, zinco, cobre) na cultura da aveia.

Na cultura do trevo, foram registradas diferenças estatísticas significativas na exportação de boro. As médias variaram entre 0,5 e 1,1 mg kg⁻¹. Os tratamentos com Ci resultaram em média mais altas (1,1 mg kg⁻¹). O tratamento NA registou médias mais elevadas que o tratamento Com e Test. Não foram observadas diferenças significativas na exportação de micronutrientes como ferro, manganês, zinco e cobre.

3.7. Propriedades do solo

As análises finais ao solo permitem avaliar o efeito dos tratamentos nas culturas. No **Quadro 7**, apresentam-se os resultados da análise final do solo usado nesta experiência.

Quadro 7: Carbono orgânico (CO), pH (H₂O), fósforo (expresso em P₂O₅), potássio (expresso em K₂O) e boro (B) em função dos tratamentos: Composto (Com); Nitrato de Amônio (NA); Cinza (Ci); Cinza + Nitrato de Amônio (Ci+NA); e Testemunha (Test).

Culturas	Tratamentos	CO	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	B
		g kg ⁻¹	H ₂ O		mg kg ⁻¹	
Aveia	Test	11,1 a	6,9 bc	69,0 b	127,7 b	1,1 a
	Com	12,5 a	6,6 c	78,7 ab	139,0 ab	0,8 a
	NA	12,4 a	6,5 c	65,2 b	121,0 b	0,6 a
	Ci	12,2 a	7,0 ab	99,6 a	159,0 a	0,8 a
	Ci+NA	12,1 a	7,3 a	86,2 ab	146,3 ab	0,8 a
Trevo	Test	11,9 a	6,6 b	55,1 b	115,3 a	0,6 ab
	Com	12,6 a	6,6 b	68,8 ab	122,0 a	0,4 b
	NA	11,3 a	6,5 b	65,1 ab	116,7 a	0,4 b
	Ci	12,9 a	6,9 a	86,6 a	144,3 a	0,5 ab
	Ci+NA	12,6 a	7,1 a	84,5 ab	155,0 a	0,8 a
Prob (Aveia)		0,6200	0,0002	0,0200	0,0064	0,1100
Prob (Trevo)		0,3164	0,0001	0,0292	0,1328	0,0236

Médias com a mesma letra não apresentam diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

Não foram observadas diferenças no teor de carbono orgânico entre tratamentos na cultura da aveia. Na cultura da aveia, o pH (H₂O) registou diferenças significativas. Valores mais altos foram registados nos tratamentos Ci+NA e Ci. O tratamento NA registou médias mais baixas. O teor de potássio extraível no solo também diferiu significativamente entre tratamentos. Os tratamentos Ci e Ci+NA originaram médias mais altas. Médias mais baixas foram registadas no tratamento NA e Test.

O teor de potássio diferiu significativamente entre tratamentos. A média mais alta foi verificada no tratamento Ci. O tratamento NA e Test registraram as médias mais baixas. Os teores de boro no solo, não diferiram significativamente entre tratamentos.

Os vasos com trevo registraram teores de carbono orgânico ligeiramente maior que os da cultura da aveia. Todavia, não se observou diferenças estatísticas significativas entre tratamentos **(Quadro 7)**. O pH variou significativamente entre tratamentos. Os que receberam Cinza registraram valores mais altos. Os teores de potássio e fósforo extraível no solo também diferiram entre tratamentos.

Os tratamentos que receberam Cinza registraram médias mais altas. As médias mais baixas foram registradas no tratamento NA e Test. Os valores de potássio no solo não diferiram significativamente entre tratamentos. A concentração de boro diferiu significativamente entre os tratamentos. O tratamento Ci+NA distinguiu-se dos demais com a média mais alta. O tratamento NA registou a média mais baixa.

4. DISCUSSÃO

4.1. Produção de biomassa

A cultura do trevo resultou em maior rendimento de biomassa quando comparado com a aveia (**Figura 6**). Esse desempenho pode ser atribuído à sua eficiente capacidade de fixação biológica de azoto atmosférico, característica inerente às leguminosas, que contribui para maior acúmulo de nutrientes e, conseqüentemente, para o aumento da produção de matéria seca.

A fixação biológica de azoto é um processo mediado por microrganismos presentes no solo, que convertem o azoto atmosférico (N_2) em amónio (NH_4^+). Esse processo é realizado por diversas bactérias que possuem o complexo enzimático nitrogenase, responsável por romper a ligação tripla do N_2 e reduzir o azoto molecular a amónia. A fixação biológica de azoto desempenha um papel importante na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes (com maior realce para o azoto) nos ecossistemas e constitui uma importante estratégia para a sustentabilidade agrícola, especialmente em sistemas que buscam reduzir a dependência de fertilizantes azotados de síntese industrial (Mohammadi, 2012; Ferreira, 2022).

Para que o processo de fixação biológica de azoto seja eficaz, é fundamental que o solo apresente pH próximo da neutralidade, boa disponibilidade de matéria orgânica e nutrientes essenciais ao metabolismo microbiano. Além disso, uma estrutura do solo favorável com bom arejamento, porosidade e retenção de humidade contribuem significativamente para a atividade e o estabelecimento dos microrganismos fixadores. Embora a fixação em si ocorra em condições de baixo oxigénio nos nódulos, o solo deve ter bom arejamento e humidade equilibrada, evitando extremos de secura e compactação (Chen, 2006).

Na cultura do trevo foram evidenciadas diferenças significativas entre tratamentos. O tratamento Ci, registou valores médios de biomassa mais elevados entre tratamentos. Esse incremento pode ser atribuído à maior atividade microbiana no solo, estimulada pela adição de cinza, bem como nutrientes presentes nesses insumos. A aplicação de cinza melhora as propriedades do solo, o nível de agregação das partículas do solo, aumenta a circulação do ar e a capacidade de retenção da água no solo o que resulta em um ambiente favorável para o crescimento e desenvolvimento de microrganismos do solo mantendo os seus mecanismos evolutivos e a ciclagem de nutrientes (Arruda *et al.*, 2016; Arrobas *et al.*, 2021).

O tratamento NA resultou em valores médios mais baixos de biomassa em comparação com o tratamento Test. Esses resultados indicam que a aplicação de nitrato de amônio não exerceu efeito significativo sobre o desenvolvimento da cultura, podendo inclusive ter inibido parcialmente a fixação biológica de azoto. Estudos realizados por diversos autores abordaram a capacidade da fixação biológica de azoto em suprir toda ou parcialmente a necessidade de azoto para as leguminosas. Estudos reportados por Petter (2012), lançam luz sobre uma particularidade das leguminosas: a sua resposta reduzida ou inexistente à aplicação de fertilizantes azotados.

Na cultura de aveia, a aplicação de cinza resultou em maior rendimento de biomassa em comparação com o tratamento Test (**Figura 6**). Estes resultados são consistentes com os relatados por Park *et al.*, (2012), os quais observaram que a aplicação de cinzas contribuiu para aumentos significativos na produção de biomassa nas culturas de azevém e aveia. Estudos realizados por Silva *et al.*, (2001), demonstraram que a aplicação balanceada com cinza pode impulsionar a produção das culturas, especialmente em solos de baixa fertilidade. Isso contrasta com o composto, que exige um processo gradual de mineralização para que os seus nutrientes se tornem acessíveis às plantas. As cinzas, diferente dos compostos, não causam imobilização de azoto e podem fornecer potássio e cálcio de forma imediata.

A superioridade na produção de biomassa no tratamento Ci em relação a Com pode estar associado à razão C/N do composto orgânico usado. A razão C/N explica a rapidez com que a matéria orgânica é mineralizada, e a proporção de azoto disponibilizado pela matéria orgânica. Em algumas situações, especialmente com compostos de alta relação C/N, os microrganismos podem imobilizar temporariamente o azoto do solo para sua própria proliferação. Isso significa que, no curto prazo, o azoto pode se tornar menos disponível para as plantas, limitando o crescimento da biomassa. A hipótese de imobilização de azoto como causa dos resultados observados nesta investigação pode ser descartada, uma vez que o composto orgânico utilizado apresentava uma razão (C/N) igual a 30. De acordo com Silvera (1987), compostos com razão C/N próximas ou inferiores a esse valor tendem a favorecer um equilíbrio entre mineralização e imobilização, não promovendo uma imobilização significativa do azoto disponível no solo.

O tratamento Com registou valores médios de biomassa mais elevados que o tratamento Test, porém uma média mais baixa quando comparada com o tratamento Ci. Este resultado pode ser explicado pela baixa concentração e lenta disponibilidade de nutrientes em particular o azoto. Os adubos orgânicos apresentam baixa concentração relativa de nutrientes que por sua vez são lentamente disponibilizados às plantas.

A lenta disponibilidade está relacionada com o tempo necessário para a decomposição da matéria orgânica e mineralização de nutrientes pelos microrganismos do solo o que resulta em baixa disponibilidade por unidade de tempo levando a atrasos no ciclo vegetativo e a reduzida produção de biomassa vegetal (Weil e Brady, 2017; Arrobas *et al.*, 2021).

Os tratamentos que receberam nitrato de amónio resultaram em maior produção de biomassa. Este comportamento pode ser explicado pela alta mobilidade de azoto (NO_3^-) presente neste fertilizante bem como a sua pronta disponibilidade para a planta. De acordo com Silva (1982) e Rodrigues e Arrobas (2011), o azoto é o nutriente mais consumido pelas plantas. Segundo Silva (2017), o azoto é um elemento essencial na constituição das moléculas de proteínas, as quais desempenham papéis fundamentais em diversos processos fisiológicos diretamente relacionados ao crescimento vegetal. A aplicação de doses adequadas de azoto promove o aumento da síntese de clorofila, intensifica a capacidade fotossintética das plantas. Essa maior eficiência na captação e conversão da energia solar resulta em maior produção de compostos orgânicos e, conseqüentemente, no incremento da biomassa vegetal. A absorção mais rápida deste nutriente pelas plantas promove um rápido metabolismo, situação que não se verifica com a aplicação de azoto na forma orgânica (Ladeira, 2017).

4.2. Fixação de azoto atmosférico

O **Quadro 3**, mostra a quantidade de azoto fixado pelas culturas do trevo. Os resultados de fixação mostraram que maiores quantidades de azoto foram conseguidas no tratamento Ci, sem se diferenciar estatisticamente do tratamento Com. Este incremento pode estar relacionadas com a melhoria das propriedades do solo resultante da aplicação de cinzas, já que microrganismos fixadores se desenvolvem melhor em solos com pH perto da neutralidade, com boa percentagem de oxigénio (Ferreira *et al.*, 2013). A ação da cinza nas propriedades do solo cria um ambiente sinérgico que não só melhora a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas, mas também promove condições ideais para a fixação biológica de azoto.

Guariz *et al.*, (2009), verificaram que a adição de cinza enriquece o solo com nutrientes importantes, como fósforo, cálcio e micronutrientes. Exerce também efeito corretivo no pH, podendo tornar o molibdénio mais acessíveis. A disponibilidade de fósforo, cálcio e molibdénio é fundamental para o desempenho dos microrganismos fixadores de azoto, designadamente bactérias do género *Rhizobium*, que estabelecem simbiose com leguminosas, bem como bactérias de vida livre.

Esses elementos atuam como cofatores essenciais em processos metabólicos relacionados à fixação biológica do azoto, como a atividade da nitrogenase, enzima responsável pela conversão do azoto atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas (Chen, 2006).

Níveis mais baixo de azoto atmosférico assimilado foram obtidos no tratamento NA. Este fato pode estar relacionado com o efeito acidificante deste nutriente pela liberação de H^+ , o que leva à acidificação ao longo do tempo. Isso afeta a microbiota, reduzindo a atividade e a biodiversidade de microrganismos no solo, cria condições desfavoráveis ao crescimento destes (Fernandes *et al.*, 2022). Por outro lado, a aplicação de uma fonte prontamente disponível de azoto mineral como o nitrato de amônio, faz com que as plantas tendam a absorver esse azoto de forma preferencial. Esta ação leva a quebra no processo de fixação sinalizando para as bactérias fixadoras que a fixação de azoto atmosférico não é mais uma necessidade energética. A síntese da enzima nitrogenase, crucial para a fixação biológica de azoto, é um processo energeticamente caro, e a presença abundante de azoto mineral inibe sua produção e, conseqüentemente, a atividade de fixação (Mohammadi e Sohrabi, 2012).

4.3. Concentração de macronutrientes nos tecidos vegetais

A concentração de azoto nos tecidos vegetais da cultura do trevo não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos. O tratamento Ci, pareceu registrar valores médios mais altos, porém sem se diferenciar dos demais tratamentos. Este resultado pode dar indicações que o processo de fixação biológica de azoto ocorreu de forma eficiente em todos tratamentos, proporcionando maior autonomia da planta no suprimento das suas necessidades azotadas. Conseqüentemente, não foi possível observar variações evidentes na concentração de azoto entre os tratamentos.

Mohammadi e Sohrabi (2012) referiram que a simbiose que as leguminosas estabelecem com os microrganismos dos gêneros *Rhizobium* ou *Bradyrhizobium*, resulta na fixação biológica de azoto que pode suprir boa parte da demanda da planta por esse nutriente. Em solos com níveis muito baixos de azoto disponível, pode-se aplicar uma dose inicial reduzida de 10 a 20 kg N ha⁻¹ para suprir a planta nas fases iniciais, antes do estabelecimento completo da simbiose (Miranda, 2003).

Diferente do trevo, a concentração de azoto nos tecidos vegetais na cultura da aveia, variou significativamente entre tratamentos (**Figura 7**). O tratamento Ci, registou valores médios mais baixos de azoto em relação ao tratamento Com e Test. Estes resultados podem ser justificados pelo efeito de diluição do azoto na biomassa; ou seja, a menor concentração de azoto, resultou em uma maior produção de biomassa no tratamento Ci em comparação ao tratamento Com e Test.

O tratamento Ci destacou-se por apresentar desempenho substancialmente superior, indicando uma assimilação mais eficiente do azoto pelas plantas. Esses resultados sugerem que as cinzas foram eficazes em manter o azoto em uma forma favorável à sua incorporação na biomassa vegetal, conforme descrito por Lehmann e Joseph (2009).

Pela mesma razão que o tratamento Ci, o tratamento Com registou valores médios baixos de azoto nos tecidos em relação o tratamento Test. Tal efeito também pode estar relacionado com a disponibilidade lenta e contínua de nutrientes às plantas. Esses achados estão de acordo com Herencia *et al.*, (2007), os quais destacam que sistemas de cultivo orgânico apresentam teores de nitrato naturalmente mais baixos, em virtude das características do processo de decomposição e liberação de azoto orgânico.

A essência da liberação gradual reside na manutenção de um suprimento constante, e moderado, de nutrientes essenciais para as plantas. Em vez de uma superoferta inicial de nutrientes que pode levar à lixiviação e volatilização de azoto e, em última instância, à redução da eficiência do uso do nutriente. A liberação gradual dos nutrientes proporciona maior eficiência de aproveitamento pelas plantas, que pode resultar em um crescimento mais equilibrado ao longo do ciclo da cultura com reflexos diretos no aumento da produção de biomassa.

Os tratamentos que receberam nitratos, resultaram em valores médios mais altos de azoto nos tecidos vegetais na cultura da aveia. Tal resultado evidencia que a aplicação de nitrato de amónio, aumentou a disponibilidade de azoto para as plantas, que resultou em uma maior absorção pelas plantas. Estes resultados são consistentes aos encontrados por Corrêa (2024). Por outro lado, Kerbauy (2004) e Sylvestre *et al.*, (2019), ao estudarem o efeito de fertilizantes azotados, concluíram que a maior produtividade vegetal resultante da aplicação de nitrato de amónio se deve ao facto do adubo mineral ser composto pelo catião amónio (NH_4^+) e pelo anião nitrato (NO_3^-) que na sua forma mista (NH_4NO_3) é um forte oxidante. Ele reage facilmente com outras substâncias, é altamente solúvel em água, possui baixo risco de perda por volatilização e, porque já se encontrar nas formas químicas nítrica e amoniacal, é de assimilação direta pela planta.

O tratamento Ci+NA resultou, de facto, em maiores concentrações de azoto nos tecidos vegetais. No entanto, esse acúmulo não se refletiu em um aumento proporcional na produção de biomassa, indicando a presença de fatores limitantes que comprometeram a eficiência de uso do azoto pelas plantas. Essa discrepância indica que, embora o nutriente estivesse presente em níveis elevados nos tecidos, sua conversão em biomassa foi menos eficiente nesse tratamento em comparação ao tratamento NA.

Tal ineficiência pode estar relacionada a desequilíbrios na disponibilidade de outros nutrientes essenciais, restrições fisiológicas da planta ou limitações impostas pelas condições edafoclimáticas, que comprometeram o aproveitamento pleno do azoto assimilado. De acordo com Boarreto (2016), a maximização da produtividade e a produção de biomassa nos sistemas agrícolas, passa pela identificação de fatores limitantes, de forma a garantir que as plantas tenham acesso a todos os recursos necessários em proporções adequadas para expressar seu pleno potencial genético. Assim como a escassez, a superabundância pode provocar desequilíbrios fisiológicos, antagonismos nutricionais e até toxicidade, comprometendo o desenvolvimento e a produtividade vegetal (Mendes, 2007).

Sfredo (2004), ao estudar as deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas verificou que a maior ou menor mobilidade dos nutrientes no floema tem profunda importância prática na identificação visual dos sintomas característicos ligados a deficiência ou toxicidade. O seu estudo mostrou que a deficiência ou toxicidade afetam a redistribuição de nutrientes o que provoca paragem no crescimento vegetal.

Com base nas **Figuras 8 e 9**, não se observaram diferenças significativa na concentração de fósforo e potássio na cultura do trevo. A ausência de diferenças significativas na concentração de fósforo e potássio, em contraste com o acúmulo de azoto, sugere que estes nutrientes estavam disponíveis em quantidades adequadas e não atuaram como fatores limitantes para o seu crescimento nas condições do estudo tal como se pode observar no **Quadro 1**.

Na cultura da aveia, igualmente não se verificaram diferenças significativas nas concentrações de fósforo e potássio entre tratamentos (**Figura 8 e 9**). Essa uniformidade, sugere que as aplicações de cinzas não resultaram em aumentos significativos na disponibilidade de fósforo e potássio para as plantas. Este comportamento como referido no trevo, pode ser atribuída as quantidades adequadas destes nutrientes no solo estudado.

4.4. Concentração de outros macro e micronutrientes pela cultura do trevo

A concentração de nutrientes como cálcio, magnésio, ferro, zinco e cobre não diferiram significativamente entre tratamentos na cultura do trevo (**Quadro 4**). Este resultado pode estar relacionado ao tempo de exposição dos tratamentos, já que estas plantas foram colhidas muito antes de terminar o seu ciclo vegetativo. O tempo de exposição dos tratamentos é uma variável crucial para evidenciar o potencial produtivo das culturas, tal como referido por Sousa (2017), ao estudar a resposta do milho a diferentes formas de gestão da fertilidade do solo.

A dinâmica dos nutrientes no sistema solo-planta é um processo complexo e, frequentemente, lento, o que pode exigir um período mais longo para que os efeitos de alterações no manejo se tornem evidentes.

A concentração de boro nos tecidos vegetais variou entre os tratamentos. O tratamento Ci originou valores médios mais altos em relação o tratamento Test, sem se diferenciar estatisticamente do tratamento NA, sugerindo que a aplicação de cinza aumentou a disponibilidade deste nutriente para a planta. De acordo com Veloso (2022), o boro é um micronutriente que não é retido facilmente no solo. Possui uma mobilidade elevada e sua carência ou lixiviação pode ocorrer em solos com mais cal. No entanto, o efeito da cinza mostrou ser eficiente na assimilação do boro pelas plantas.

4.5. Concentração de outros macro e micronutrientes na cultura da aveia

Segundo Carmargo *et al.*, (1982), a disponibilidade de cálcio, magnésio, cobre, ferro, e zinco podem aumentar com o aumento de pH, ainda mais quando se adiciona algum tipo de corretivo. As concentrações de cálcio, magnésio, ferro, zinco e cobre não diferiram significativamente entre os tratamentos, indicando que a aplicação de cinza não influenciou de forma relevante a disponibilidade desses nutrientes no solo (**Quadro 4**). Esse resultado pode estar relacionado com quantidade de cinza aplicada, já que doses maiores normalmente resultam em uma maior disponibilidade de nutrientes no solo e concomitantemente maior desempenho produtivo, tal como referido por Carvalho e Castro (2014).

Na cultura da aveia, foram observadas diferenças significativas na concentração do boro nos tecidos. O tratamento Ci, registou valores médios mais elevados diferindo-se dos demais tratamentos (**Quadro 4**). Isso indica que, sob as condições experimentais avaliadas, o tratamento Ci, resultou em maior eficiência ou resposta na disponibilidade de boro. Estes resultados estão de acordo com os reportados por (Cacuro, 2015; Moeda e Cardoso, 2008).

De modo geral, as concentrações micronutrientes, não diferiram significativamente nos tecidos vegetais da cultura do trevo e da aveia. Com exceção ao boro, já que este apresenta grande mobilidade no solo. Este resultado pode ser fundamentado pela premissa de que os micronutrientes raramente requerem aplicação externa nos solos e geralmente estão em concentrações adequadas na maioria dos ecossistemas edáficos diferente dos macronutrientes, que são exigidos em grandes quantidades pelas culturas e frequentemente esgotados pela produção intensiva (INIAG, 2022).

4.6. Exportação de nutrientes pelo trevo

A exportação de nutrientes é definida como a remoção de elementos essenciais do sistema solo-planta por meio da colheita das partes economicamente exploradas nas plantas. A quantidade de nutrientes exportada está diretamente relacionada à concentração desses elementos nos tecidos vegetais e à produção de massa seca, sendo, portanto, influenciada tanto pelas características fisiológicas da planta quanto pela sua produtividade (Fernandes, 2011).

Diversos fatores podem interferir na quantidade de nutriente exportado pelas plantas, porém a nutrição mineral é um dos que mais contribuem para obtenção de elevada produtividade que resulta em maior exportação de nutrientes (Coraspe-León *et al.*, 2009). Segundo Bertsch (2003) e Carvalho e Castro (2014), a extração de nutrientes depende de fatores externos, que estão relacionados com o ambiente de cultivo, mas também de fatores internos, como o potencial genético e a idade da planta.

Foram registadas diferenças significativas na exportação de azoto pelo trevo (**Quadros 5 e 6**). O tratamento Ci, originou valores médios mais altos de azoto exportado em relação aos tratamentos, sem se diferenciar significativamente do tratamento Com. Este resultado evidencia a eficácia da cinza em aumentar a disponibilidade de azoto e promover o crescimento vegetal e, conseqüentemente, uma maior remoção de nutrientes da lavoura, conforme referido por (Garg, *et al.*, 2005). Valores mais altos na exportação de macronutrientes principais foram conseguidos no tratamento Ci. Estes resultados são consistentes aos reportados por Massri e Labban (2014), Ferreira *et al.* (2020) e Consentino *et al.*, (2022).

O tratamento NA resultou em valores médios mais baixos de azoto exportado. Este resultado pode ser atribuído a sua reduzida capacidade de fixação biológica de azoto que levou a baixa produção de biomassa, já as concentrações de azoto nos tecidos vegetais não diferiram significativamente.

Não foram verificadas diferenças significativas na exportação de cálcio, magnésio, boro, ferro, zinco e cobre (**Quadros 5 e 6**). O tratamento Ci pareceu registar valores médios mais elevados na exportação destes nutrientes, sugerindo que a aplicação de cinza tende a aumentar a concentração e a exportação destes nutrientes pelas culturas.

De modo geral, a cultura do trevo apresentou maior exportação de macro e micronutrientes em comparação à cultura da aveia. Esse resultado pode estar associado ao maior acúmulo de biomassa resultante da eficiência na absorção e utilização do azoto atmosférico.

4.7. Exportação de nutrientes pela aveia

Foram evidenciadas diferenças significativas na exportação de azoto e potássio entre tratamentos (**Quadro 5**). O tratamento Ci apresentou médias de exportação ligeiramente superiores destes nutrientes em comparação tratamentos Test e Com; médias mais elevadas de fósforo e potássio foram registadas no tratamento NA. Esse resultado sugere que a aplicação de nitrato de amónio proporcionou uma rápida disponibilidade de azoto mineral, e favoreceu sua absorção imediata pelas plantas. Contudo, essa absorção acelerada pode ter ocasionado um efeito de diluição, que resultou no aumento da produção de biomassa e concomitantemente uma maior exportação destes macronutrientes.

Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na exportação de cálcio, magnésio, boro, ferro, zinco manganês e cobre entre os tratamentos (**Quadros 5 e 6**). Contudo, o tratamento NA apresentou tendencialmente valores médios mais elevados de exportação desses nutrientes, o que sugere que a aplicação de nitrato de amónio pode ter influenciado positivamente a absorção e o subsequente transporte desses elementos para a parte aérea das plantas. Essa resposta pode estar associada ao estímulo ao crescimento vegetativo e ao aumento da atividade metabólica promovidos pela disponibilidade imediata de azoto.

4.8. Propriedades do solo

As análises do solo permitem conhecer a sua fertilidade e avaliar a sua capacidade em disponibilizar elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas. As análises finais permitem avaliar o efeito dos tratamentos nas propriedades do solo.

A adição de substratos orgânicos ao solo constitui uma prática agronómica fundamental para a sustentabilidade dos sistemas produtivos, uma vez que contribui para a manutenção de teores adequados de matéria orgânica, essencial para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Menese, 2023).

Os resultados da análise final do solo mostram que não houve diferenças significativas no teor de matéria orgânica entre tratamento na cultura do trevo e da aveia. Isto dá a entender que a aplicação de cinza ou de composto não exerceram influência significativa sobre a dinâmica da matéria orgânica no solo, possivelmente pelo facto de o solo inicial ter apresentado um teor de matéria orgânica consideravelmente estável antes da aplicação dos tratamentos. Resultados semelhantes foram reportados por Lopes (2014), Carvalho (2020), Menese (2023) e Sawimbo (2024).

Os resultados de pH na cultura do trevo apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos (**Quadro 7**). Os tratamentos que receberam aplicação de cinzas destacaram-se por exibirem valores mais elevados de pH, sendo 6,9 no tratamento Ci e 7,1 no tratamento Ci+NA, ambos significativamente superiores aos observados nos tratamentos Test, Com e NA, que registaram valores mais baixos. Esse efeito corretivo das cinzas é atribuído à presença de óxidos, carbonatos e outros compostos de natureza alcalina, que atuam na neutralização da acidez do solo. Resultados semelhantes foram reportados por Prado, Corrêa e Natale (2002), citado por Cacuro (2015), Silva (2015) ao avaliarem a aplicação de cinzas na melhoria das propriedades químicas do solo.

O tratamento NA originou valores mais baixos de pH nas duas culturas quando comparados com os demais tratamentos. Esta diminuição está de acordo com o mecanismo descrito por Alves (2021), segundo o qual o processo de nitrificação, no qual o amónio (NH_4^+) é oxidado a nitrato (NO_3) por bactérias nitrificantes, liberta iões de hidrogénio (H^+) no solo, que contribui diretamente para a sua acidificação. Este efeito é característico da aplicação de fontes de azoto de natureza amoniacal, como o nitrato de amónio, sobretudo em solos com fraco poder tampão.

Estudo realizado por Albuquerque (2020), mostrou que em solos ácidos o alumínio está presente em sua forma tóxica para as plantas, geralmente como íon catião (Al^{3+}), que é solúvel e facilmente absorvido pelas raízes. À medida que o pH do solo aumenta devido à adição de cinzas, o Al^{3+} reage com os íons hidroxilo (OH^-), que são libertados pelas cinzas, e precipita, formando hidróxido de alumínio [$\text{Al}(\text{OH})_3$], que é uma forma insolúvel e não tóxica para as plantas.

Tal como observado na cultura do trevo, o pH do solo na cultura da aveia apresentou variações estatisticamente significativas entre tratamentos, evidenciando que as diferentes práticas de manejo influenciaram de forma distinta a reação do solo (**Quadro 7**).

Os valores mais elevados foram observados nos tratamentos que incluíram a aplicação de cinzas, com pH 7,0 no tratamento Ci e pH 7,3 no tratamento Ci+NA. O trevo resultou em pH mais baixos em comparação com a gramínea. O processo de fixação biológica bem como a liberação de exsudados ácidos, libertam íons hidrogénio (H^+) no solo, que contribui diretamente para a sua acidificação. Por outro lado, as raízes da aveia são mais fibrosas, tendendo a absorver de forma mais equilibrada catiões (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) liberados pelas cinzas (Pinton *et al.*, 2001).

Na cultura do trevo, os teores de fósforo e potássio extraíveis apresentaram diferenças significativas entre tratamentos (**Quadro 7**). Os tratamentos que receberam cinzas, originaram valores médios mais elevados em relação aos tratamentos Test e Com NA. Estes resultados são consistentes aos reportados por Brunely (2006) e Gluitz (2013), ao estudarem o efeito das cinzas de biomassa sobre atributos do solo. Esse efeito pode estar associado à composição mineral das cinzas, que frequentemente apresentam elevada concentração desses macronutrientes, o que leva a uma melhoria da fertilidade do solo e, conseqüentemente, para o desenvolvimento das plantas. De acordo Arruda (2024), partículas esféricas ocas conhecidas como cenosferas, presentes nas cinzas, são constituídas maioritariamente por óxido de cálcio (CaO), óxido de potássio (K_2O), óxido de magnésio (MgO), fósforo (P_2O_5), entre outros, os quais podem representar aproximadamente 32% da composição total das cinzas. Esses óxidos, ao serem incorporados ao solo por meio da aplicação das cinzas, participam diretamente da composição da fase sólida do solo, contribuindo para o aumento da disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas.

Na cultura do trevo, observaram-se diferenças significativas nos teores de boro no solo em função dos tratamentos aplicados. A aplicação de cinzas resultou em valores médios mais elevados de boro significativamente superiores em comparação ao tratamento com nitrato de amónio.

Esse incremento pode estar relacionado à presença de boro nas cinzas, cuja liberação pode ocorrer de forma gradual ao longo do ciclo (Albuquerque, 2020).

As cinzas, aumentam a capacidade de troca catiónica e a retenção de nutrientes em formas mais assimiláveis pelas plantas. Além disso, a presença de compostos minerais e óxidos nas cinzas pode contribuir para o equilíbrio da relação cálcio/boro, o que evita antagonismos excessivos e promove condições mais favoráveis à absorção do boro pelas plantas. Dessa forma, a utilização de cinzas se apresenta como uma alternativa viável para mitigar as deficiências de boro, especialmente em solos com maior suscetibilidade à lixiviação, secos ou com baixa capacidade de retenção de micronutrientes (Guariz *et al.*, 2009).

Na cultura da aveia também foram evidenciadas diferenças significativas nos teores de fósforo e potássio (**Quadro 7**). Os tratamentos que receberam aplicação de cinzas originaram valores mais altos.

O tratamento NA apresentou médias mais baixas de fósforo e potássio no solo em comparação ao tratamento Test, embora essas diferenças não tenham sido estatisticamente significativas. Essa tendência pode indicar uma menor disponibilidade ou mobilização desses nutrientes no solo sob o efeito do nitrato de amônio, possivelmente devido à acidificação do meio, que pode afetar a solubilidade e a dinâmica desses elementos, conforme descrito por Weil e Brady (2017).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que as cinzas melhoram a fertilidade do solo e impulsionam o potencial produtivo das culturas.

Assim, a cultura do trevo beneficiou com a aplicação de cinza, aumentando a produção de matéria seca, da qual resultou numa maior exportação de macronutrientes, sendo o azoto o macronutriente mais exportado.

A aplicação de cinzas na aveia também proporcionou maior produção de matéria seca em comparação com os tratamentos Com e Test, perdendo apenas com os tratamentos que receberam nitrato de amónio, que por sua vez resultaram em maior exportação de macronutrientes. No tratamento Ci, o potássio foi o macronutriente mais exportado.

Por fim, a aplicação de cinza promoveu alterações significativas no pH do solo, elevando-o para 6,9 no trevo e para 7,0 na aveia. Esses resultados evidenciam o potencial das cinzas como agente corretivo da acidez do solo; contribuindo para a neutralização do pH e melhoria da fertilidade. A combinação de cinza com nitrato de amônio revelou-se a mais eficiente na correção da acidez do solo, promovendo a maior elevação do pH entre os tratamentos avaliados, tanto nas culturas de trevo quanto de aveia.

BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, C., & Rodrigues, F. M. (2010). Trevo-balansa (*Trifolium michelianum* Savi). Ficha Técnica Nº 1. Fichas Técnicas, Sociedade Portuguesa de Pastagens e Forragens.
- Aguilar, M., León, G. P., & Mejía, F. D. (2021). Botânica aplicada: Fabaceae. *Revista Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Iztacala.*
- Albuquerque, A. R. (2020). Resíduo mineral a partir de biomassas amazônicas como uma fonte alternativa de nutrientes para a agricultura (doctoral dissertation, instituto de geociências). Obtido de https://www.ppgg.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/teses/Tese_reduzida_Alau_Albuquerque-2021.pdf.
- Albuquerque, U. P. (2016). Introdução à Etnobotânica, *Recife*. Editora Bagaço: Brasil.
- Alves, R. E. (2021). A relação entre agricultura, degradação do solo e tempestades de areia. In *Revista Ayika*, 40-53. Obtido de <https://revistas.uneb.br/index.php/ayika/index>.
- Andrade, E. A., de Souza Pinto, J., Hubner, V., & Júnior, L. A. (2024). Cinzas de biomassa florestal como corretivo de acidez do solo e fertilizante para a cultura da soja. *Revista thème et scientia*, 14(2e), 8-25. Obtido de <https://themaetscientia.fag.edu.br/index.php/RTES/article/view/2121/1847>.
- Antunes, A. (2023). Instalação de trevo branco e violeta. *Revista ruminantes*, Brasília. Obtido de https://revista-ruminantes.com/wp-content/uploads/2023/10/Trevos-branco-e-violeta_R51.pdf.
- Arora, N. K. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental sustainability*, 2(2), 90-95. Obtido de <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w>.
- Arraes, V., & Gehre, T. (2013). Introdução ao estudo das relações internacionais. Edição Nº 1. São Paulo: Saraiva.
- Arrobas, M., Carvalho, J. T., Raimundo, S., Poggere, G., & Rodrigues, M. Â. (2021). The safe use of compost derived from municipal solid waste depends on its composition and conditions of application. *Soil Use And management*, 38, 917-928. [doi:doi.org/10.1111/sum.12737](https://doi.org/10.1111/sum.12737).

- Arrobas, M., Meneses, R., Gusmão, A. G., da Silva, J. M., Correia, C. M., & Rodrigues, M. Â. (2024). Nitrogen-rich sewage sludge mineralized quickly, improving lettuce nutrition and yield, with reduced risk of heavy metal contamination of soil and plant tissues. *Agronomy*, *14*, 924. doi: [10.3390/agronomy14050924](https://doi.org/10.3390/agronomy14050924).
- Arrobas, M., Praça, P., & Rodrigues, M. A. (2021). O uso de compostos de resíduos urbanos deve ter em conta a sua composição, a dose e as condições de aplicação. *Revista Agrotec*, *39*. Obtido de <http://hdl.handle.net/10198/26964>.
- Arruda, J. A., de Azevedo, T. A., de Oliveira Freire, J. L., Bandeira, L. B., de Medeiros Estrela, J. W., & de Azevedo Santos, S. J. (2016). Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. *Revista principia*, *(30)*, pp. 18-30. Obtido de <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/455>.
- Arruda, N. E. (2024). Produtividade e teores de nutrientes na cultura do milho em função da aplicação de doses de calcário e cinza de biomassa de eucalipto. *Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônoma)*. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. doi: <https://hdl.handle.net/11449/252771>.
- Azani, N. B. (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny: The Legume Phylogeny Working Group (LPWG). *Taxon* *66(1)*, pp. 44-77. Obtido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.12705/661.3>.
- Azevedo, J. L. (2015). A economia circular aplicada no Brasil: Uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. Rio de Janeiro: Congresso Nacional de Excelência em Gestão.
- Backes, C. L. (2008). Coloração verde nas folhas da cultura do alho vernalizado em resposta à adubação nitrogenada. *Bragantia*, *67*, 491-498. doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000200025>
- Balbino, L. (1968). O método de Egnér-Riehm na determinação do fósforo e do potássio "assimiláveis" em solos de Portugal. *Revista Agronômica*, *51*, 46-56.
- Basu, M., Pande, M., Bhadoria, P. B., & Mahapatra, S. C. (2009). Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review. *Progress in natural science*, *19*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.12.006>
- Bertsch, F. S. (2003). Absorción de nutrimentos por los cultivos. *ACCS*, *307*.

- Boaretto, A. E. (2016). Importância da Nutrição Adequada para Produtividade e Qualidade dos Alimentos. Nutrição e Adubação de Hortaliças. Editora Prado, RM & Cecílio Filho A. B.,
- Brunelli, A. M., & Pisani, J. R. (2006). Proposta de disposição de resíduo gerado a partir da queima do bagaço de cana em caldeiras como fonte de nutriente e corretivo do solo. *in: congresso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental, 30*. Punta del Leste: Anais... Montevideo: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Cacuro, T. A., & Waldman, W. R. (2015). Cinzas da queima de biomassa: aplicações e potencialidades. *Revista virtual de química, 7(6)*, 2154-2165. [doi:http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150127](http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150127).
- Castro, G. S. (2012). Ecofisiologia da aveia branca. *Scientia agraria paranaensis, 11(3)*, 1-15. [doi:https://doi.org/10.18188/sap.v11i3.4808](https://doi.org/10.18188/sap.v11i3.4808).
- Cayahualpa, V. A., Coila, V. H., Medina, I., Fernández, L. A., & Valdivia, D. G. (2024). Caracterización de Meloidogyne spp. y densidad poblacional de nematodos fitoparásitos asociados a cultivos de aliáceas en la región Arequipa, Perú. *Scientia agropecuaria, 15(2)*, 289-299. Obtido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172024000200289&script=sci_arttext&tlng=en.
- Chen, J. (2006). The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use. 2-5.
- Coraspe-león, H., Muraoka, T., Franzini, V., & Piedade, S. &. (2009). Absorción de macronutrientes por plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) em la producción de tubérculo-semilla. *Interciencia, 34*:57-63.
- Cordeiro, G. C., Toledo Filho, R. D., Tavares, L. M., & Fairbairn, E. R. (2008). Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. *Cement & concrete composites, 30*. [doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.01.001](http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.01.001)
- Corrêa, G. M. (2024). *Uso de Bioestimulantes no Cultivo de Alface Lactuca sativa*, cv. Maravilha de Verão; Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de ragança para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia.
- Cunha, T. J., Mendes, A. M., & Giongo, V. (2016). Matéria orgânica do solo. *Sidalc, 5-13*. Obtido de <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1034986>.

- Danielowski, R., Caraffa, M., & Lângaro, N. C. (2021). Informações técnicas para a cultura da aveia 40a reunião da comissão brasileira de pesquisa de aveia. *Setrem*, 2-4. Obtido de https://setrem.edu.br/wp-content/uploads/2021/11/INFORMACOES_TECNICAS_PARA_A_CULTURA_DA_AVEIA_SETREM_XL_RCBPA_2021-10-11-2021_compressed.pdf.
- Demétrio, J. V. (2012). Produção de biomassa de cultivares de aveia sob diferentes manejos de corte. *Pesquisa agropecuária tropical*, 42(2), 198–205. doi: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200011>.
- Dias, J. C. (2005). *Raízes da Fertilizadade*. São Paulo: Ebook.
- Domingos, A. (2006). *Manual de Horticultura Volume I*. Portugal: Editorial Presença.
- Duthil, J. (1989). *Produccion de Forrajes*. Madrid: Mundi-Prensa.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. UMA ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL. (2017). Uma abordagem exploratória inicial. Brasil. Obtido em 24 de Janeiro de 2025, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/>.
- FAO. (2018). FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Summary version. Rome, Italy.
- FAO. (2022). Standard operating procedure for Cation Exchange Capacity and exchangeable bases 1n ammonium acetate, pH 7,0 method. Rome.
- FAO. (2024). Standard operating procedure for boron determination in soil: Hot water extration. Rome.
- Fernandes, A. M. (2011). Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I- Macronutrientes. *Revista brasileira de ciência do solo*, 35, 2039-2056.
- Fernandes, C. M., Palhares, D. D., Vieira, L. G., & Malagon, R. A. (2022). Avaliação do consumo, produção, mercado mundial e impactos ambientais na indústria de fertilizantes nitrogenados. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química: Faculdade de Engenharia Química.
- Fernandes, M. C., Palhares, D. D., Vieira, L. G., & Malagoni, R. A. (2022). Avaliação do consumo, produção, mercado mundial e impactos ambientais na indústria de fertilizantes nitrogenados. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

Obtido em 18 de 02 de 2025, de Disponível em <https://www.enemp2022.com.br/trabalhosfinais/PET19.pdf>.

- Ferreira, A. C. (2022). Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por leguminosas anuais cultivadas em um solo ácido: para obtenção do Grau de mestre em agroecologia no âmbito da dupla diplomação com a universidade Tecnológica federal do paraná 2022. Bragança.
- Ferreira, A. G., Borba, S. N., & Wizniewsky, J. G. (2013). A prática da compostagem para a adubação orgânica pelos agricultores familiares de santa rosa/rs. *Revista Eletrônica Do Curso De Direito Da UFSM*, 8, 307–317. doi:<https://doi.org/10.5902/198136948275>.
- Figueiredo, P. G., & Tanamati, F. Y. (2010). Adubação orgânica e contaminação ambiental. *Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável*, 1-3. Obtido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7454898>.
- Filho, L. F., Silva, T. B., & Vilar, F. C. (2023). Identificação de fabaceae (leguminosae) forrageiras do ifsertãope campus petrolina zona rural. In *Ciência das plantas: desafios e potencialidades em pesquisa (Vol. 1, pp. 66-84)*. Obtido de <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/230513127.pdf>.
- Finatto, J., Altmayer, T., Martini, M. C., Rodrigues, M., Basso, V., & Hoehne, L. (2013). A importância da utilização da adubação orgânica na agricultura. *Revista Destaques Acadêmicos v. 5, n. 4*. doi:<https://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/327>.
- Garg, R. N., Pathak, H., Das, D. K., & Tomar, R. K. (2005). Use of Flyash And Biogas Slurry For Improving Wheat Yield And Physical Properties Of Soil. *ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT* 2005, 107, 9. Obtido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-005-2021-x>.
- Gluitz, A. C. (2013). Utilização da cinza da madeira de eucalipto na substituição parcial do cimento Portland em argamassa (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- Gonçalves, T. M., & Barroso, A. F. (2019). A economia circular como alternativa à economia linear. In: *Simpósio de engenharia de produção de sergipe, 11*. São Cristóvão: Anais do XI simprod (2019). Obtido de <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/12561>.
- Grand, A., & Miche, V. (2020). Composto: Vantagens e desvantagens. *Best4 Soil*, 1-2. Obtido de <https://www.best4soil.eu/assets/factsheets/pt/7.pdf>.

- Gregson, N., Crang, M., Fuller, S., & Holmes, H. (2015). Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU. *Economy and Society*, 218–243. Obtido de <https://doi.org/10.1080/03085147.2015.1013353>.
- Guariz, H. R., Picoli, M. H., Campanharo, W. A., & Rodrigues, B. P. (2009). Uso de cinzas de fornos de cerâmica como fonte de nutrientes para aproveitamento na agricultura. *Congresso brasileiro de resíduos orgânicos, I*. Vitória: Incaper.: 1 CD-ROM.
- Hanisch, Ana Lúcia., da Fonseca Alfredo José; (2018). Cinza de biomassa é um produto eficiente para uso em sistema de produção de cereais em base agroecológica? *de Ciências Agroveterinárias 17(4)*, Universidade do Estado de Santa Catarina. doi: [10.5965/223811711732018454](https://doi.org/10.5965/223811711732018454).
- Hawerth, M. C. (2015). Redução do acamamento em aveia-branca com uso do regulador de crescimento etil-trinexapac. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(02), 115-125. doi:<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000200003>.
- Herencia, J. R.-P.-G. (2007). Comparison between organic and mineral fertilization for soil rtility levels, crop macronutrient concentrations, and yield. *American Society of Agronomy* 99:973-983.
- IFA. (2021). Public Summary Short-Term Fertilizer FA. *Fertilizer Outlook*. Obtido de Disponível em: <https://api.ifastat.org>.
- IPMA. (2025). Boletim Climatológico Mensal: Portugal continental.
- Kerbaui, G. B. (2004). *Fisiologia vegetal*. Guanabara Koogan.
- Kirchherr, J., Piscicelli, L. B., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. B. (2018). To the circular economy: Evidence from the European Union (EU). *Ecological economics*, 264-272. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>.
- Ladeira, L. C. (2014). *Valor agronômico de fertilizantes enriquecidos com microrganismos fixadores de azoto*. Dissertação de mestrado em Agricultura Tropical. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Ladeira, L. C. (2017). *Valor agronômico de fertilizantes enriquecidos com microrganismos fixadores de azoto*. Dissertação de mestrado em Agricultura Tropical. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança.
- Langer, R. H. (1972). *Las pasturas y sus plantas*. Montevideo - Uruguai: Hemisfério Sul.

- Lucena, N. C., Bendahan, A. B., Menezes Braga, R., Sergio, P., & De Mattos, R. (2009). *Fisiologia e Manejo de Gramíneas Forrageiras Tropicais*. Brasil. Obtido de <https://www.researchgate.net/publication/260302989>.
- MACARTHUR FOUNDATION ELLEN. (2012). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Isle of Wigh: EMF.
- Machado, D. L. (2013). Seletividade de herbicidas em trevo-branco no estágio fenológico de expansão do primeiro trifólio. *Ciência rural*, 43, 2132-2138. doi:<https://doi.org/10.1590/S0103-84782013001200002>.
- Maeda, S., Silva, H. D., & Cardoso, C. (2008). Resposta de Pinus taeda à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. *Pesquisa Florestal Brasileira N. 56*, 43-52.
- Martins, J. L. (2001). Aproveitamento de cinza de carvão mineral na agricultura. Obtido de <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/1803>.
- Matos, P. F., & Pessôa, V. L. (2011). *A modernização da agricultura no Brasil e os novos usos do território*. Brasil: Geo UERJ -Ano 13, nº. 22, v. 2.
- Mazoyer, M., & Rouldart, L. (2001). *História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea*. Portugal: Piaget.
- Mendes, A. M. (2007). Introdução a fertilidade do solo.
- Menese, R. M. (2023). *Valorização agrícola de lamas de ETAR*. Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Menezes, H. Z. (2019). *Os Objetivos De Desenvolvimento Sustentável E As Relações Internacionais*. Paraíba: Editora UFPB.
- Miranda, C. H. (2003). Determinação da fixação biológica de nitrogênio no amendoim forrageiro (*Arachis spp.*) por intermédio da abundância natural Azoto. *Revista brasileira de zootecnia*, 32, 1859-1865.
- Mohammadi, K. S. (2012). Bacterial biofertilizers for sustainable crop roduction: a review. *ARNPJ Agricultural and Biological Sciences*. 7, 307-311.

- Montes, E., Alejos, d. I., Pro-Martínez, A., González, C. F., Quiroz, J. F., & Cardona, M. G. (2020). Composición química y digestibilidad de cuatro leguminosas tropicales mexicanas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(SPE24), 211-220. Obtido de <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2371>.
- Moraes, M. O. (2020). *que é Fertilidade do Solo? Aumente sua Produtividade*. Agropos. Obtido em 16 de 01 de 2025, de < <https://agropos.com.br/2020/01/o-que-e-fertilidade-do-solo/>>.
- Mundial, B. (2020). *Agriculture and rural development: A strategy for Growth*. Washington, DC: World bank group.
- Nascimento, A. (2008). *Sobrepeso e obesidade: dieta, uso de recursos e adaptabilidade em populações humanas rural e urbana de Piracicaba*. S.P. 81p: Tese de Doutorado-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz- ESALQ/USP.
- Norvell, W. A., & Lindsay, W. L. (1969). Reactions of EDTA complexes of Fe, Zn, Mn and Cu with soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33, 86–91.
- Nunes, P. (2018). *Economia Linear*. Obtido de: <https://goo.gl/bd53tL>.
- Olalde, A. R. (5 de 2 de 2007). *Agricultura familiar e desenvolvimento sustentável*. Obtido de <http://www.ceplac.gov.br/radar/artigos/artigos3>.
- Oliveira, J. P., & Santos, L. M. (2020). *Desenvolvimento rural e agricultura familiar em Angola: Desafio e perspectivas*. Luanda: Nacional.
- Osteras, A. H., Sunnerdahl, I., & Greger, M. (2005). The impact of wood ash and green liquor dregs application on Ca, Cu, Zn and Cd contents in bark and wood of Norway Spruce. *Water, air, and soil pollution*, 6-7. Obtido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-005-7747-0>.
- Pagano, A., Macovei, A., Xia, X., Padula, G., Holubowicz, R., & Balestrazzi, A. (2023). Seed Priming Applied to Onion-Like Crops: State of the Art and Open Questions. *Agronomy*, 13(2), 278-288. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy13020288>.
- Park, N. D., Rutherford, P. M., Thring, R. W., & Helle, S. S. (2012). Wood pellet fly ash and bottom ash as an effective liming agent and nutrient source for rye grass (*Lolium perenne* L.) and oats (*Avena sativa*). *Chemosphere*, v. 86.

- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 4 (2), 439–473. doi:doi:10.5194/hessd-4-439-2007.
- Petter, F. A. (2012). Respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de cerrado. *Revista Caatinga*, 2012, 25.1, 67-72.
- Pinton, R., varanini, Z., & nanipleri, P. (2001). *The rizhosfere: biochemistry and organic substance at the Shoil-Plant Interface*. CRC Press.
- Pretty, J. (2011). Sustentabilidade agrícola: conceitos, princípios e evidências. *Biological Sciences*, 447-465.
- Quinto, B. L., Marchi, J., & Paim, S. A. (2021). Agricultura familiar, economia circular e empreendedorismo rural: Um estudo bibliométrico entre os anos de 2018 a 2021. *Estudos & Debates*. doi:https://doi.org/10.22410/issn.1983-036X.v29i3a2022.3121.
- Resende, G., & Souza, R. (2001). Doses e épocas de aplicação de nitrogênio sobre a produtividade e características comerciais de alho. *Horticultura brasileira, Brasília*, v.19, n.2, 126-129.
- Resico, M. F. (2012). *Introdução à Economia Social de Mercado*. Rio de Janeiro: Konrad-Adenauer Stiftung.
- Rodrigues, M. A. (2011). Gestão da fertilização azotada em agroecossistemas. Workshop Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. Bragança.
- Rodrigues, V. J. (2009). Desenvolvimento sustentável: uma introdução crítica. *Principia*. Brasil.
- Saldarriaga, F. V., Melo, C. C., & Santos, M. E. (2016). *Ecofisiologia de plantas forrageiras 10*, 636-720. Pubvet.
- Sawimbo, A. A. (2024). *Valor agronômico de lamas de ETAR avaliado pela produção de alface e pela concentração de metais pesados no solo e na planta*. Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança. doi:http://hdl.handle.net/10198/30797
- Silva, E. C., Machado, A. S., Souza, R. J., & Calderón, J. F. (2000). Efeito de doses de potássio (cloreto de potássio) e nitrogênio (sulfato de amônio) em alho proveniente de cultura de tecidos. *Ciência agrotecnologia, lavras*, V.24, N.4, 917-923

- Silva, E. M., Ferreira, R. L., Araújo Neto, S. E., Tavella, L. B., & Solino, A. J. (2011). Qualidade de alface crespa cultivada em sistema orgânico, convencional e hidropônico. *Horticultura brasileira*, 29, 242-245. doi:<https://www.scielo.br/j/hb/a/qY5ksHmrYcX65hc8bM7ndkG/>
- Silva, M. V. (1982). *Adubos e adubações*. Lisboa: Clássica Editora.
- Silveira, A. I. (1987). *Contribuição para o estudo da influencia da relação carbono-azoto no processo de compostagem de residuos solidos*. Dissertação Apresentada à Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Sociedade Brasileira De Ciência Do Solo. (2019). *Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná*. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2 ed. 289p-
- Sousa, X. D. (2017). Resposta do Milho a Diferentes Formas de Gestão da Fertilidade do Solo. Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agricultura Tropical. Bragança.
- Souza, R., & Casali, V. (1986). Pseudoperfilamento: uma anormalidade genético-fisiológica em alho. *Informe agropecuário, belo horizonte*, v.12, n.142, 36-41.
- Sylvestre, T. B. (2019). Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching. *Scientia Horticulturae*, 255, 153-160. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.032>.
- Tadeu, C. A. (2013). *A revolução verde na mesorregião Noroeste do RS (1930-1970)*. Passo Fundo.
- Teixeira, S. R., de Souza, A. E., Santos, G. T., Peña, A. F., & Miguel, A. G. (2008). Sugarcane bagasse ash as a potential quartz replacement in red cerami. *Journal Of The American Ceramic Society*, 91. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1551-2916.2007.02212.x>.
- Van Reeuwijk, L. (2002). Procedures for soil analysis. (6th ed). ISRIC. FAO.
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L., & Vassileva, C. (2013.). An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase-mineral and chemical composition. *Cience Direct*, 40–76. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.09.041>.
- Vidal, A., & Hora, A. (2011). *Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia*. Brasília, DF: In: BNDS Setoriale, Papel e Celulose.
- Vieira, R. F. (2017). *Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas*.

- Vinciguera, A. P. (2014). *Agricultura Familiar: Uma Análise do Pequeno Produtor Rural no Município de Assis S/P*. Assis-SP: Brasília.
- Vuković, S., Djordjević, J. B., Kostić, A. Ž., Pantelić, N. D., Srećković, N., Akram, M., & . . . Stanković, J. S. (2023). Allium Species in the Balkan Region Major Metabolites, Antioxidant and Antimicrobial Properties. *Horticulturae*, 9(3). *Horticultura*, 9(3), 408. doi: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030408>.
- Weil., R., & Brady., N. (2017). *The nature and properties of soils* (Vol. 15th edition). Londom: Pearson UK.
- Ziech, A. R., Conceição, P. C., Luchese, A. V., Paulus, D., & Ziech, M. F. (2014). Cultivo de alface em diferentes manejos de cobertura do solo e fontes de adubação. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 2-18. Obtido de <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/4YKySQPF8n6qK4C8QYrn8QC/?lang=pt>.