

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

WILLIAN DOS REIS

**APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA E ENXOFRE ELEMENTAR ASSOCIADO A
PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO, NA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES
PARA A CULTURA DO MILHO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2021

WILLIAN DOS REIS

**APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA E ENXOFRE ELEMENTAR ASSOCIADO A
PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO, NA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES
PARA A CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

Orientadora: Dra. Maria do Carmo Lana

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

dos Reis, Willian

Aplicação de pó de rocha e enxofre elementar associado a plantas de cobertura do solo, na disponibilidade de nutrientes para a cultura do milho / Willian dos Reis; orientador(a), Maria do Carmo Lana, 2021.

65 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021.

1. Adubos verdes. 2. Resistência a penetração. 3. Pó de rocha. 4. Sustentabilidade. I. Lana, Maria do Carmo . II. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46
 Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>
 Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000
 Marechal Cândido Rondon - PR.



WILLIAN DOS REIS

Aplicação de pó de rocha e enxofre elementar associado a plantas de cobertura do solo,
 na disponibilidade de nutrientes para a cultura do milho

Dissertação apresentada à distância, de forma síncrona e por videoconferência,
 conforme Resolução nº 052/2020 - CEPE, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia
 em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia,
 área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas,
 APROVADO pela seguinte banca examinadora:


 Orientadora - Maria do Carmo Lana

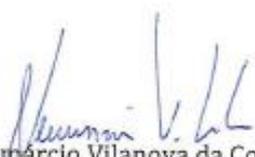
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Jucenei Fernando Frandoloso

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Alfredo Richart

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)


 Neumarco Vilanova da Costa
 Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Marechal Cândido Rondon, 26 de fevereiro de 2021

Aos meus pais, José Francisco dos Reis e Sandra Borchartt dos Reis que sempre me apoiaram de todas as formas possíveis, fonte de minha força nessa carreira, e ao meu tio Francisco Martins dos Reis que sempre me incentivou.

A minha namorada, companheira, excelente profissional e fonte de minha inspiração Monica Carolina Sustakowski.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado mesmo em meio a tantas dificuldades estar concluindo mais uma etapa na carreira profissional. O estudo nunca foi fácil, nos tira da zona de conforto, afeta muitas vezes o espírito emocional, porém com Deus presente em nossos corações temos força, saúde e ânimo para não desistir e continuar lutando por meus objetivos.

Aos meus pais e José Francisco dos Reis e Sandra Borchartt dos Reis pelo amor e incentivo sem precedentes, pela valorização do que conquistei até hoje que é o conhecimento e respeito, e que apesar de todas as dificuldades sempre me fortaleceram.

Ao meu tio Francisco Martins dos Reis por ser uma das únicas pessoas próximas a me valorizar e incentivar meu profissionalismo pelos estudos. Ao meu tio Claudecir P. dos Reis, que se hoje estou neste nível de profissionalismo e estudo foi também perante sua ajuda, pelos anos que me acolheu em sua família, pois tudo na vida é gerado por um início, e o meu foi com você caro tio.

A minha amada, Monica Sustakowski por estar presente nesta trajetória, trabalhando de sol a sol, em experimentos difíceis, grandes, que exigem muita dedicação. Ao seu companheirismo, gratidão e humildade, além do grande respeito que tem por mim como pessoa e como profissional. Presente não só nos momentos de alegria que compartilhamos, mas também naqueles que realmente demonstram o quanto é grande seu amor por mim.

A todos que sabem como é importante a pesquisa para o desenvolvimento humano, que em meio aos grandes intempéries de pesquisa a campo damos o nosso melhor para gerar trabalhos dignos e que possam ter um grande impacto no meio agrícola.

Ao meu amigo de vida, Alisson Daroda Cassiano grande profissional e pessoa a qual vivi ao lado durante muitos anos e que apesar de não ter compartilhado desse período de minha carreira sempre foi lembrado. Das lembranças que compartilho desde pequeno juntos caminhando até este momento.

À minha orientadora Prof^a Dra. Maria do Carmo Lana, que me orientou em cada etapa deste trabalho. Sou muito grato por toda paciência, incentivo e atenção e em me orientar nessa dissertação. Agradeço por todo o conhecimento transmitido

a mim e por toda ajuda sempre que precisei. Pela disposição do laboratório para as análises.

À Prof^a Dra. Edleusa Pereira Seidel, todas as contribuições feitas para a melhoria do trabalho, pelas participações nas bancas de avaliação, pelo tempo e dedicação para o sucesso deste trabalho, assim como o Prof. Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Grandes professores, profissionais e excelentes pessoas. Sempre trazendo o grande conhecimento do que fazem aliado ao respeito com os discentes.

Ao Jucenei Fernando Frandoloso por todo auxílio durante a realização das análises químicas, sem seu profissionalismo juntamente com o de minha orientadora as análises não sairiam perfeitas como foram. A paciência em ajudar o próximo é uma virtude.

A meus pais, tios (Norberto e Eleonice), namorada e amigos presentes em momentos especiais como na colheita do milho, que contou com um multirão de união para realização deste serviço.

Aos funcionários do Núcleo de Estações Experimentais, especialmente ao Marcelo Lang, Ademar da Silva, Dirceu Rauber, Ernesto Deves que auxiliaram em algumas fases do experimento, como semeadura, roçagem e trilha do milho. Agradeço a paciência e dedicação sempre que precisei.

Ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agronomia (PPGA) da UNIOESTE de Marechal Cândido Rondon, pela oportunidade de realização deste curso. Aos professores do PPGA que me deram recursos para evoluir todos os dias. Agradeço por todo o conhecimento transmitido que foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

Em especial a grande pessoa que é a secretária do PPGA da UNIOESTE, Leila Dirlene Allievi Werlang pelo comprometimento, atenção e auxílio, mesmo fora de seu horário de trabalho, sempre respondendo as nossas mensagens e e-mails com rapidez e eficiência.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de auxílio ao estudo, pois assim como para mim a bolsa exerce além de um auxílio, é a nossa renda profissional, já que dedicamos integralmente ao plano de estudo e pesquisa.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

RESUMO

REIS, Willian dos. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro – 2021.

Aplicação de pó de rocha e enxofre elementar associado a plantas de cobertura do solo, na disponibilidade de nutrientes para a cultura do milho.

Orientadora: Dra. Maria do Carmo Lana.

Na agricultura diminuir os custos de fertilização com a utilização de fontes alternativas podem tornar o setor agrícola mais competitivo e sustentável. Alternativas como o pó de rocha pode ser uma importante ferramenta de melhoria da fertilidade do solo, sobretudo na agricultura agroecológica. O objetivo foi avaliar o efeito da aplicação de pó de rocha e enxofre elementar associado a plantas de cobertura, sobre atributos do solo e sobre a produtividade do milho. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas principais foram constituídas por três coberturas de solo: consórcio de aveia preta e nabo forrageiro, nabo-forrageiro e solo descoberto. As subparcelas foram compostas pela presença ou ausência de pó de rocha: 12 t ha⁻¹, tendo nas sub-subparcelas a presença ou ausência de enxofre elementar: 60 kg ha⁻¹. Foi avaliado a produtividade de matéria seca das plantas de cobertura; umidade volumétrica e resistência a penetração do solo; acúmulo de nutrientes pelas plantas de cobertura; teores nutricionais foliares, componentes de rendimento e produtividade do milho. O nabo em monocultivo proporcionou acúmulo de matéria seca 70% superior ao acumulado pelo consórcio de aveia preta e nabo forrageiro; também promoveu menor resistência a penetração na camada de 0,0-0,2 m; assim como maior acúmulo de N no tecido foliar do milho. O consórcio (nabo forrageiro + aveia preta) promoveu incremento de 1,7% na umidade volumétrica do solo em relação a área mantida sem cobertura; o consórcio de aveia preta e nabo forrageiro apresentou acúmulo de 21% de N, 19% de P, 89% de Mn, 334% de Fe e 86% de Cu, superior ao monocultivo de nabo forrageiro; a aplicação do pó de rocha associada a aplicação de enxofre elementar proporcionou maior acúmulo de Fe no tecido foliar do milho; o pó de rocha associado ao consórcio e enxofre promoveu menor acúmulo de Mg no tecido foliar do milho; a produtividade do milho não obteve incrementos pelo cultivos de plantas de cobertura, aplicação de pó de rocha e utilização de enxofre elementar.

Palavras-chave: Adubos verdes, resistência a penetração, pó de rocha, sustentabilidade.

ABSTRACT

REIS, Willian dos. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, february – 2021. **Application of rock dust and elemental sulfur associated with soil cover plants, in the availability of nutrients for maize culture.** Advisor: Dra. Maria do Carmo Lana.

In agriculture, decreasing fertilization costs with the use of alternative sources can make the agricultural sector more competitive and sustainable. Alternatives such as rock dust can be an important tool for improving soil fertility, especially in agroecological agriculture. The objective was to evaluate the effect of the application of rock dust and elemental sulfur associated with cover crops, on soil attributes and on corn productivity. The experimental design was in randomized blocks in a subdivided plot scheme, with four replications. The main plots consisted of three soil coverings: consortium of black oats and turnip, turnip and uncovered soil. The subplots were composed of the presence or absence of rock dust: 12 t ha⁻¹, with the sub-plots having the presence or absence of elemental sulfur: 60 kg ha⁻¹. The dry matter productivity of the cover plants was evaluated; volumetric humidity and resistance to soil penetration; accumulation of nutrients by cover crops; leaf nutritional contents, yield components and corn productivity. The monoculture turnip provided dry matter accumulation 70% higher than that accumulated by the consortium of black oats and forage turnip; also promoting less resistance to penetration in the 0.0-0.2 m layer; as well as greater N accumulation in the corn leaf tissue. The consortium (forage turnip + black oats) promoted an increase of 1.7% in the volumetric moisture of the soil in relation to the area maintained without cover; the consortium of black oats and forage turnip presented accumulation of 21% of N, 19% of P, 89% of Mn, 334% of Fe and 86% of Cu, superior to the monoculture of forage turnip; the application of rock dust associated with the application of elemental sulfur provided greater accumulation of Fe in the leaf tissue of corn; the rock powder associated with the intercrop and sulfur promoted less accumulation of Mg in the leaf tissue of corn; maize productivity did not increase by cultivating cover crops, applying rock dust and using elemental sulfur.

Keywords: Green cover, penetration resistance, rock dust, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Precipitação pluviométrica e temperaturas mínima e máxima mensais referentes ao período de maio de 2019 a março de 2020 no município de Marechal Cândido Rondon, PR. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.....21
- Figura 2 - Produção de massa seca de nabo-forageiro e consórcio (nabo forrageiro + aveia preta) após aplicação de pó de rocha basáltica e enxofre elementar, em período de pleno florescimento.27
- Figura 3 – Umidade volumétrica do solo sob sistema de diferentes coberturas de solo, após aplicação de pó de rocha basáltica e enxofre elementar.31
- Figura 4 - Valores médios de resistência a penetração em Latossolo Vermelho Eutroférico, em diferentes profundidades, após cultivo de adubos verdes de inverno com aplicação de pó de rocha basáltica e enxofre elementar. MCR – 2019.33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química pré-semeadura do milho na área experimental no município de Marechal Cândido Rondon-PR, na profundidade de 0,00-0,20 m	22
Tabela 2 - Composição química do pó de basalto proveniente de mineradora localizada no município de Palotina-PR	23
Tabela 3 - Granulometria de pó de basalto proveniente de mineradora localizada no município de Palotina-PR	23
Tabela 4 - Teores nutricionais das plantas de cobertura em função da espécie, aplicação de pó de rocha e de enxofre elementar	34
Tabela 5 - Acúmulo total de nutrientes das plantas de cobertura em função da espécie, aplicação de pó de rocha e de enxofre elementar	35
Tabela 6 - Teores foliares de nutrientes de plantas de milho em sucessão ao cultivo com plantas de cobertura associadas a aplicação de pó de rocha e enxofre elementar.....	42
Tabela 7 - Teores foliares de Fe e Mg em plantas de milho após a aplicação de pó de rocha associado ao cultivo com plantas de cobertura e com a aplicação de enxofre elementar.....	47
Tabela 8 - Valores médios para número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga, massa de mil grãos e produtividade do milho após cultivo com plantas de cobertura, aplicação de pó de rocha e aplicação de enxofre elementar.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	CULTURA DO MILHO	14
2.2	ROCHAGEM COMO ALTERNATIVA DE FERTILIZAÇÃO.....	15
2.3	ENXOFRE ELEMENTAR COMO FONTE DE SULFATO	18
2.4	PLANTAS DE COBERTURA: INFLUÊNCIA SOBRE A DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES.....	19
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1	LOCALIZAÇÃO, CLIMA E SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL	20
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	21
3.3	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	22
3.4	AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MASSA SECA DAS PLANTAS DE COBERTURA	24
3.5	DETERMINAÇÃO DO TEOR VOLUMÉTRICO DE ÁGUA NO SOLO E DA RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO	25
3.6	AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DAS PLANTAS DE COBERTURA E DA CULTURA DO MILHO.....	25
3.7	AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DO MILHO.....	26
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	PRODUÇÃO DE MASSA SECA VEGETAL.....	27
4.2	UMIDADE VOLUMÉTRICA E RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO	30
4.3	TEORES NUTRICIONAIS DAS PLANTAS DE COBERTURA E DA CULTURA DO MILHO.....	34
4.4	COMPONENTES DE RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DO MILHO...51	
5	CONCLUSÕES	54
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro é caracterizado por apresentar uma das principais atividades econômicas do país, colocando-o como um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo. Todavia, é extremamente importante a superação de obstáculos para que este sucesso perdure, pois, a revolução verde garantiu a maximização produtiva diante a adoção de um pacote tecnológico, mas gerou grandes impactos sociais e na sustentabilidade dos sistemas produtivos (ALMEIDA et al., 2007; NOVAES et al., 2010).

As tecnologias da revolução verde tornaram o produtor rural dependente de empresas e corporações para produzir e comercializar seu produto, principalmente quando tratamos de manejos com agrominerais sintéticos (ALVES; TEDESCO, 2015).

Segundo dados da safra 2018 do Instituto de Economia Agrícola (IEA), o Brasil importou quase 80% da matéria prima de fertilizantes e esse custo impacta diretamente na viabilidade econômica do produtor rural, uma vez que essa matéria é cotada em dólar. Silva et al. (2012), relatam que o crescimento da necessidade produtiva resultou em uma demanda expressiva por fertilizantes, gerando impactos no preço do mercado, e com isso, despertando interesses na utilização de fontes alternativas como a rochagem.

O método de rochagem é uma forma sustentável de adubação que vem ganhando adeptos pelo Brasil, porém é importante ressaltar que consiste em um método antigo inicialmente destacados por autores europeus, e como exemplo podemos citar o livro “Pães de Pedra” produzido em 1898 por Julius Hensel, em Leipzig na Alemanha, que retrata sobre a potencialidade da fertilização dos solos com que denominavam de farinha de rochas, convertendo por assim dizer, pedras em alimento (HENSEL, 1898), assim como Missoux (1853) que também descreveu essa atividade de forma mais técnica (VAN STRAATEN, 2006).

Desta forma, a técnica conhecida como rochagem, a qual consiste na adição de rochas moídas ao solo (pó de rocha), com finalidade de fertilizar, corrigir ou condicionar o solo, se mostra promissora para a produção agrícola, principalmente para cultivos agroecológicos, destacando-se pela diversidade de matérias primas com potencial de uso para adubação (NUNES et al., 2014).

A construção da fertilidade do perfil do solo é parte fundamental do manejo sustentável do solo, entendendo que com a adição de materiais de solubilidade mais lenta, quando comparada com fontes solúveis, a planta terá uma reserva de nutrientes ao longo do tempo, que poderá ser requerida quando for necessária para seu desenvolvimento (NICHOLS et al., 2015).

Vários fatores ainda limitam a utilização da técnica da rochagem, como a falta de políticas públicas, de incentivo e crédito, de pesquisa e extensão e desinformação por parte dos agricultores (ASSIS et al., 2013).

O basalto é uma rocha silicatada que apresenta uma ampla distribuição nas regiões sul e sudeste do Brasil e um bom potencial de uso agrícola. Alguns trabalhos têm demonstrado que a aplicação do pó de basalto melhora as características químicas do solo, disponibilizando elementos como P, K, Ca e Mg, além da redução do Al trocável, correção da acidez e aumento da CTC do solo (LOPES et al., 2014).

O processo de intemperismo, bem como a liberação de elementos, pode ser acelerado pela remoção de produtos solúveis das fontes. Agentes biológicos como micro-organismos e vegetais, extraem e absorvem esses produtos e os imobilizam temporariamente (CARVALHO, 2012). Assim como associações com outros métodos em potencial, como utilização de enxofre elementar que devido algumas particularidades como a acidificação em sua transformação pelos microorganismos para sulfato pode favorecer a dissolução do pó de rocha (STAMFORD et al., 2007).

Neste aspecto, a utilização de plantas de cobertura ou adubos verdes tem sido recomendada como parte das estratégias de manejo para aumento da disponibilidade de elementos à cultura de interesse, principalmente em função dos exsudados radiculares liberados pelas plantas que aceleram a solubilização de nutrientes (KEUSKAMP et al., 2015).

Assim se faz necessário estudos regionais sobre as associações com o método da rochagem, que permitam gerar dados importantes para a agricultura, pois devido suas características mineralógicas os efeitos são gerados principalmente de médio a longo prazo necessitando de alternativas que aumentem a velocidade de disponibilização dos nutrientes e a absorção pelas plantas.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da utilização de pó de rocha basáltica associado com adubos verdes de inverno e enxofre elementar sobre a produção de matéria seca das plantas de cobertura, atributos físicos do solo, acúmulo de nutrientes e produtividade da cultura do milho em safra verão subsequente.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a umidade e resistência a penetração do solo;
- b) Avaliar a produtividade de matéria seca da parte aérea das plantas de cobertura;
- c) Avaliar os teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e micronutrientes na parte aérea das plantas de cobertura e da cultura do milho;
- d) Avaliar a produtividade da cultura do milho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTURA DO MILHO

Botanicamente o milho é classificado como uma planta de porte ereto monoica e folha estreita, com preferência de condições climáticas com temperaturas entre 25 e 35° C, e solos de textura média.

Nativo da América Central, foi base da cultura de vários povos, principalmente indígenas, que através de seu poder germinativo aliado a rapidez e à facilidade do cultivo, fez com que ele se adequasse perfeitamente ao ideal de vida nômade dessas comunidades, além de ser considerado um facilitador de expedições de colonização (MARIUZZO, 2019).

No Brasil é cultivado em todas as microrregiões, sendo o grão mais produzido no mundo segundo informações do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Possui potencial amplo de utilização como alimento, uso industrial, energético e produção de rações, sendo uma cultura básica para o

agronegócio dinâmico moderno e estratégica para o avanço quantitativo e qualitativo do consumo de alimentos (REVISTA VISÃO AGRÍCOLA, 2015).

Na safra 2019/2020 a área total plantada com a cultura foi de 18,5 milhões de hectares, representando uma produção de cerca de 102,5 milhões de toneladas e uma produtividade média de 5.533 kg ha⁻¹ (CONAB, 2020).

Pode constituir até 600 tipos de produtos alimentícios, mas a maior utilização é na alimentação animal especialmente, por ser rico em carboidratos solúveis, fonte de energia (PEREIRA et al., 2012).

2.2 ROCHAGEM COMO ALTERNATIVA DE FERTILIZAÇÃO

Os estudos sobre as potencialidades da rochagem a nível nacional tiveram início na década de 1950, com D. Guimarães e Vladimir Ilchenko, e foram alavancados pelo professor Othon Leonardos (UNB), o qual é considerado o precursor da rochagem no Brasil (COELHO, 2005). Tais contribuições já sugeriam o uso das rochas para remineralizar os solos agrícolas. De sorte, as pesquisas avaliando o potencial desses materiais têm recebido enfoque maior nas últimas décadas tanto a nível mundial como no Brasil.

Os agrominerais são fontes de nutrientes derivadas de rochas utilizadas na agricultura, podendo ser de caráter sintético que sofreram algum tipo de processo industrial apresentando um alto teor de solubilidade, obtendo maior facilidade em processos de volatilização, fixação e lixiviação, ou *in natura* que apenas é resultado de métodos de diminuição das partículas (PÁDUA, 2012).

É de extrema importância relatar que nem toda rocha é potencialmente utilizável, tendo atualmente em vigor a Lei 12.890 regulamentada pelo MAPA de 2016, que define um novo tipo de insumo tido como remineralizador de solos, com base em critérios mínimos e máximos.

Quando atendem as exigências mínimas da legislação brasileira, os pós de rocha são denominados remineralizadores (RM), ou seja, o produto deve conter pelo menos uma soma dos óxidos totais de cálcio, magnésio e potássio (soma de bases) superior a 9% e teores máximos de arsênio, cádmio, mercúrio e chumbo dentro de limites estabelecidos. Os RM, conforme Lei nº 12.890/2013, são definidos como categoria de insumo destinado à agricultura, sendo materiais de origem mineral que tenham sofrido apenas redução de tamanho por processos mecânicos e que alterem

a fertilidade do solo por meio de adição de nutrientes para as plantas, bem como, melhorem as propriedades físicas ou físico-químicas ou a atividade biológica do solo (BRASIL, 2016).

A aplicação de pó de rocha no solo já é utilizada em ampla escala na agricultura como os calcários e fosfatos naturais, enquanto os silicáticos são pós de rochas complexas no qual os minerais componentes integram silício em sua composição, não sendo minerais solúveis em água, porém são bio disponíveis, significando que para a planta ter acesso aos nutrientes ela precisa buscar por meio de suas raízes, sendo facilitada por uma alta atividade biológica de sua rizosfera (THEODORO; LEONARDOS, 2006).

A aplicação da rochagem consiste no espalhamento à lanço do pó na área sem incorporação, sendo um processo antigo, porém a nova fase da agricultura reconsidera a utilização de métodos que visem diminuir custos de produção, aumentando a eficiência do uso de nutrientes, e podendo ainda segundo alguns estudos, sequestrar carbono atmosférico, garantindo melhores processos de estruturação e rejuvenescimento dos solos (VAN STRAATEN, 2010; HARTMANN; KEMPE, 2008).

A composição química e textural das rochas é muito variada em termos de espécies minerais, e cada mineral possui uma dinâmica de liberação dos elementos de constituição, a qual é condicionada por processos intempéricos a que estarão submetidos quando aplicados no solo. A fim de potencializar o efeito de uma determinada litologia para rochagem é essencial que seja realizada a identificação dos minerais e análise da composição química (THEODORO et al., 2010).

Outros fatores que devem ser considerados são a análise de solo e a demanda nutricional da cultura. Com essas informações, a dose a ser aplicada de rocha moída em um solo pode ser corretamente dimensionada (BAMBERG et al., 2011). O uso do pó de rocha em condições de clima tropical possui grande potencialidade, pois as taxas de dissolução dos minerais e as reações com a solução do solo são favorecidas sob condição de alta temperatura e umidade relativa.

Vale destacar, que a utilização de pó de basalto como fertilizante auxilia não somente ao ambiente, mas fisiologicamente a planta, no seu desenvolvimento vigoroso com equilíbrio nutricional, resultando em um produto vegetal de melhor sanidade e qualidade nutritiva. Além disso, é capaz de incorporar diversos minerais

não repostos de modo convencional, equilibrando parâmetros de pH, CTC e reserva de nutrientes.

À medida que o pH do solo aumenta, diminui a atividade do Al na solução do solo, pois ele atinge a constante do produto de solubilidade e se transforma em precipitado ($\text{Al}(\text{OH})_3$), o que minimiza os efeitos de fito toxicidade desse elemento às culturas (CRISTANCHO et al., 2011). Dessa forma, é esperado maior aporte de nutrientes disponíveis na solução do solo, o que repercutiria positivamente na produtividade das plantas.

Em análise de vários estudos sobre nutrição vegetal, tem-se que o fósforo aplicado nos últimos 50 anos pelo manejo da adubação ainda continua retido nos solos brasileiros. Isto ocorre devido a composição mineralógica dos solos tropicais possuir altos níveis de carga positiva fixando os fosfatos e os limitando de serem absorvidos pelas plantas. Com a utilização dos agrominerais *in natura*, reduz-se a adsorção de fosfatos além de outros benefícios referente ao suprimento de potássio e micronutrientes (THEODORO; LEONARDOS, 2010).

Estudos da Embrapa juntamente com o Serviço Geológico do Brasil terminados em 2018, demonstraram que 20% do país tem potencial de ocorrer este tipo de insumo, além de estarem situados em pontos a menos de trezentos quilômetros da maioria das áreas agrícolas do país, assim possuindo uma ampla abundância e boa distribuição, necessitando agora de melhores estudos principalmente em cada região, pois a logística ainda é considerada de ampla relevância para o custo de sua utilização.

Como detentor de abundante geodiversidade, o Brasil possui as ferramentas necessárias para solucionar os problemas relacionados ao solo, o que depende de estudos e abordagens sistêmicas interdisciplinares quanto ao uso e reconhecimento dessas rochas, processos geológicos envolvidos, e posicionamento técnico (VAN SRAATEN, 2006).

Cabe ressaltar que a intervenção com pós de rocha no manejo de agroecossistemas, deve fazer parte de uma estratégia integral para assegurar o uso sustentável do solo e recursos naturais, onde a eficiência agrônômica das rochas que possuem nutrientes como K, Ca e Mg é diretamente correlacionada por sua composição química e mineralógica, presença de microrganismos, espécies de plantas cultivadas, atividade da rizosfera e o tipo de solo (GUELFIL-SILVA et al., 2014).

2.3 ENXOFRE ELEMENTAR COMO FONTE DE SULFATO

Por estar contido em baixa concentração nos fertilizantes, o enxofre (S) é classificado segundo a legislação brasileira como um macronutriente secundário, e devido a utilização crescente de fertilizantes com fórmulas mais concentradas em outros nutrientes, o S passou a ser fator limitante da produtividade e qualidade das culturas de interesse econômico.

O S desempenha papel essencial no desenvolvimento das plantas principalmente no metabolismo do nitrogênio, palatabilidade dos produtos vegetais e aumento de resistência natural das plantas.

Cerca de 95% do S no solo encontra-se na matéria orgânica (M.O), e seu fluxo é controlado por reações de redução e oxidação mediadas pela ação de microrganismos, que em solos bem drenados e oxigenados predomina na forma oxidada de sulfato, sendo a fonte principal para as plantas e possuindo alta mobilidade no perfil do solo.

A fertilização com enxofre elementar com cerca de 90% de S, é uma alternativa mais econômica de adicioná-lo ao sistema de cultivo, valendo ressaltar que a granulometria influi diretamente na exposição do elemento a atividade microbiana (VITTI et al., 2015).

A liberação dos elementos contidos nas rochas pode ser, portanto, potencializada pela atuação do ácido sulfúrico metabolicamente produzido pelas bactérias oxidantes do enxofre, como as do gênero *Acidithiobacillus*, que atua no enxofre elementar em mistura com rochas moídas (EL TARABILY et al. 2006).

As espécies do gênero *Acidithiobacillus* compreendem principalmente: *A. thiooxidans*, *A. thioparus*, *A. ferrooxidans*, *A. denitrificans* e *A. albertensis*. Este gênero caracteriza-se por ser obrigatoriamente aeróbio e acidófilo, com pH ótimo menor que 4,0, e temperatura ótima entre 30 e 35° C e, atualmente, algumas espécies são usadas na produção de biofertilizantes de rochas como *A. thiooxidans* e *A. ferrooxidans* (STAMFORD et al., 2007), sendo que esta última pode atuar em condições anaeróbicas, na presença de ferro oxidado, que é reduzido pelo *A. ferrooxidans* e o S oxidado a sulfato.

A escolha deste nutriente para associação com a rochagem e plantas de cobertura é altamente benéfica ao sistema. As plantas de cobertura de solo ao liberar ácidos orgânicos e proporcionar melhor microclima para atividade microbiana,

aumentam a taxa de oxidação de S, o que implica em uma leve acidificação do solo e assim elevando a mineralização do pó de rocha, além de manter o sulfato na camada superficial do solo, retido na matéria orgânica.

2.4 PLANTAS DE COBERTURA: INFLUÊNCIA SOBRE A DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES

Devido as características de liberação gradual, baixa concentração e solubilização de nutrientes, o pó de rocha é considerado um fertilizante inteligente e sua utilização não possui restrição ao tipo de cultivo.

Porém devido a estas características a sua viabilidade decorre do potencial da atividade microbiológica do solo, das plantas de cobertura e do sistema de plantio a ser adotado, sendo assim indicado manejos alternativos associando o insumo *in natura* à culturas de cobertura que potencializem a liberação de nutrientes e a eficiência nutricional, unindo a tecnologia da rochagem com a biologia do ambiente (THEODORO et al, 2010).

Apesar da granulometria ser um fator de influência na reatividade da fonte, o intemperismo do pó pode ser acelerado pela remoção de produtos solúveis por agentes biológicos como microrganismos e vegetais que extraem e absorvem esses produtos e os utilizam em seus metabolismos (CARVALHO, 2013). Considerando estes aspectos, o manejo com plantas é recomendado principalmente em função das gomas, exsudatos, ácidos e mucilagens radiculares liberados pelas plantas que aceleram a solubilização de nutrientes (KEUSKAMP et al., 2015).

Os adubos verdes além de aumentarem o potencial de liberação de elementos do pó, constitui ainda uma alternativa ao pousio e ao cultivo de inverno, maximizando a ciclagem de nutrientes, reduzindo a lixiviação de elementos e favorecendo o aporte de matéria orgânica, que é capaz de formar grupos funcionais influentes em várias reações químicas no solo, tendo dessa forma, participação efetiva no aumento da taxa de dissolução do pó de basalto aplicado em superfície.

A cobertura morta proveniente das plantas de cobertura também influencia na velocidade de mineralização dos nutrientes, sendo que, a decomposição destes resíduos aumenta a concentração de ácidos orgânicos que desencadeiam em processos de liberação de nutrientes, além de potencializar condições ambientais favoráveis a atividade microbiana na região da rizosfera, promovendo modificações

no potencial eletroquímico e em estratégias que liberam elementos retidos nas estruturas dos minerais (GUPPY et al., 2005).

A utilização de plantas de cobertura do solo possibilita além disso a manutenção ou recuperação dos teores de matéria orgânica no solo em sistemas de manejo conservacionista como a semeadura direta ou cultivo mínimo, resultando em menores taxas de perdas de N e maiores taxas de adição de MO no sistema solo (COOPER et al., 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO, CLIMA E SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido no núcleo de estação experimental Prof. Dr. Mário César Lopes, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon, localizada nas coordenadas geográficas de latitude $-24^{\circ}55'24''$ S, longitude $-54^{\circ}04'32''$ O e altitude de 420 m em relação ao nível do mar. O solo da região é caracterizado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), de textura argilosa e possui boa drenagem (SANTOS, 2006).

O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen do é tipo Cfa, subtropical com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões quentes, com temperaturas médias anuais variando entre 22 e 23° C. Os totais anuais médios normais de precipitação pluvial para a região variam entre 1600 a 1800 mm, com o trimestre mais chuvoso (dezembro a fevereiro) apresentando totais variando entre 400 e 500 mm (IAPAR, 2008).

Os dados pluviométricos e as médias de temperatura mínima e máxima mensal para os meses em que o experimento foi conduzido (maio de 2019 a março de 2020), juntamente com a indicação da realização das etapas do experimento são apresentados na Figura 1.

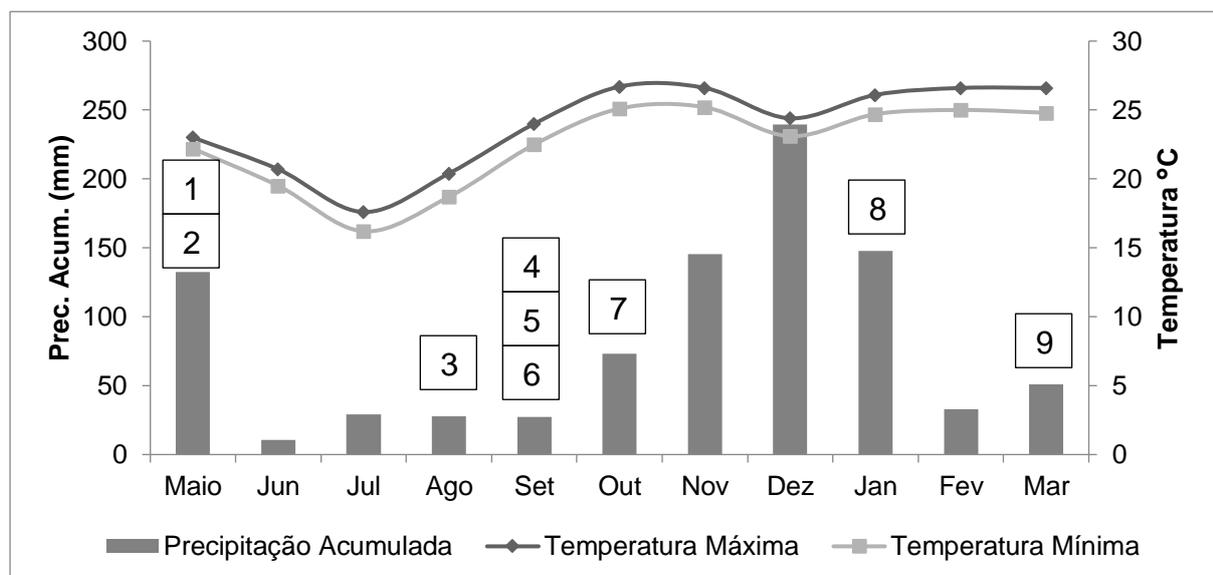


Figura 1 - Precipitação pluviométrica e temperaturas mínima e máxima mensais referentes ao período de maio de 2019 a março de 2020 no município de Marechal Cândido Rondon, PR. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

Identificação das etapas realizadas no experimento (Figura 1): 1 – Aplicação do pó de rocha e enxofre; 2 - Semeadura das plantas de cobertura; 3 – Amostragem da parte aérea para determinação da massa seca e teor de nutrientes; 4 – Determinação do teor de umidade do solo; 5 – Manejo das plantas de cobertura; 6 – Determinação da resistência do solo à penetração; 7 – Semeadura do milho; 8 – Amostragem foliar do milho; 9 - Colheita do milho.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema de parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. As parcelas principais foram constituídas por três coberturas do solo: Consórcio de nabo-forrageiro com aveia preta, monocultivo de nabo forrageiro e solo mantido descoberto. As subparcelas foram compostas pela presença ou ausência de pó de rocha na dose de 12 ton ha^{-1} enquanto nas subsubparcelas foram constituídas pela presença ou ausência de enxofre elementar moído, na dose de 60 kg ha^{-1} .

A área experimental foi constituída por doze parcelas principais medindo $4,5 \times 32 \text{ m}$, 24 subparcelas medindo $4,5 \times 16 \text{ m}$ e 48 subsubparcelas medindo $4,5 \times 8 \text{ m}$, compondo uma área experimental total de cultivo 1728 m^2 .

3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O local da instalação vem sendo cultivado sob sistema de plantio direto com utilização de plantas de cobertura de solo, além de testes anteriores com utilização de gesso agrícola e integração de cultivos. Apresenta uma área homogênea nas características do solo, relevo plano, e sem presença de terraços.

Foi realizada a caracterização dos elementos químicos e condições do solo (Tabela 1) de acordo com metodologia proposta por Lana et al. (2016), através da amostragem simples de solo em três pontos de cada subsubparcela sem cobertura, antes da semeadura do milho na profundidade de 0,00-0,20 m, compondo uma amostra composta.

Tabela 1 - Caracterização química pré-semeadura do milho na área experimental no município de Marechal Cândido Rondon-PR, na profundidade de 0,00-0,20 m

pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	K ----- cmol _c dm ⁻³	Ca cmol _c dm ⁻³	Mg ----- cmol _c dm ⁻³	H+Al ----- cmol _c dm ⁻³	Cu ----- mg dm ⁻³	Zn ----- mg dm ⁻³	Fe ----- mg dm ⁻³	Mn ----- mg dm ⁻³
4,6	19,1	0,62	3,78	1,05	6,1	16	4,1	17	91

De acordo com a análise solo, observa-se que, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para o estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017), é possível classificar os valores como muito altos para P (>12 mg dm⁻³) e K (>0,45 cmol_c dm⁻³), altos para Ca (>3,0 cmol_c dm⁻³), Mg (>1,0 cmol_c dm⁻³), Zn (>1,6 mg dm⁻³) e Mn (>9,0 mg dm⁻³), médio para Fe (16-40 mg dm⁻³) e excesso para Cu (>8,0 mg dm⁻³).

Inicialmente com a demarcação do local, foi realizada a dessecação química manual da área com 2,5 kg ha⁻¹ do equivalente ácido glifosato WG, juntamente com herbicida da classe das sulfoniluréias com 3,3 g ha⁻¹, com utilização de óleo mineral na dose de 1,5 L ha⁻¹ e espalhante adesivo 30 mL para cada 100 L de água. Sete dias após a aplicação foi realizada uma dessecação sequencial com herbicida de contato paraquat + diuron com 2 L ha⁻¹ e espalhante adesivo 30 mL para cada 100 L de água.

Com a área devidamente manejada, foi realizada a aplicação manual do pó de rocha e do enxofre elementar (90-100% de S) adquirido em mercado local, este foi moído e peneirado em malha ABNT 20 (partículas < 0,84 mm), aplicando-os em

área total de cada subparcela e subsubparcela respectivamente de acordo com sua ausência ou presença.

O pó de rocha utilizado foi de origem basáltica, dada sua abundância na região sul do Brasil, bem como à sua riqueza em nutrientes, e foi proveniente de mineradora localizada no município de Palotina-PR.

De acordo com a análise química por espectrometria de fluorescência de raios X, a composição química do pó de basalto utilizado está apresentada na tabela 2.

Tabela 2 - Composição química do pó de basalto proveniente de mineradora localizada no município de Palotina-PR

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	P.F	Soma
%											
51,17	12,65	14,24	9,73	5,21	1,01	2,61	2,52	0,21	0,35	0,30	100

P.F: perda ao fogo.

A granulometria do pó de basalto (Tabela 3) foi determinada por peneiramento, a partir da massa de grânulos obtida em cada peneira. Para tanto, foi utilizado um conjunto de peneiras com abertura de 1,00, 0,5, 0,25, 0,106 e 0,053 mm de malha.

Tabela 3 - Granulometria de pó de basalto proveniente de mineradora localizada no município de Palotina-PR

1,00 mm	0,5 mm	0,25 mm	0,106 mm	0,053 mm	<0,053 mm
%					
13,82	27,01	20,79	22,40	8,20	7,28

A implantação das plantas de cobertura do solo foi realizada em semeadura direta e à lanço manualmente. Para o nabo-forrageiro solteiro foi utilizado o sistema sob semeadura direta em fluxo contínuo sob densidade de sementes de 15 kg ha⁻¹ e espaçamento de 0,17 m, e para a semeadura do consórcio foi utilizado o sistema manual a lanço sob densidade de sementes de 30 kg ha⁻¹ de aveia preta e 5 kg ha⁻¹ para o nabo forrageiro. A semeadura foi realizada dez dias após a implantação do cultivo solteiro. Para a manutenção da área sem cobertura, quando necessário, foi realizado o controle mecânico manual das plantas espontâneas por meio de capina.

As plantas de cobertura quando atingiram o período de enchimento de grãos, grãos verdes, foi realizado o manejo da parte aérea com utilização de uma roçadeira acoplada à trator, de forma a realizar a trituração do material vegetal, com função de impedimento da rebrota das plantas.

A cultura de interesse econômico, foi implantada no mês de outubro, sendo o milho híbrido 30F53 marca Pioneer® com a tecnologia Leptra® de proteção contra insetos sob sistema de semeadura direta, em espaçamento de 0,70 m e utilizando densidade de semeadura de 4,0 sementes por metro linear. A adubação de base foi suprimida com o objetivo de não ocasionar efeitos sobre os resultados da roçagem.

A adubação nitrogenada foi realizada 37 dias após semeadura (DAS) do milho, quando este apresentou-se em estágio vegetativo com 4-5 folhas plenamente desenvolvidas, conforme recomendação fisiológica para o período, com aplicação manual a lanço, equivalente a 180 kg ha⁻¹ de N, utilizando a fonte de ureia granulada comum, no período da manhã após ocorrência de precipitação pluviométrica.

Para o controle fitossanitário realizou-se apenas uma aplicação de fungicida dos componentes ativos piraclostrobina e epixiconazol (133 e 50 g L⁻¹), em estágio vegetativo da cultura pré pendoamento (50 DAS), em dose de 0,75 L ha⁻¹ do produto comercial, com calibração do equipamento para volume de calda de 200 L ha⁻¹.

A colheita do milho foi realizada manualmente após a maturação fisiológica com umidade em torno de 18% para os grãos, coletando-se todas as espigas de cada subsubparcela, visto não se tratar de um estudo com variedades diferentes, não conter corredores internos entre os blocos e tomados os devidos cuidados com plantio de linhas externas nas bordas, tudo isso a fim de evitar efeitos de luminosidade dentro da área.

3.4 AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MASSA SECA DAS PLANTAS DE COBERTURA

A avaliação da produção de matéria seca foi realizada a partir do corte das plantas de cobertura rente ao solo em estágio de pleno florescimento, coletando amostras aleatórias de material vegetal em cada subsubparcela, por meio de um quadrado metálico com área de 0,25 m².

Os materiais coletados foram acondicionados em sacos de papel e levados ao laboratório para secagem em estufa a uma temperatura de 65° C até peso

constante, e posterior pesagem em balança semianalítica e estimativa da massa seca em kg ha^{-1} .

3.5 DETERMINAÇÃO DO TEOR VOLUMÉTRICO DE ÁGUA NO SOLO E DA RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO

O teor de umidade do solo foi determinado por meio de um medidor portátil da série MP de sondas de umidade (Moisture Probe Meter 160-B). Sendo um medidor eletrônico de leitura direta mostrada em visor com chip de armazenamento de dados que possibilita a verificação de diferenças de umidade no solo em vários pontos requeridos. As medições foram realizadas em período de início de enchimento de grãos, grãos verdes, das plantas de cobertura em três medições para cada subsubparcela, sendo considerado as médias aritméticas para gerar dados com melhor exatidão.

A resistência do solo a penetração foi determinada após o manejo das plantas de cobertura, em três pontos amostrais de cada subsubparcela com uso de um penetrômetro digital da marca Falker®, com profundidade máxima da haste até 0,40 m. Para a análise também considerou a média aritmética das leituras a cada 0,05 m de profundidade, sendo que os dados obtidos foram transformados para a unidade de MPa.

3.6 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DAS PLANTAS DE COBERTURA E DA CULTURA DO MILHO

A análise foliar é uma ferramenta auxiliar no diagnóstico do estado nutricional dos cultivos e serve como orientação para a adubação da cultura no próximo ano agrícola. Porém, há dificuldade em encontrar boas correlações entre a concentração dos nutrientes no solo e aquela determinada na planta.

Para a caracterização química foliar das plantas de cobertura, utilizou-se o material vegetal coletado para estimativa de produção de massa seca, conforme descrito no item 3.4. O valor de acúmulo total dos nutrientes foi obtido da multiplicação da matéria seca das plantas pelo teor foliar de cada nutriente.

A caracterização de diagnose foliar do milho foi realizada por meio da coleta de dez folhas abaixo e oposta a espiga, no início do florescimento de forma aleatória em cada subsubparcela, utilizando o terço médio do limbo foliar com nervura.

O material vegetal do milho, assim como o realizado com as plantas de cobertura, foi acondicionado em sacos de papel, levado para estufa de circulação de ar forçada em temperatura de 65° C até atingir peso constante.

Todos os materiais vegetais, plantas de coberturas e do milho, foram moídos em moinho de aço inoxidável para evitar a contaminação da amostra com ferro, zinco e cobre, passando-se a amostra em peneiras de 1 mm de malha acopladas no próprio moinho.

As variáveis analisadas dos materiais vegetais foram os teores de N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes por meio de digestão nítrico-perclórica, exceto para o nitrogênio que foi realizado por meio da digestão sulfúrica.

As características de diagnose foliar foram determinadas de acordo com metodologia proposta por Lana et al. (2016), ressaltando que a representatividade dos materiais vegetais foram utilizadas amostras de 0,2 g.

3.7 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DO MILHO

Foram avaliados o número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, massa de mil grãos (g) e produtividade de grãos (kg ha^{-1}).

Para determinação das características produtivas do milho foram amostradas dez espigas por subsubparcela, coletadas aleatoriamente. As espigas foram secas a sombra e o número de grãos por fileira e o número de fileiras por espiga foram determinados perante contagem, em seguida as espigas foram debulhadas manualmente para a determinação da massa de mil grãos que foi estimada por meio da média da massa de oito subamostras de cem grãos por subsubparcela, corrigida para 13% de umidade.

Para a avaliação da produtividade da cultura foi realizada a colheita de cada subsubparcela separadamente e posteriormente determinado em balança a massa de grãos produzidos, corrigida para 13% de umidade, sendo os resultados expressos em kg ha^{-1} .

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os resultados dos parâmetros avaliados foram tabulados e submetidos à análise de variância (ANOVA), a 5% de significância para o teste F (Fisher). Quando detectados efeitos significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUÇÃO DE MASSA SECA VEGETAL

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) para a produção de massa seca para os cultivos de coberturas de inverno. Não houve efeito significativo para a interação.

Dentre as coberturas de solo, de inverno, a aveia preta e o nabo forrageiro são as mais cultivadas e indicadas para a região Sul do Brasil, e, de acordo com Silva et al. (2007), um dos motivos para o seu uso é o alto rendimento de matéria seca (MS), conforme pode ser evidenciado na figura 2.

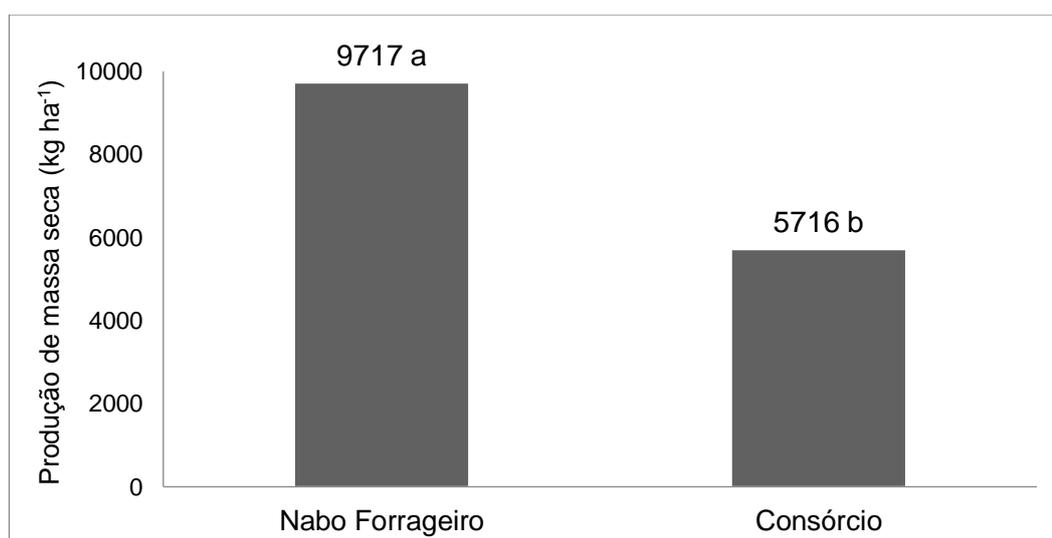


Figura 2 - Produção de massa seca de nabo-forrageiro e consórcio (nabo forrageiro + aveia preta) após aplicação de pó de rocha basáltica e enxofre elementar, em período de pleno florescimento.

O rendimento médio de matéria seca da parte aérea das plantas de cobertura do solo foi de 9.717 kg ha⁻¹ para o cultivo de nabo forrageiro solteiro, enquanto para o cultivo em consórcio a produção média foi de 5.716 kg ha⁻¹ (Figura 2).

O acúmulo de massa seca da parte aérea do nabo forrageiro foi superior ao acumulado pelo consórcio, contrapondo aos valores encontrados em outros trabalhos de pesquisa que obtiveram médias de rendimento inferiores para o cultivo de nabo forrageiro solteiro, como 5.480,5 kg ha⁻¹ (LIMA et al., 2007), 5.900 kg ha⁻¹ (SILVA, 2007) e 5.459 kg ha⁻¹ (LÁZARO et al., 2013). Todavia Kubota et al. (2005) reportaram a grande capacidade de produção do cultivo, obtendo valor de 10.700 kg ha⁻¹ de nabo forrageiro solteiro.

Corroborando com os resultados para com o cultivo em consórcio, Silva (2007) e Lázaro (2013), obtiveram valores semelhantes quanto a produção, com 4.700 kg ha⁻¹ e 5.458 kg ha⁻¹, respectivamente. Os elevados rendimentos de matéria seca da parte aérea das espécies de inverno, de modo geral, evidenciam o seu elevado potencial como adubação verde. Com essa estratégia de manejo, pode-se manter adequada quantidade de palha na superfície do solo, importante para a sustentabilidade do sistema semeadura direta, além de aumentar a disponibilidade de N para o milho em sucessão pelos processos de reciclagem.

Outro fator relevante para a maior produtividade de massa seca do nabo forrageiro em monocultivo se deve ao fato desta planta possuir um elevado potencial de aprofundamento radicular no perfil do solo, o que proporciona maiores condições de absorção hídrica principalmente em um período de pouca precipitação pluviométrica, sendo 117,6 mm acumulados da semeadura até a coleta da parte aérea das plantas, sendo que deste total as maiores precipitações ocorreram nos dias 31 de maio (66,2 mm) e 15 de julho (25 mm), evidenciando o longo intervalo com baixo índice pluviométrico.

Além disso nota-se o excelente aproveitamento hídrico e potencial produtivo das plantas de cobertura, visto que nos meses de cultivo houve apenas pluviosidade de 200 mm acumulados sendo que 66% ocorreu no mês inicial de implantação (maio), tendo apenas pequenas quantidades de chuvas nos meses posteriores até o final do ciclo onde foram manejadas. Caso a distribuição de chuvas fosse regular e de maior intensidade, provavelmente os fatores avaliados neste período poderiam sofrer interferências positivas.

As plantas de cobertura utilizadas possuem um agressivo sistema radicular que certamente favoreceram a busca hídrica em camadas mais profundas do perfil do solo e a obtenção de alta produção de massa seca, principalmente pela cultura do nabo forrageiro que possui um sistema radicular pivotante que pode atingir até 2 m de profundidade.

Esta espécie, de acordo com Derpsch e Calegari (1992), apresenta considerável resistência à seca, podendo produzir até 3.000 kg ha⁻¹ de massa de matéria seca desde que ocorra boa distribuição de chuvas até os 30 dias de cultivo, desenvolvendo-se em solos pouco férteis.

Os valores iniciais de produtividade de matéria seca dos tratamentos podem ser considerados suficientes para se obter boa cobertura do solo e, conseqüentemente, manutenção do Sistema de Plantio Direto, pois apresenta próximo ou mesmo superior aos 6.000 kg ha⁻¹ propostos por Nunes et al. (2006) para uma eficiente cobertura do solo.

Outra explicação para a elevada produtividade das plantas mesmo em um período de estresse hídrico, deve-se a utilização da rochagem rica em silício (Si), que estabelece muitos benefícios comprovados, como a maior tolerância a estresses nas plantas.

O aumento da disponibilidade de Si tem resultado em incrementos no crescimento e na produtividade, uma vez que o elemento pode atuar de forma indireta sobre alguns aspectos fotossintéticos e bioquímicos, e especialmente quando estas plantas estão submetidas a algum tipo de estresse, como déficit hídrico, estando associado a mecanismos de fechamento estomático e conseqüentemente regulando a perda de água pelas plantas (ABDALLA, 2011).

Gong et al. (2008), em estudo de alterações fotossintéticas mediante aplicação de Si em condições de estresse hídrico concluíram que o elemento proporcionou aumento na taxa de CO₂ assimilável pelas folhas mediante o estresse e aumento da concentração das enzimas relacionadas ao estresse hídrico, diminuindo impactos do estresse pela planta.

O Si, também pode estar associado a produtividade das plantas de cobertura em função dos valores significativos de umidade volumétrica do solo apresentados na figura 3.

A deposição de Si na parede celular das folhas, forma uma dupla camada protetora evitando grandes perdas de água nestas condições, devido à menor taxa de evapotranspiração da planta (MARSCHNER, 1995).

Isso pode ser evidenciado por Gao et al. (2006), que observaram relação positiva entre o depósito de Si nas folhas e a diminuição da taxa transpiratória para a cultura do trigo, submetidas a diferentes regimes hídricos, evidenciando melhor aproveitamento hídrico da água presente no solo. O que também foi evidenciado por Agarie et al. (1998) e Ma et al. (2001), onde a correlação entre o elemento e a disponibilidade hídrica foi dada como positiva e satisfatória.

Além disso, os vários nutrientes provenientes da dissolução do pó de rocha podem estar relacionados a manutenção adequada de outros nutrientes importantes ao desenvolvimento das plantas, como indicado por Silva et al. (2013), que avaliando microorganismo associados ao pó de basalto indicou extrações de K (potássio), Cálcio (Ca) e Ferro (Fe) provavelmente oriundos da dissolução de micas, feldspatos cálcicos, piroxênios e anfibólios do pó-de-basalto, respectivamente.

4.2 UMIDADE VOLUMÉTRICA E RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) para a umidade e resistência do solo a penetração para os cultivos de coberturas de inverno (Figuras 3 e 4).

A aveia preta possui alta capacidade de perfilhamento e ótima rusticidade. Em trabalhos como o de Martins et al. (2014), fica evidente que essa diferença de umidade pode perdurar também no período de decomposição da palhada visto que a aveia presente no consórcio proporciona uma cobertura do solo mais próxima ao ideal e menor velocidade de decomposição devido a maior relação C/N.

Foi verificado que na profundidade de 0,00-0,15 m ocorreu alteração na umidade em função da utilização das plantas de cobertura, sendo que a cultura do consórcio proporcionou aumento da umidade em 1,7% quando comparada com a área sem cobertura (Figura 3).

Ziech et al. (2015), verificaram que ao final do ciclo do milho aos 122 dias ainda apresentava 41% dos resíduos da aveia preta em cobertura da MS remanescente (1.242 kg ha^{-1}).

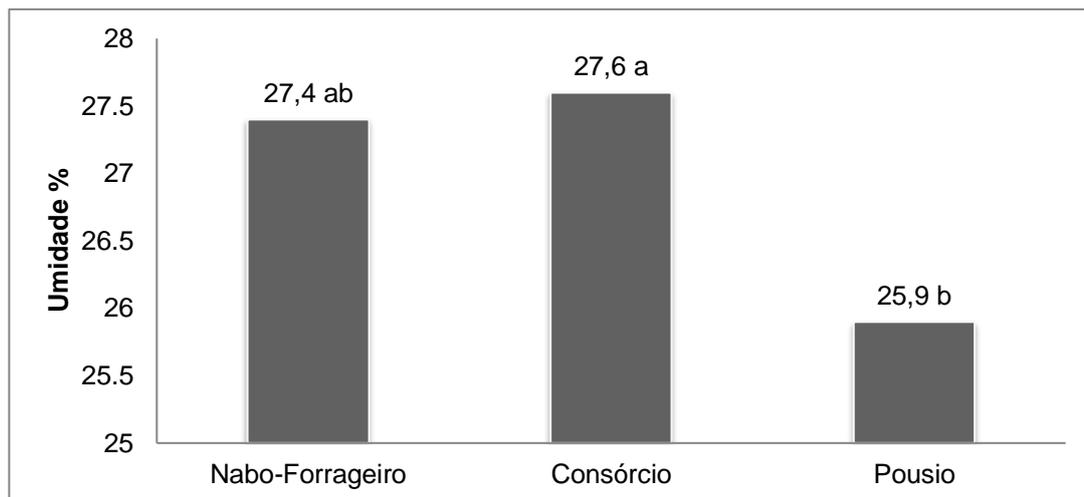


Figura 3 – Umidade volumétrica do solo sob sistema de diferentes coberturas de solo, após aplicação de pó de rocha basáltica e enxofre elementar.

O nabo forrageiro em cultivo solteiro também proporcionou acréscimo de umidade em relação a área sem cobertura em 1,5%, porém não diferindo estatisticamente da mesma. Ferrari et al, (2014) também evidenciaram diferenças significativas na umidade para o nabo forrageiro em maiores profundidades do perfil do solo (45-60 cm), o que ocorre devido seu sistema radicular pivotante profundo, gerando também canais que melhoram a infiltração hídrica após a decomposição de suas raízes.

Outro fator que pode ter contribuído para os incrementos de umidade do solo nas áreas mantidas com cobertura vegetal é a contribuição do sistema radicular destas plantas que proporcionam melhorias na estrutura do solo, aumentando a infiltração e armazenamento de água, reduzindo a evaporação superficial e favorecendo os fluxos ascendentes de água das camadas mais profundas para as camadas mais superficiais, tendo uma melhor conservação da umidade e melhor regulagem da temperatura (FRANCHINI et al., 2009).

Llanillo et al. (2006), enfatizam que os resíduos de coberturas verdes que permanecem sobre a superfície atuam também na conservação da água pela redução das taxas de evaporação consequente do aumento da temperatura pela radiação solar.

Costa et al. (2003), após 21 anos de manejo em um Latossolo Bruno, concluíram que o solo em plantio direto com rotação verde incluindo o nabo forrageiro e aveia branca aumentou em 26 % o conteúdo de água volumétrica do que o solo em plantio convencional na camada de 0,00-0,10 m.

Manter o conteúdo de água no solo em níveis satisfatórios garante o sucesso produtivo das plantas, visto que muitos nutrientes obtêm sua movimentação no solo até as raízes através da água e em períodos de pouca pluviosidade, como ocorrido nos meses de cultivo das plantas de cobertura deste trabalho, demonstra a capacidade responsiva que estas plantas possuem no aproveitamento hídrico, além de proporcionar um microclima com menor evaporação direta do solo e ainda incrementar matéria orgânica em potencial, que aumentará o reservatório de água disponível no solo para as culturas subsequentes (ARAÚJO et al., 2004).

Além disso, a água é o principal agente do intemperismo químico e conseqüentemente sua escassez inicial gerou efeito negativo para com a dissolução do pó de rocha utilizado, que não demonstrou efeito significativo nos fatores avaliados. Assim, tem-se que a baixa precipitação hídrica interfere não somente na umidade, mas na dinâmica nutricional, como a ciclagem e movimentação de nutrientes no solo.

A avaliação da resistência mecânica do solo à penetração foi realizada com umidade volumétrica média do solo próximo à 20%, mostrando diferenças significativas entre os cultivos (Figura 4). O nabo forrageiro diferiu da área sem cobertura na profundidade de 0,00-0,20 m, enquanto o cultivo em consórcio diferiu nas camadas de 0,00-0,05 e 0,10-0,20 m.

Os valores foram agrupados em médias a cada 0,05 m conseguindo identificar com precisão os níveis de compactação do solo, ficando evidenciado um grande grau de compactação na área sob solo descoberto na camada mais superficial.

Para a RP foi possível evidenciar as diferenças obtidas entre os sistemas de cobertura de solo, obtendo os maiores valores para a área sem cobertura, com média de 4,9 MPa na camada de 0,00-0,20 m, enquanto para os sistemas em consórcio e nabo forrageiro foram respectivamente de 2,7 e 2,4 MPa.

Cabe salientar que para as condições de solo argiloso sob sistema de plantio direto consolidado onde o estudo foi conduzido, os valores de RP para os cultivos de nabo forrageiro e consórcio ficaram abaixo do limite crítico de 3,5 MPa proposto por Moraes et al. (2014). Os autores enfatizam que o limite crítico de 2,0 MPa amplamente utilizado para caracterizar a qualidade física do solo é mais apropriado para qualificação de sistemas de plantio convencionais, enquanto o valor

de 3,0 MPa é melhor recomendado para sistemas de cultivo mínimo com escarificação.

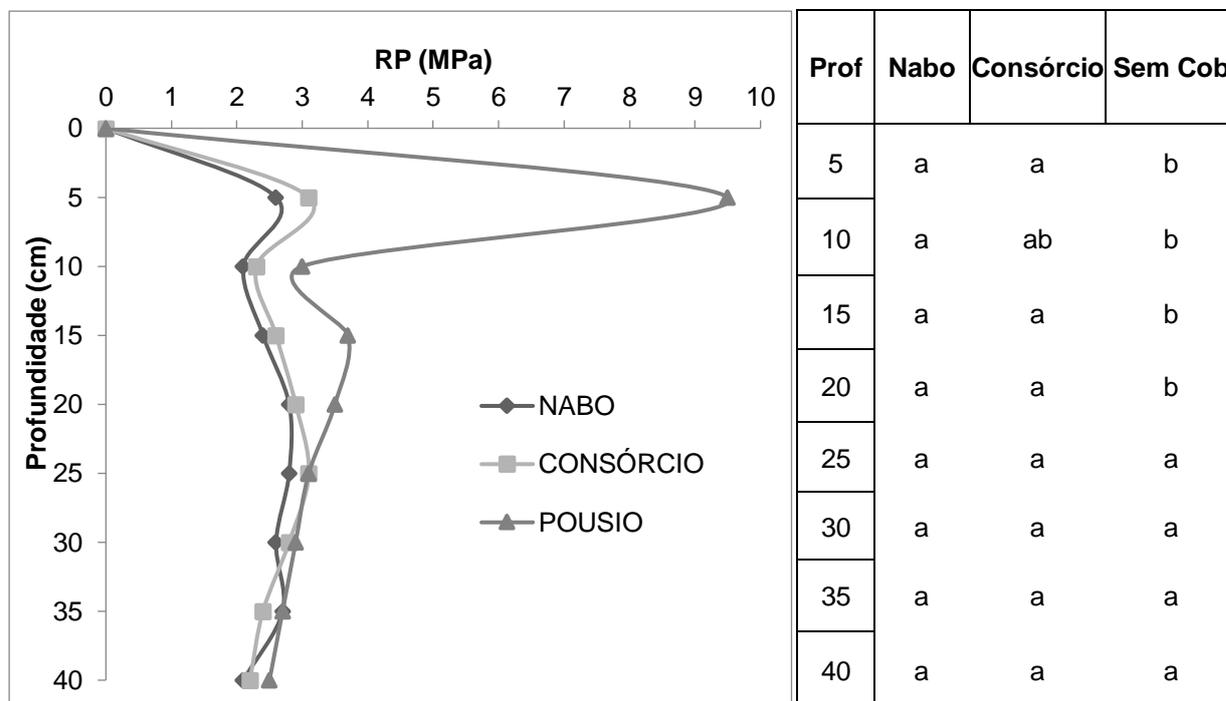


Figura 4 - Valores médios de resistência a penetração em Latossolo Vermelho Eutroférico, em diferentes profundidades, após cultivo de adubos verdes de inverno com aplicação de pó de rocha basáltica e enxofre elementar. MCR – 2019.

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna dentro da mesma profundidade não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Assim como Lanzanova (2010), no momento da avaliação da RP, o solo mantido sem cobertura apresentou o menor conteúdo de água na camada superficial (0,00-0,10 m), o que pode ter correlacionado com a geração de uma camada de extremo adensamento das partículas do solo encontrada no presente trabalho (9,5 MPa). A importância de se conhecer a umidade deve-se ao fato de existir uma relação inversa entre as duas características, sendo que o maior conteúdo de água foi encontrado no cultivo em consórcio e é decorrente da cobertura do solo proporcionada pelas plantas, que gerou um obstáculo ao processo evaporativo direto para a atmosfera no período de estresse hídrico.

Isso foi diagnosticado por Franchini et al. (2009), inferindo que a existência de uma camada compactada que confine o desenvolvimento radicular a 20 cm de profundidade limita o volume de água disponível ao valor de 36 mm, o que restringe à demanda hídrica da cultura para poucos dias.

É importante salientar que a utilização de coberturas vegetais maximiza as taxas de infiltração de água no perfil do solo, devido a maior rugosidade da superfície, além de ser plenamente vital para evitar a formação de crostas superficiais como diagnosticado na área sem cobertura do solo avaliada.

Além disso, estudos realizados em solo compactado sob o SPD, mostraram que outros fatores problemáticos podem ser agravados, como a perda de água por escoamento superficial, que podem chegar a 70%, considerando uma chuva de 64 mm h⁻¹ (VOLK, 2006).

4.3 TEORES NUTRICIONAIS DAS PLANTAS DE COBERTURA E DA CULTURA DO MILHO

Para os teores nutricionais das plantas de cobertura, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os cultivos de coberturas de inverno. Não houve efeito significativa para as interações.

Observa-se que o consórcio de aveia preta com nabo forrageiro apresentou incremento nos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), manganês (Mn), ferro (Fe), e cobre (Cu) em 21%, 19%, 89%, 334% e 86% respectivamente, em comparação ao monocultivo com nabo forrageiro (Tabela 4).

Tabela 4 - Teores nutricionais das plantas de cobertura em função da espécie, aplicação de pó de rocha e de enxofre elementar

Tratamento	N	P	K	S	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
Consórcio	23 a	1,9 a	22,0 ^{ns}	14,2 ^{ns}	19,3 ^{ns}	2,6 ^{ns}	98,3 a	1023 a	10,4 a	22,7 ^{ns}
Nabo	19 b	1,6 b	23,4	13,2	15,8	2,8	52,0 b	235,8 b	5,6 b	22,8
CV (%)	12,6	4,9	31,5	19,5	20,5	24,4	28,9	36,2	17,6	36,0
Com pó	21 ^{ns}	1,8 ^{ns}	23,3 ^{ns}	14,8 ^{ns}	18,4 ^{ns}	2,8 ^{ns}	77,5 ^{ns}	651,6 ^{ns}	8,1 ^{ns}	23,9 ^{ns}
Sem pó	21,2	1,8	22,1	12,6	16,7	2,6	72,8	607,4	8,6	21,4
CV (%)	19,0	15,3	21,5	24,7	23,4	30,6	33,8	22,8	6,1	10,5
Com S	21 ^{ns}	1,7 ^{ns}	22,5 ^{ns}	13,7 ^{ns}	16,9 ^{ns}	2,8 ^{ns}	73,2 ^{ns}	662 ^{ns}	8,3 ^{ns}	23,4 ^{ns}
Sem S	21,4	1,7	22,9	13,7	18,1	2,6	77,1	597	8,0	21,9
CV (%)	13,0	17,6	18,1	34,1	22,1	20,9	18,7	23,5	20,0	11,2

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, dentro de cada nível de tratamento, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns}: não significativo pelo teste de Tukey.

Já em relação ao acúmulo total de nutrientes o nabo forrageiro foi significativo para maior parte dos nutrientes analisados, exceto para o Fe que foi

maior no cultivo em consórcio e para o Mn e Cu que não apresentou diferença estatística entre os cultivos (Tabela 5).

Tabela 5 - Acúmulo total de nutrientes das plantas de cobertura em função da espécie, aplicação de pó de rocha e de enxofre elementar

Tratamento	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
	kg ha ⁻¹								g ha ⁻¹	
Consórcio	131 b	11 b	126 b	81 b	110 b	15 b	17 a	1,7 ^{ns}	174 ^{ns}	390 b
Nabo	186 a	15 a	227 a	129 a	153 a	27 a	6,9 b	1,5 ^{ns}	178 ^{ns}	659 a
CV (%)	16,6	6,7	38,1	27,4	18,8	35,7	37,6	31,3	19,2	34,8
Com pó	157 ^{ns}	13 ^{ns}	179 ^{ns}	111 ^{ns}	136 ^{ns}	21 ^{ns}	13 ^{ns}	1,6 ^{ns}	174 ^{ns}	553 a
Sem pó	160 ^{ns}	13 ^{ns}	175 ^{ns}	99 ^{ns}	127 ^{ns}	21 ^{ns}	12 ^{ns}	1,6 ^{ns}	179 ^{ns}	496 b
CV (%)	19,5	15,9	25,6	29,8	25,2	34,7	20,4	30,5	8,9	7,4
Com S	156 ^{ns}	13 ^{ns}	174 ^{ns}	103 ^{ns}	127 ^{ns}	22 ^{ns}	13 ^{ns}	1,5 ^{ns}	178 ^{ns}	544 ^{ns}
Sem S	161 ^{ns}	13 ^{ns}	179 ^{ns}	107 ^{ns}	136 ^{ns}	20 ^{ns}	12 ^{ns}	1,6 ^{ns}	175 ^{ns}	505 ^{ns}
CV (%)	13,4	18,1	20	35,4	21,9	22	21	15,6	18,3	11,7

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna, dentro de cada nível de tratamento, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns}: não significativo pelo teste de Tukey.

Em relação aos macronutrientes, o nabo forrageiro apresentou acúmulo total significativo para N, P, K, S, Ca e Mg em relação ao consórcio (Tabela 5), com valores semelhantes aos obtidos por Heinz et al. (2011), que obteve acúmulo de 143,6 kg ha⁻¹ de N, 20,1 kg ha⁻¹ de P, 235 kg ha⁻¹ de K, 19,1 kg ha⁻¹ de Mg, diferindo apenas para Ca e S, com acúmulo de 33,8 kg ha⁻¹ e 34,0 kg ha⁻¹, respectivamente.

Visto que a produção de massa seca para este estudo foi de 70% superior no cultivo de nabo forrageiro (Figura 2), os valores totais acumulados foram menores no cultivo em consórcio, com apenas significância para o Fe, todavia Wolschick et al. (2016), trabalhando com aveia preta, nabo forrageiro, ervilhaca e consórcio, obtiveram valores significativos de acúmulo total de nutrientes da parte aérea no cultivo em consórcio para nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio obtendo valores de 211,2 kg ha⁻¹ de N, 30,5 kg ha⁻¹ de P, 315,3 kg ha⁻¹ de K e 53,7 kg ha⁻¹ de Mg para o consórcio e 74,6 kg ha⁻¹ de N e 10,5 kg ha⁻¹ de P, 112,8 kg ha⁻¹ de K e 35,6 kg ha⁻¹ de Mg para o cultivo com nabo forrageiro solteiro.

Assim, os maiores valores acumulados pelo cultivo de nabo forrageiro se justificam pela alta produção de massa seca de parte aérea e pelos maiores teores destes elementos no tecido vegetal. Os teores de Ca e S não apresentaram o mesmo comportamento de acúmulo com os trabalhos comparativos, sendo bem mais eficientes.

Embora o nabo forrageiro não seja uma leguminosa, essa cultura também apresenta maior taxa de decomposição dos resíduos culturais em relação às gramíneas. Contudo, pode se assemelhar às gramíneas quanto à habilidade em absorver os nutrientes do solo, inclusive o N mineral (GIACOMINI et al., 2004) e P, produzindo grande quantidade de fitomassa, porém com liberação mais rápida (DERPSCH et al., 1985).

Souza e Guimarães (2013), observaram maiores teores de N no tecido vegetal de leguminosa solteira e no consórcio entre gramínea e leguminosa em comparação à gramínea solteira, além de maiores teores de K no consórcio e na gramínea solteira. Os mesmos autores ressaltam que os teores nas plantas fornecem informações qualitativas importantes, sendo um indicador para determinar quanto de cada nutriente das plantas de cobertura poderá ser aportado ao solo.

Santos et al. (2009) e Silva et al. (2012), relatam que a relação C/N de um material vegetal está relacionada principalmente a liberação de N, assim quanto maior o teor de celulose, hemicelulose, lignina e polifenóis mais lenta é a decomposição da fitomassa, o que é verificado nas plantas da família poaceae, e quando associa-se plantas de maior relação C/N, como no decorrente consórcio, tem-se uma menor velocidade de decomposição e liberação de nutrientes, porém propicia maior persistência da cobertura nos sistemas de plantio de direto.

Esse resultado é vantajoso, pois os resíduos sobre o solo contribuem para a manutenção de umidade e a proteção contra o efeito erosivo e supressão de plantas espontâneas (FAVARATO et al., 2014).

Segundo o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017), o N é o macronutriente exigido em maior quantidade pela cultura do milho, sendo normalmente o que mais limita a produtividade de grãos.

Segundo Crusciol et al. (2008), assim como em outros trabalhos deste mesmo autor avaliando a decomposição e a liberação de macronutrientes dos resíduos vegetais, a aveia preta e nabo forrageiro obtiveram elevada taxa de liberação de N nos primeiros dias após o manejo da fitomassa, chegando a liberar 65% do total de N aos 35 dias após o manejo (DAM).

Sendo assim nota-se o grande potencial de ciclagem de nutrientes das adubações de cobertura, além de que o fornecimento de N nos primeiros estádios de desenvolvimento da cultura do milho é essencial para a obtenção de produção satisfatória, além de colaborar para a redução dos custos de produção,

principalmente, pela economia de fertilizantes nitrogenados em cobertura, tendo até mesmo a possibilidade de supressão inicial na implantação da cultura em condições de adequada manutenção de matéria orgânica no solo (MEDRADO et al., 2011).

Os rendimentos de massa seca, estão diretamente relacionados ao acúmulo total de nutrientes e sua disponibilização para os cultivos posteriores. Assim vale abordar as interações entre a absorção e disponibilização destes nutrientes, como no estudo de Rosolem et al. (2003), que destaca que a rápida taxa de liberação do K pelos resíduos vegetais deve-se ao fato de que o cátion K^+ não é metabolizado na planta, formando ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade.

Nesse sentido, Boer et al. (2007) destacam que o K representa o nutriente para o qual o prazo de implantação de culturas em sucessão deve ser minimizado, com vistas à diminuição de perdas, devido a sua rápida liberação. Na cultura da aveia, a rápida liberação de K foi observada por Giacomini et al. (2003), o qual ressalta que ocorre em função do K ser um elemento que não está associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal.

Para o P, segundo Crusciol et al. (2008), a rápida liberação no início do período de decomposição está relacionada à perda de P solúvel em água. A escolha de espécies vegetais que apresentam alta capacidade de acúmulo de P na parte aérea das plantas e posterior liberação para o solo via mineralização dos compostos orgânicos consiste em uma importante estratégia para aumentar a disponibilização de P para as plantas, pois esse elemento no solo pode se transformar em formas não lábeis via processo de fixação.

Segundo Marschner (2012), para o Mg boa parte também é rapidamente liberada, pois não faz parte de constituintes celulares e o restante é liberado posteriormente de forma gradual, pois faz parte de compostos estruturais das plantas. O mesmo autor enfatiza que a palhada de nabo solteiro apresenta menor persistência em relação ao consórcio com gramíneas, estando essa degradação diretamente relacionada às condições de umidade e de temperatura que atuam sobre a atividade dos organismos decompositores, ou seja, quanto maiores a temperatura e a umidade, maior a fração da fitomassa degradada.

Em comparação com vários trabalhos como o de Heinz et al. (2011), verificou-se que a cinética de liberação de nutrientes acumulados nos resíduos culturais foi semelhante a dinâmica de decomposição da fitomassa, apresentando uma fase inicial rápida seguida de outra mais lenta. Os autores observaram que o

nabo forrageiro proporcionou rápida taxa de liberação desses macronutrientes até aproximadamente 15 DAM, seguida de redução contínua, e posterior tendência à estabilização em valores próximos a zero.

A mesma tendência foi observada nos trabalhos de Ceretta et al. (2002) e Crusciol et al. (2008) trabalhando com decomposição de palhada de cultivos invernais, obtendo expressiva liberação de nutrientes até os 30 DAM.

Ao comparar os teores iniciais dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na massa da cultura do nabo forrageiro com os valores do consórcio, observa-se que o nabo apresentou menor teor para alguns nutrientes, porém apresentou maior acúmulo total de nutrientes em relação ao consórcio. Tal fato pode ser atribuído à elevada capacidade de ciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo, cálcio e enxofre tornando o nabo uma importante espécie para fazer parte de esquemas de rotação de culturas (OHLAND et al., 2005).

Segundo Vitti et al. (2006), a maior parte do S do solo está na forma orgânica, e a disponibilização desse nutriente às plantas se dá pela mineralização da MO do solo, realizada por microorganismos. Assim sendo, além das menores taxas de decomposição dos resíduos vegetais de monocotiledôneas, com liberação mais lenta do S da biomassa, as menores quantidades de N dos resíduos de gramíneas fazem com que a mineralização da MO do solo seja menor, acarretando numa menor disponibilização de S às plantas.

Através dos resultados obtidos com elevadas concentrações de N e S pelas plantas, nota-se que, com temperaturas e umidades adequadas estas coberturas possuem uma alta capacidade de liberação de S para solução do solo. Principalmente pela maior atividade microbiana em restos vegetais de acentuada concentração de N, o que pode ser visualizado nos resultados da análise foliar do milho que obteve valores adequados para esses nutrientes (Tabela 5).

Segundo Stipp e Casarin (2010), em geral, a quantidade requerida de S pelas plantas aproxima-se da exigência nutricional em P, podendo em algumas culturas até superá-la, entretanto, no presente trabalho foi verificado que a absorção de S superou em alto nível a absorção de P (Tabela 4), podendo estar ligada as características do solo, visto que solos argilosos tendem a apresentar maior adsorção de P do que de S. A alta quantidade extraída pelas plantas utilizadas, cerca de 13,7 g kg⁻¹ de matéria seca de S, evidencia a grande capacidade de ciclagem e aporte deste elemento na camada superficial do solo.

Sabe-se que uma das grandes dificuldades para o S é mantê-lo em sua forma de sulfato na camada superficial do solo em quantidades adequadas a cultivos que demandam maiores exigências como o milho e também que as plantas de cobertura utilizadas possuem um sistema radicular profundo e agressivo, que possibilita a ciclagem deste nutriente das camadas mais profundas do solo, onde a maioria dos cultivos comerciais vigentes obtêm pouco acesso devido sistemas radiculares de menor densidade.

Isso fica evidente na interpretação de necessidade de extração e acúmulo de enxofre nos grãos da cultura do milho. Segundo Coelho (2006), a cultura do milho necessita extrair em média 23 kg ha⁻¹ de S, assim comparando a média acumulada pelas plantas de 105 kg ha⁻¹ de S, e pela possível extração, teria uma necessidade de liberação de 21,9% do S acumulado, o que seria evidentemente possível de acordo Crusciol et al. (2005), onde obtiveram 50% de liberação de Ca e S da palhada de nabo forrageiro aos 16 DAM.

A família Brassicaceae a qual o nabo forrageiro pertence, são grandes extratoras de nutrientes do solo (MOTA et al., 2009). Dentre os macronutrientes, N e P são os que mais interferem na produtividade dessas plantas, mas elas também são exigentes em Ca e S, sendo o K e o N retirados do solo em maiores quantidades (SHARMA, 2008).

Apesar do Ca ser um elemento que faz parte da composição estrutural das células (como parede celular), além de estar envolvido na regulação metabólica, conferindo assim maior dificuldade de ser mineralizado da palhada e liberado para o solo, Favarato et al. (2014) em estudo com leguminosa solteira e em consórcio com aveia preta também obtiveram tempo de ½ vida para o Ca antes dos 30 DAM, assim diante a elevada quantidade média acumulada de 132 kg ha⁻¹ pelas plantas de cobertura e a extração média de 33 kg ha⁻¹ pela cultura do milho, tem-se um grande potencial de ciclagem deste elemento.

Viola et al. (2013) avaliando o acúmulo e a liberação de nutrientes de plantas de cobertura de solo (nabo forrageiro, ervilhaca comum, ervilha forrageira e tremoço) verificaram que o nabo foi uma das espécies que teve os maiores acúmulos de cálcio, obtendo valores próximos a 80 kg ha⁻¹.

Este elevado acúmulo de Ca, deve-se a presença da espécie brassica na composição da palhada, uma vez que são normalmente mais ricas em Ca que as gramíneas. Isso acontece devido às poaceae apresentarem baixa capacidade de

troca de cátions na raiz (CTC de raiz), e os solos, principalmente os que apresentam maior CTC no manejo orgânico, adsorvem mais fortemente nos sítios de troca cátions de maior valência ($Al^{3+} > Ca^{2+} > K^+$) (OLIVEIRA et al., 2009).

Portanto, as gramíneas seriam mais eficientes na absorção de cátions monovalentes (K^+) do solo, comparado com dicotiledôneas, de forma que a competição dos sítios de ligação poderiam interferir negativamente na absorção de cálcio, caracterizando o antagonismo entre os nutrientes (MARSCHNER, 2012).

A umidade do solo proveniente das precipitações pluviais de maior volume ocorridas durante o desenvolvimento da cultura do milho (Figura 1) favoreceu a decomposição da massa seca, fato também relatado por Calonego et al. (2012), que também pode ter ocorrido neste estudo.

Segundo Correia et al. (2009) o aumento nos teores de umidade do solo foi o que mais influenciou o incremento da atividade microbiana. Grugiki et al. (2017) relatam que o período de menor ocorrência de chuvas influenciou negativamente a atividade microbiológica do solo, reduzindo a taxa de decomposição do material vegetal.

É importante salientar que os tratamentos com cobertura vegetal não receberam nenhuma adubação química para implantação, e os dados obtidos demonstraram a importância da utilização de cobertura vegetal ou em consórcio para a ciclagem biológica.

Os valores encontrados no estudo, apesar de apresentarem semelhanças com os teores de outros trabalhos, destacam a importância de avaliações locais, já que existe forte influência das condições edafoclimáticas no desenvolvimento das plantas de cobertura que, por sua vez, influenciam no acúmulo e extração diferenciada de nutrientes, provavelmente, estando associada também às variações na fertilidade do solo entre experimentos (PRIMAVESI et al., 2002).

Com relação aos micronutrientes, não se tem pesquisas que tratam das composições destes elementos nas plantas de cobertura utilizadas. Suas verificações são em maior parte decorrentes de estudo de concentrações a nível de solo e correções foliares nas culturas de interesse ou ainda via reposição por adubação.

Porém vale destacar que se observou significância para o consórcio, que acumulou respectivamente 89, 334 e 86% a mais de Mn, Fe e Cu em relação a área com nabo forrageiro (Tabela 5). Verificou-se também que o aumento na extração de

N estabelece sinergismo na extração de outros nutrientes como S, Mn, Cu, Fe e Zn (CAMPBELL, 2007), o que certamente relaciona os valores encontrados neste estudo, visto que o consórcio acumulou maior quantidade de N em g kg^{-1} de matéria seca.

A extração de micronutrientes pelas plantas corrobora com Castellane et al. (1999), em que as plantas de modo geral obedecem a seguinte ordem de acúmulo $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu} > \text{Mo}$.

Apesar de não haver resposta indicativa ao uso do pó de basalto, autores como Melfi e Levi (1971) já apontavam o Ca como um dos elementos mais facilmente liberados da estrutura cristalina dos pós de rocha, visto que o Ca está contido nas vesículas de carbonatos e nos feldspatos calco-sódicos, que são de fácil intemperização.

Em relação ao magnésio, Nichele (2006) e Silva (2007) avaliaram o efeito da aplicação do pó de basalto em doses crescentes até 10 t ha^{-1} , não verificando diferenças significativas dos teores de Mg entre os tratamentos, mas ambos observaram aumentos nos teores de magnésio com o incremento da dose do pó de basalto, além de poder observar que a liberação deste nutriente pelo pó de basalto é muito baixa.

Para Melo e Perez (2009), o intemperismo de certos minerais do solo e a disponibilidade de alguns cátions, especialmente K^+ e Mg^{+2} , pode diminuir pela neoformação de minerais, ligação em óxidos de Fe e Al e por isso não gerar efeitos a curto prazo notáveis, além de que diferenças na liberação de Ca e Mg entre pós de rocha com iguais teores totais desses elementos também podem estar relacionadas a esses fenômenos de indisponibilização.

Em estudo do pó de rocha em consórcio com aveia e nabo forrageiro, Kruker (2019) observou incrementos no conteúdo de P no solo indicando que, apesar da rocha apresentar conteúdos relativamente baixos de P_2O_5 contribuiu na liberação de quantidades de fósforo durante o período de cultivo. Esse resultado também pode estar de acordo com a maior concentração de P foliar obtida na presença de rochagem no consórcio no presente estudo, que por sua vez pode estar ligado diretamente pela liberação no solo ou mesmo no deslocamento do P adsorvido nos coloides por seu potencial reativo.

Além disso, essa maior quantidade de P absorvida pelo consórcio (Tabela 4), em sua maior parte pode estar relacionada à presença dos teores de silício (Si)

presentes no pó de rocha, visto que este elemento desloca o P dos sítios de adsorção (ou ocupa-os preferencialmente) na argila e nos sesquióxidos, reduzindo assim, sua adsorção, que no caso de solos argilosos é ainda maior (GRASSI FILHO, 2003).

Silva (2007) avaliou a aplicação de pó de basalto em solo de textura muito argilosa e observou aumentos nos teores de fósforo disponível, e quando associa-se a plantas que possibilitam altos teores acumulados aumenta a resposta de ciclagem de nutrientes em cobertura como foi evidenciado.

Tal resultado está diretamente relacionado ao uso de pós de rocha em combinação com modificações biológicas naturais, sendo uma alternativa para disponibilizar nutrientes às plantas (MOHAMMED et al., 2014).

Para as condições nutricionais do milho, foi verificada interação significativa entre as plantas de cobertura, aplicação de pó de rocha e aplicação de enxofre elementar sobre os teores de Mg e Fe. Também foi verificada efeito significativo das plantas de cobertura de forma isolada sobre os teores de N e Mn (Tabela 6).

Tabela 6 - Teores foliares de nutrientes de plantas de milho em sucessão ao cultivo com plantas de cobertura associadas a aplicação de pó de rocha e enxofre elementar

Tratamento	N	P	K	S	Ca	Mn	Cu	Zn
	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹				
Consórcio	29,7 ab	3,0 ^{ns}	14,8 ^{ns}	1,4 ^{ns}	3,7 ^{ns}	68,6 ab	20,2 ^{ns}	12,4 ^{ns}
Nabo-forrageiro	31,3 a	2,9	16,2	1,6	4,4	66,6 b	22,1	16,6
Sem cobertura	27,8 b	2,9	14,8	1,4	5,0	81,9 a	25,0	12,7
CV (%)	9,2	15,5	15,3	28,8	29,6	17,5	22,9	47,0
Com pó	29,1 ^{ns}	2,9 ^{ns}	16,4 ^{ns}	1,5 ^{ns}	4,1 ^{ns}	71,1 ^{ns}	22,1 ^{ns}	12,7 ^{ns}
Sem pó	30,1	2,9	15,2	1,6	4,6	73,6	22,8	14,9
CV (%)	11,3	12,7	14,6	21,4	18,2	7,5	11,8	18,2
Com S	29,8 ^{ns}	2,9 ^{ns}	15,4 ^{ns}	1,5 ^{ns}	4,4 ^{ns}	73,3 ^{ns}	22,1 ^{ns}	13,6 ^{ns}
Sem S	29,5	2,9	16,1	1,5	4,3	71,4	22,7	14,1
CV (%)	7,4	6,8	16,1	19,5	18,7	15,7	9,0	22,3

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna, dentro de cada nível de tratamento, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. ^{ns}: não significativo ao teste de Tukey.

Vale destacar que os resultados obtidos para o acúmulo de P na parte aérea das plantas de cobertura também explicam os dados obtidos via foliar no milho, que obteve praticamente uma constante absorção de P independente dos tratamentos a qual a cultura foi submetida, sendo que a absorção média acumulada foi de 2,9 g kg⁻¹

¹ de P (Tabela 6), encontrando-se dentro da faixa adequada para a cultura mesmo trabalhando em um Latossolo com alto teor de argila de fácil adsorção sem presença de adubação de base.

Em função desses resultados, é possível inferir que as plantas de milho estavam nutricionalmente bem equilibradas e que a aplicação do pó de rocha e do enxofre não proporcionaram efeitos negativos ou desequilíbrios nutricionais que possam ter influenciado nos fatores produtivos.

Todavia as coberturas de solo influenciaram na concentração de Mn e N com maiores acúmulos foliares na área sem cobertura e com nabo forrageiro, respectivamente.

Deve-se ressaltar que os teores da maioria dos nutrientes em todos os tratamentos estavam dentro das faixas consideradas adequadas para a cultura do milho, conforme o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017), que são: 27-35 g kg⁻¹, 1,9-4,0 g kg⁻¹, 17-35 g kg⁻¹, 2,3-8,0 g kg⁻¹, 1,5-5,0 g kg⁻¹, 1,5-3,0 g kg⁻¹, 20-200 g kg⁻¹, 6-20 g kg⁻¹, 20-250 g kg⁻¹, 15-100 g kg⁻¹ respectivamente, para N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Fe e Zn.

Quanto à concentração de K na parte aérea das plantas de milho, apesar de não ter evidenciado um valor foliar muito abaixo da faixa adequada, o K é segundo maior nutriente demandado pela cultura do milho e sua inadequada disponibilidade pode interferir diretamente nos fatores produtivos.

Isso pode ser verificado no trabalho de Soratto e Crusciol (2013), que avaliando a eficiência de rocha moída juntamente com doses de KCl, obtiveram significância com relação ao número de grãos por espiga e a massa de mil grãos.

Esse processo de menor acúmulo possivelmente ocorre quando dois elementos competem pelo mesmo sítio ativo do carregador, de forma que a concentração de Ca e Mg no meio pode inibir parcialmente a absorção de K (MALAVOLTA et al., 1997).

Para Rosolem (2005), dada as condições de elevada acidez e baixa capacidade de troca de cátions da grande maioria dos solos brasileiros, as interações mais importantes envolvem K, Ca e Mg. Conforme descrito em Prado (2008), o incremento nos teores foliares de K reduzem a absorção de Ca e Mg, mas ainda assim asseguram níveis de produção satisfatórios.

Os resultados obtidos por Souza (2014), trabalhando com diferentes tratamentos com agromineral silicatado mostrou que a maior absorção de K, em

função das doses crescentes do agromineral, inibiu a absorção e concentração de Ca e Mg no tecido vegetal do milho. Todavia no presente trabalho para plantas de milho, a concentração desses nutrientes situou-se próxima para o K e dentro da faixa para o Ca e Mg aos valores de referência encontrados na literatura.

Esses resultados demonstram que o agromineral têm efeitos potenciais como fonte de potássio, de cálcio e de magnésio. Mas, em se tratando de um material de composição multimineral e multinutriente, os efeitos positivos do agromineral também podem estar relacionados a outros elementos de nutrição das plantas.

De qualquer maneira, reconhece-se que os efeitos do agromineral extrapolam as respostas normalmente observadas com os fertilizantes solúveis, especialmente pelos benefícios aditivos, como o melhor equilíbrio nutricional e o condicionamento do solo, de forma que na dose de 12 t ha⁻¹ não foi evidenciado desequilíbrios nutricionais.

Para o N, atingiu-se o nível de suficiência adequada para a cultura. Com relação a não supressão da adubação nitrogenada para o milho, apesar das plantas de cobertura obterem um alto acúmulo em sua matéria seca, sua ausência afetaria principalmente o tratamento sem cobertura vegetal, que poderia sofrer interferências relativas a falta deste nutriente no desenvolvimento da cultura, além de que no início do processo de decomposição de plantas de cobertura com maior relação C/N, como no caso do consórcio com aveia preta, ocorre alta imobilização de nitrogênio no solo e redução de sua disponibilidade para a cultura em sucessão.

Este fato pode estar intimamente relacionado a maior quantidade de N encontrada no milho sob a área de plantio do nabo forrageiro em relação a área sem cobertura. Apesar da aplicação de ureia em cobertura para os tratamentos, o elevado acúmulo e rápida liberação de nitrato na solução do solo pela matéria orgânica do nabo forrageiro sob um maior período do que a adubação mineral, garante uma maior fonte de N para a cultura nos períodos de maior necessidade.

O acúmulo de 31,3 g kg⁻¹ de N no tecido foliar do milho demonstra a elevada necessidade deste nutriente para a cultura se compararmos aos potenciais de acúmulo da adubação verde, sendo que o milho acumulou cerca de 33% de N a mais do que as plantas de cobertura em seu tecido foliar (Tabela 5).

Em caráter comparativo para o P, podemos observar que Pulz et al. (2008) verificaram que a utilização de material silicatado proporcionou maior disponibilidade

de P e Si no solo e maior absorção destes elementos, resultando em aumento da produtividade e melhor arquitetura das plantas.

Como já mencionado, esta característica do pó de rocha utilizado pode ter influenciado em aspectos de liberação e absorção do P pela cultura do milho que não obteve valores fora da faixa adequada para a cultura mesmo em um solo argiloso com alta capacidade de retenção de P por adsorção coloidal.

Com relação aos micronutrientes, assim como para as plantas de cobertura, pouco se tem pesquisado das composições dos teores destes elementos para o milho para com os tratamentos deste estudo. Suas verificações são em maior parte decorrentes de estudos de concentrações a nível de solo, utilização de fontes concentradas ou ainda supressão de alguns micronutrientes e verificações de seus efeitos. Pouco se sabe a respeito destes elementos a nível de utilização de rochagem e plantas de cobertura, assim buscou-se verificar as faixas adequadas e os potenciais fisiológicos para o milho.

Os micronutrientes apresentaram diferenças significativa apenas para o Mn quanto ao tipo de cobertura de solo, e o Fe apresentou interação tripla entre os tratamentos, semelhante aos dados obtidos para o macronutriente Mg.

Segundo Favarin et al. (2008), as quantidades de micronutrientes requeridas pelas plantas de milho são muito pequenas, entretanto, a deficiência ou excesso podem desorganizar os processos metabólicos, tais como crescimento, fotossíntese e respiração. Em se tratando de adubação equilibrada e do uso racional de micronutrientes para altas produtividades de milho, é necessário conhecer suas principais funções no metabolismo da planta, bem como as características e quantidades dos adubos a serem aplicados.

Para o Mn, os valores foliares se encontraram dentro da faixa adequada de 20-200 mg kg⁻¹ para o nutriente, porém apresentou significância diante as coberturas de solo, sendo que a área sem cobertura apresentou maior acúmulo foliar, 81,9 mg kg⁻¹, em relação a área com nabo forrageiro, 66,6 g kg⁻¹ (Tabela 6) assim, tal fato sugere a possibilidade de que este micronutriente tenha sido imobilizado pela adubação verde, portanto resultando em diminuição momentânea nos teores disponíveis no solo.

Sistemas de produção que empregam altas doses de N necessitam de maior cuidado nas aplicações de micronutrientes. Algumas pesquisas como a realizada por Ferreira et al. (2001) mostraram que houve maior absorção de Cu e Mn, com o

aumento das doses de N. Este comportamento pode estar associado ao maior volume radicular proporcionado pelo N, bem como à acidificação da rizosfera provocada pela nitrificação ou absorção do íon amônio. Desta forma, pode-se afirmar que há uma interação entre adubação nitrogenada e necessidade de Cu, Mn e Zn na cultura do milho.

Através dos dados obtidos ficou evidente que a cultura do milho seguiu o mesmo mecanismo de absorção nutricional mencionado, sendo que o maior teor de N foliar acumulado foi na presença de maior liberação deste nutriente, ou seja sob o nabo forrageiro, o que desencadeou a maiores absorções de Mn, Cu e Zn, sendo evidenciado principalmente para o Cu que obteve média acumulada acima da faixa adequada de 6-20 mg kg⁻¹.

Para Ramani e Kannan (1974), a presença de K desempenha importante papel na regulação da absorção de Mn, ou seja, maior absorção de Mn quando este apresentar baixa concentração no solo, e ao contrário, frente altas concentrações de Mn no solo.

Para o Zn, não foi identificada significância entre os tratamentos, porém visualizou-se teor médio foliar de 13,8 mg kg⁻¹ (Tabela 6), valor este próximo da faixa considerada adequada de 15-100 mg kg⁻¹. O Zn atua como ativador enzimático de diversos processos metabólicos, responsável pelo crescimento de tecidos vegetais, tendo que o milho é uma das plantas que mais responde à aplicação de Zn no solo, proporcionando ganhos de matéria seca e de grãos.

Apesar de não ter ocorrido diferenças significativas para o Zn, o resultado de acúmulo abaixo da faixa adequada pode estar de acordo com os dados obtidos por Marcelo et al. (2009), que avaliaram teores foliares no milho após o cultivo com plantas de cobertura de inverno e verificaram que após o cultivo de nabo forrageiro obteve menor concentração de Zn no milho.

Possivelmente isso pode ter relação com maiores teores de P disponibilizados nas camadas superficiais do solo, seja pelos cultivos de cobertura ou pelo deslocamento de P adsorvido nos colóides pela rochagem, que em parte, pode proporcionar certa indução de deficiência de Zn, pela interação P-Zn na absorção radicular (MALAVOLTA et al., 1997).

Segundo Dechen e Nachtigall (2006), no solo o Zn é encontrado em maiores teores nas camadas superficiais, devido à deposição dos resíduos das plantas na superfície do solo, que pela decomposição liberam o nutriente que pode formar

complexos com a MO do solo e que pela mineralização torna-se disponível às plantas e isso também pode estar relacionado ao menor índice de absorção foliar encontrado no milho, pois as plantas obtiveram acúmulo médio de 64% a mais de Zn do que a cultura e assim pode ter imobilizado momentaneamente este nutriente.

Outro fator é que as quantidades de Zn presentes no basalto, cerca de 100 mg kg⁻¹ de pó segundo análises de Knapik e Angelo (2007) do pó de basalto da região oeste do Paraná, apesar de superior a outras rochas (TEIXEIRA et al., 2012) apresenta lenta solubilização, portanto a liberação adequada deste elemento ao solo demandaria maior período.

Os resultados da interação entre as plantas de cobertura, a aplicação de pó de rocha e a aplicação de enxofre sobre os teores foliares de Fe e Mg na parte aérea do milho, são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Teores foliares de Fe e Mg em plantas de milho após a aplicação de pó de rocha associado ao cultivo com plantas de cobertura e com a aplicação de enxofre elementar

Cultivo	Com pó de rocha		Sem pó de rocha	
	Com S	Sem S	Com S	Sem S
Teor de Fe (mg kg ⁻¹)				
Consórcio	124,6 bAβ	197,5 aAα	152,5 aAα	142,3 aBα
Nabo-forrageiro	162,3 abBα	127,4 bBα	201,5 aAα	187,1 aAα
Sem cobertura	210,2 aAα	129,2 bAβ	166,7 aBα	152,7 aAα
Teor de Mg (g kg ⁻¹)				
Consórcio	1,88 bBβ	2,23 aAα	2,19 aAα	2,14 aAα
Nabo-forrageiro	2,39 abAα	2,31 aAβ	2,27 aBα	2,53 aAα
Sem cobertura	2,64 aAα	2,86 aAα	2,70 aAα	2,62 aAβ

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste tukey a 5% de probabilidade, assim como médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha em cada nível de pó e gregas na linha em cada nível de enxofre.

Para o Mg, com relação ao seu acúmulo foliar entre as plantas, verificou-se maior teor foliar nas plantas de milho que foram cultivadas na área com aplicação da rochagem e enxofre sem cobertura de solo com 2,64 g kg⁻¹, em relação a área sob cultivo em consórcio com 1,88 g kg⁻¹ (Tabela 7).

Esse menor valor acumulado pelo milho na área sob palhada do consórcio pode ter ocorrido em função da maior relação C/N desse cultivo, cuja decomposição mais lenta pode ter dificultado a liberação deste nutriente ao solo.

Comparando as plantas de cobertura dentro dos níveis da rochagem, teve-se que para o Mg no consórcio obteve valor significativo da área sem rochagem com enxofre $2,19 \text{ g kg}^{-1}$ em relação a área com rochagem e com enxofre $1,88 \text{ g kg}^{-1}$. Para o Nabo forrageiro, o tratamento com aplicação de rochagem e enxofre foi superior, obtendo acúmulo de $2,39 \text{ g kg}^{-1}$.

Comparando as plantas de cobertura dentro de cada nível de ausência ou presença de enxofre, obteve-se resultado significativo no consórcio com rochagem para a área sem enxofre tendo acúmulo de 19% a mais do que para área com enxofre.

Já a área com rochagem para o nabo obteve maior acúmulo na presença do enxofre $2,39 \text{ g kg}^{-1}$ em relação a área onde este tratamento foi suprimido obtendo acúmulo de $2,31 \text{ g kg}^{-1}$.

Para o tratamento sem cobertura, a significância ocorreu com a ausência do pó de rocha e presença de enxofre, sendo superior ao tratamento sem enxofre em 3%.

Bull (1993) apresentou curvas de absorção de nutrientes e afirmou que, de modo geral, o pico de absorção de Mg ocorre 80 dias após a emergência da cultura e a quantidade requerida situa-se em torno de 34 kg ha^{-1} . Semelhante a este autor, von Pinho et al. (2009) trabalhando com o mesmo híbrido deste experimento (P 30F53) obteve maior acúmulo de Mg ao final do ciclo da cultura, sendo de 36 kg ha^{-1} .

O Mg apresentou faixa adequada de concentração foliar para todos os tratamentos, porém foi verificado entre as coberturas menor valor para o consórcio com presença de pó e enxofre em todos os níveis analisados. Este resultado, porém, não é evidenciado pela maior parte dos trabalhos avaliando plantas de cobertura e utilização de rochagem.

Os teores de óxidos de Ca e Mg do pó de rocha, sugerem que o material pode ser fonte desses nutrientes, com efeitos sobre a acidez dos solos agrícolas, além de sua dissolução contribuir como uma importante fonte desses cátions para o solo. Visto sua concentração de óxido de Ca e Mg no pó utilizado de 14,94% (Tabela 2) esperava-se uma maior resposta destes nutrientes, porém isso não foi verificado.

Em trabalho de liberação de nutrientes de minerais silicáticos, Souza (2014), verificou que o teor total de MgO foi maior que o de CaO no agromineral, mas suas concentrações em solução foram menores. Isso se deve ao fato do Mg estar presente em minerais de biotita e anfibólio, os quais são mais estáveis e resistentes à dissolução mineral.

Conforme já discutido anteriormente para as plantas de cobertura, o Mg participa de uma interação ativa de absorção com outros nutrientes, principalmente o K, que absorvido em maior quantidade devido sua disponibilidade no solo acaba gerando menor absorção de Ca e Mg. Essa interação influencia um nutriente sobre o outro, cujos efeitos podem ser antagônicos ou sinérgicos em razão da proporção, das espécies iônicas, da planta e seu estágio de desenvolvimento (OLSEN, 1972).

Para melhor compreensão podemos observar no trabalho de Moore (1961), que o incremento nas doses de K causa decréscimo nos teores de Ca e Mg na planta, e que esses últimos são antagônicos na solução do solo, ou seja, o excesso de um prejudica a absorção do outro.

De acordo com Prado (2008), teores de K foliares próximos de 18 g kg^{-1} reduzem a absorção de Ca e Mg, mas asseguram níveis de produção satisfatórios. Por outro lado, o aumento da concentração de Mg na solução do solo não afeta a absorção de K pela planta (FONSECA; MEURER, 1997), por se tratar de um íon monovalente, de menor grau de hidratação, e de mais fácil absorção que os cátions divalentes.

As pesquisas mais recentes dos biólogos moleculares estão enfocando a detecção e a sinalização do Fe nas plantas. Uma complexa rede de tráfego de Fe intra e intercelularmente parece conduzir a um nível de distribuição de Fe de acordo com as necessidades da planta (SCHMIDT, 2003).

As faixas de suficiência obtidas para o Fe e Mn apresentam as maiores amplitudes e estas influenciam negativamente nas interpretações. O Mn é considerado o segundo micronutriente de maior relevância para a cultura do milho, em referência à demanda nutricional (BORGES et al., 2009). Neste contexto é fundamental dar maior ênfase em supri-lo, caso haja deficiência por este nutriente.

Com relação aos resultados de acúmulo foliar de Fe entre as plantas, verificou-se significância para a área com aplicação da rochagem e enxofre sem cobertura de solo com $210,2 \text{ mg kg}^{-1}$ indicando maior liberação de Fe possivelmente

em função da acidificação ocasionada pela reação do enxofre no solo, em relação a área sob cultivo em consórcio com $124,6 \text{ mg kg}^{-1}$.

Isso ocorre devido a solubilidade do Fe atinge um mínimo em valores de pH mais altos, e em solos bem aerados, a forma Fe^{2+} contribui pouco para a disponibilidade de Fe (SOUZA, 2012).

Para área com aplicação da rochagem sem enxofre houve significância contrária, assim teve-se maior acúmulo foliar na área em consórcio, $197,5 \text{ mg kg}^{-1}$ em relação a área sob cultivo de nabo e sem cobertura.

Comparando as plantas de cobertura dentro dos níveis da rochagem, o consórcio proporcionou valor significativo para o Fe da área com rochagem sem enxofre $197,5 \text{ mg kg}^{-1}$ em relação a área sem rochagem e sem enxofre $142,3 \text{ mg kg}^{-1}$. Para o nabo forrageiro, independente da utilização do enxofre, os tratamentos sem a rochagem foram superiores aos que tiveram sua utilização, resultando em média maior acúmulo de Fe (34%). Já para área sem cobertura, a presença da rochagem foi o fator que gerou maior acúmulo $210,2 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe, cerca de 21% superior que a área com a ausência do pó.

Comparando as plantas de cobertura dentro de cada nível de ausência ou presença de enxofre, verificou-se resultado significativo no consórcio com rochagem para a área sem enxofre, com acúmulo de 58% a mais do que para área com enxofre. Já a área com rochagem sem cobertura proporcionou maior acúmulo na presença do enxofre $210,2 \text{ mg kg}^{-1}$ em relação a área onde este tratamento foi suprimido, resultando acúmulo de $129,2 \text{ mg kg}^{-1}$.

Vale destacar que os basaltos são fontes de micronutrientes, principalmente de Fe sendo que alguns portam ainda outros nutrientes em teores expressivos para a nutrição vegetal. Os resultados obtidos foram semelhantes aos observados para o Mg, e assim esperava-se maiores expressões para os tratamentos que continham presença do pó e de enxofre, visto a liberação destes nutrientes pela dissolução do pó de rocha.

Gomes et al. (2007), descreveram que alguns solos como o argissolo, não conseguem suprir a necessidade pelas culturas, e assim estas são altamente responsivas a utilização de fontes concentradas em Fe. Porém mesmo fornecendo altas quantidades $721,6$ e 969 kg ha^{-1} de Fe estes autores observaram que os teores se encontram abaixo da faixa adequada para a cultura, o que remete que este

nutriente assim como o Zn e o Mg está relacionado a outros fatores para sua absorção.

Alcarde e Rodella (2003) e Castro e Crusciol (2013), indicam que materiais contendo o íon silicato em sua composição, como o pó de rocha, possuem diversas vantagens como ser fonte de Si para as plantas pelo fato de possuir constituintes neutralizantes, além da redução da toxidez de ferro, manganês e alumínio.

Outro fator determinante é que a decomposição da matéria orgânica presente no solo desempenha papel crucial no ciclo de micronutrientes do solo para as plantas, pela variedade de compostos orgânicos formados, como ácido húmico e ácido fúlvico, que complexam os cátions que seriam precipitados, mantendo-os em solução (ANGHINONI et al., 2011).

4.4 COMPONENTES DE RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DO MILHO

Não foi identificado diferenças significativas para os componentes agrônômicos de rendimento assim como na produtividade do milho, para os fatores isolados, assim como não houve efeito para a interação entre as fontes de variação.

Tabela 8 - Valores médios para número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga, massa de mil grãos e produtividade do milho após cultivo com plantas de cobertura, aplicação de pó de rocha e aplicação de enxofre elementar

Tratamentos	Fileiras/ espiga (n ^o)	Grãos/ fileira (n ^o)	Massa de mil Grãos (g)	Produtividade kg ha ⁻¹
Consórcio	15,64 ^{ns}	40,2 ^{ns}	340,2 ^{ns}	8112,9 ^{ns}
Nabo-forrageiro	15,35	39,3	339,1	7916,3
Pousio	15,4	38,7	331,3	7478,4
CV%	4,43	7,52	8,84	11,26
Com Rochagem	15,4 ^{ns}	38,9 ^{ns}	337,9 ^{ns}	7679,9 ^{ns}
Sem Rochagem	15,4	39,8	335,9	7991,9
CV%	2,89	2,77	7,57	9,76
Com Enxofre	15,4 ^{ns}	39,8 ^{ns}	337,1 ^{ns}	7997,0 ^{ns}
Sem Enxofre	15,4	39,0	336,7	7674,8
CV%	4,06	6,16	6,16	11,2

^{ns}: não significativo ao teste de Tukey a 5% de significância.

De acordo com levantamento da Conab, a produtividade do milho no estado do Paraná na safra 2019/2020 foi em média de 9.284 kg ha⁻¹, e a nível brasileiro foi

de 6.417 kg ha⁻¹. Desta forma, observa-se que a produtividade obtida foi inferior à média do estado, porém acima da média nacional (Tabela 8).

Com relação a produtividade, Debiasi et al. (2010), obtiveram valores significativos em primeiro ano de cultivo com adubações verdes de inverno no milho, justificando que a ocorrência de períodos de estiagem expressivas durante estágio reprodutivo, aliado aos efeitos de compactação do solo no armazenamento e infiltração hídrica foram decisivos para os resultados. Todavia em mesmo trabalho, não houve valores significativos para massa de mil grãos, indicando que mesmo sendo fatores diretamente relacionados podem sofrer alterações de outros efeitos.

Apesar dos resultados de produtividade não serem significativos para com a utilização das plantas de cobertura, sabe-se que vários são os benefícios da adoção deste sistema, que pode ser verificado no acréscimo produtivo de 8,5% e 5,85% respectivamente da área com consórcio e da área com nabo forrageiro solteiro em relação a área sem cobertura em primeira safra subsequente.

Para Nicolodi et al. (2008) e Vezzani e Mielniczuk (2009), esta produtividade é decorrente de conceitos sustentáveis geridos pela grande quantidade de compostos orgânicos que é adicionado pelo cultivo de plantas, proporcionada pelo sistema conservacionista adotado, sobretudo pelo plantio direto consolidado, garantindo uma melhor qualidade do solo como um sistema vivo.

De acordo com os dados de produtividade perante a rochagem, nota-se que os tratamentos de modo geral resultaram em uma produtividade média de 7.836 kg ha⁻¹, semelhante a produtividade obtida por Hanish et al. (2013), que também trabalhou com a rochagem de 12 t ha⁻¹ e ausência de insumos solúveis, não obtendo valores significativos para produtividade do milho.

Alovisi et al. (2015) conduziram experimento com a utilização de pó de basalto na cultura do milho em única safra e registraram que o tratamento não influenciou o rendimento de grãos e outras variáveis agronômicas das plantas.

O mesmo foi verificado por Alovisi et al. (2017), avaliando a produtividade do milho após dezesseis meses da utilização de doses de pó de rocha basáltico também não verificaram resultados significativos, porém constataram que mesmo após a colheita de duas safras de grãos, o solo se manteve na faixa adequada de interpretação dos atributos químicos.

Theodoro et al. (2013), trabalhando com cinco tipos de rochas (com ofertas distintas de nutrientes), apresentaram resultados diferenciados em termos de

alteração dos níveis de fertilidade, bem como de produtividade agrícola. Sendo que os basaltos utilizados, (intemperizado ou fresco), tiveram desempenhos igualmente interessantes para todas as culturas, mas com destaque para o milho e o feijão.

Evidenciando assim como neste trabalho, que a boa fertilidade da área experimental e/ou a lenta liberação ou baixa solubilidade do pó de rocha influenciam diretamente nos resultados deste tratamento.

Avaliando o fornecimento de enxofre no sistema de cultivo soja-milho, Kappes et al. (2013) também não obtiveram resposta significativa para massa de mil grãos e produtividade, sendo uma observação relevante a salientar que diferente de outras fontes o enxofre elementar precisa sofrer reação de oxidação no solo para ficar disponível na forma de sulfato (SO_4^{2-}), que pode não ter ocorrido satisfatoriamente.

Corroborando com os dados obtidos, Fiorini et al. (2016) também não obtiveram respostas significativas na utilização de adubação com enxofre na dose de 42 kg ha^{-1} no milho para nenhuma característica agrônômica avaliada.

Diferente dos resultados obtidos por Frandoloso et al. (2010), que encontraram respostas significativas na produtividade de grãos com a aplicação de enxofre em relação às testemunhas, todavia ressaltando que as condições de enxofre no solo se encontravam em níveis baixos, o que pode ter auxiliado no caráter responsivo obtido.

Dessa forma, nota-se evidentemente que os resultados demonstraram que o manejo do solo pelas plantas de cobertura, associado ao sistema de plantio direto permitiu adicionar quantidades de biomassa satisfatórias que contribuíram inicialmente, de forma mais rápida e consistente nas condições de qualidade do solo e também expressaram acréscimo de produtividade.

Vale ressaltar que conforme análise da Figura 1, os componentes de produtividade para o milho não foram influenciados pela disponibilidade hídrica, visto que a necessidade da cultura durante os estádios fenológicos de floração e enchimento de grãos chega a ser de 5 a 7 mm por dia, e a necessidade total variando de 400 a 700 mm por ciclo (ALBUQUERQUE; RESENDE, 2007). Déficit anterior ao embonecamento pode reduzir a produtividade em 20 a 30%; no embonecamento em 40 a 50% e após em 10 a 20%.

Diante aos dados climáticos obtidos ficou evidente que os efeitos do regime hídrico inicial que podem ter influenciado sobre a produtividade de massa seca das

coberturas, não afetaram de forma significativa a produtividade do milho, visto que a pluviosidade acumulada durante o ciclo do milho admitiu-se em torno de 600 mm.

5 CONCLUSÕES

O nabo em cultivo solteiro proporcionou acúmulo de matéria seca 70% superior ao acumulado pelo consórcio de aveia preta e nabo forrageiro; também promoveu menor resistência a penetração na camada de 0,0-0,2 m; assim como maior acúmulo de N no tecido foliar do milho;

O consórcio (nabo forrageiro + aveia preta) promoveu incremento de 1,7% na umidade volumétrica do solo em relação a área mantida sem cobertura;

O consórcio de aveia preta e nabo forrageiro apresentou acúmulo de 21% de N, 19% de P, 89% de Mn, 334% de Fe e 86% de Cu, superior ao monocultivo de nabo forrageiro;

A aplicação da rochagem associada a adubação com S elementar proporcionou maior acúmulo de Fe no tecido foliar do milho;

A aplicação da rochagem associada ao cultivo de consórcio (nabo forrageiro + aveia preta) e enxofre promoveu menor acúmulo de Mg no tecido foliar do milho;

A produtividade do milho não obteve incrementos pelos cultivos de plantas de cobertura, aplicação de pó de rocha e utilização de enxofre elementar.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLA, M.M. Beneficial effects of diatomite on growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v.2, p.207-220, 2011.
- AGARIE, S; UCHIDA, H; AGATA, W; KUBOTA, F; KAUFMAN, P. T. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, Tokyo, v.1, p.89-95, 1998.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; RESENDE, M. **Cultivo do milho: manejo de irrigação**. (Sistemas de Produção). 3.ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007.
- ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.3, p.291-334, 2003.
- ALMEIDA, E.; SILVA, F. J. P.; RALISCH, R. Revitalização dos solos em processos de transição agroecológica no Sul do Brasil. **Revista Agriculturas: Experiências em Agroecologia**, v.4, n.1, p.7-10, 2007.
- ALOVISI A. M. T.; ARAUJO L. R. C.; TAQUES M. M.; TERUEL H. H. **Produtividade do milho em resposta a utilização de pós de rochas**. In: Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão, 5, 2015, Dourados, MS. Anais. 2015.
- ALOVISI, A. M. T.; FRANCO, D.; ALOVISI, A. A.; HARTMANN, C. F.; TOKURA, L. K.; SILVA, R. S. da. Atributos de fertilidade do solo e produtividade de milho e soja influenciados pela rochagem. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 5, p. 57-68. 2017.
- ALVES, T. C.; TEDESCO, C. J. A revolução verde e a modernização agrícola na mesorregião noroeste do Rio Grande do Sul – 1960/1970. **Teoria e Evidência Econômica**, v. 21, n 45, p. 257-281. 2015.
- ANGHINONI, I.; ASMANN, J. M.; MARTINS, P. M.; COSTA, S. E.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. **Synergismus Scyentifica**, v.6, n.2, 2011.
- ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.337-345, 2004.
- ASSIS, L. B.; BATISTA, N. T. F.; RAGAGNIN, V. A.; GÖRGEN, C. A.; MARTINS, E. S.; BIZÃO, A. A.; MORAIS, L. F. de.; HACK, E.; MARQUES, A. L. G.; CARVALHO, R. S.; ARRUDA, E. C. Desafios em soberania e segurança alimentar: a utilização da rochagem como fonte alternativa e sustentável. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 2, 2013, Poços de Caldas, MG. **Anais**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 2013. p.125-132.
- BAMBERG, A. L.; SILVEIRA, C. A. P.; POTES, M. L.; PILLON, C. N.; LOUZADA, R. M.; CAMPOS, A. A. Dinâmica de liberação de nutrientes disponibilizados por

diferentes tipos de rochas em colunas de lixiviação. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33, 2011, Uberlândia, MG. **Anais**. Viçosa, MG: SBCS, 2011.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.9, p.1269-1276, 2007.

BORGES, I. D.; VON PINHO, R. G.; PEREIRA, J. L. A. R. Acúmulo de micronutrientes em híbridos de milho em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.1018-1025, 2009.

BRASIL. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. **Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura**. Diário Oficial da União, Brasília, 2016.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.) **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS. p.63-145, 1993.

CALONEGO, J. C.; GIL, F. C.; ROCCO, V. F.; SANTOS, E. A. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, v.28, n.5, p.770- 781, 2012.

CAMPBELL, I. B. **Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 133p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2007.

CARVALHO, A. M. X. **Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico**. 2012. 116p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

CARVALHO, A. M. X. de. Rochagem: um novo desafio para o manejo sustentável da fertilidade do solo. In: SILVA, J. C. da.; SILVA, A. A. S.; ASSIS, R. T. de. **Sustentabilidade e inovações no campo**. Uberlândia: Composer, 2013. p.117-132.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Yield and mineral nutrition of soybean, maize, and Congo signal grass as affected by limestone and slag. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.673-681, 2013.

CERETTA, A. C. BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Revista Ciência Rural**, v.32, n.1, p.49-54, 2002.

COELHO, A. M. O potássio na cultura do Milho. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 613-658. 2005.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho** (circular técnica nº 78). Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2019/2020**. Brasília: Conab, v.7, n.12, setembro de 2020. 64p.

COOPER, J.; BARANSKI, M.; STEWART, G.; NOBEL-DE-LANGE, M.; BÀRBERI, P.; FLIEßBACH, A.; PEIGNÉ, J.; BERNER, A.; BROCK, C....MÄDER, P. Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. **Agronomy Sustainable Development**, v.26, n.22, 2016.

CORREIA, K. G.; SANTOS, T. S.; ARAUJO, K. D.; SOUTO, J. S.; FERNANDES, P. D. Atividade microbiana do solo em quatro estágios sucessionais da Caatinga no município de Santa Terezinha, Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, v.6, n.3, p.534-549, 2009.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

CRISTANCHO, J. A.; HANAFI, M. M.; SYED OMAR, S. R.; RAFII, M. Y. Alleviation of soil acidity improves the performance of oil palm progenies planted on an acid Ultisol. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v.61, n.6, p.487-498, 2011.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.161-168, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxa de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v.67, n.2, p.481-489, 2008.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.6, p.603-612, 2010.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.327-354, 2006.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, n.7, p.761-773, 1985.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno** (Circular 73). Londrina, PR: Iapar, 1992.

EL-TARABILY, K. A.; SOAUD, A. A.; SALEH, M. E.; MATSUMOTO, S. Isolation and characterization of sulfur-bacteria, including strains of Rhizobium from calcareous soils and their effects on nutrient uptake and growth of maize (*Zea mays* L.). **Australian Journal of Agricultural Research**, v.57, p.101-111. 2006.

FAVARATO, L. F.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, J. L.; GUARÇONI, R. C.; SOUZA, C. M.; CUNHA, D. N. Population density and weed infestation in organic no-tillage corn cropping system under different soil covers. **Planta Daninha**, v.32, p.739-746, 2014.

FAVARIN, J. L.; TEZOTTO, T.; RAGASSI, C. F. **Uso racional de nutrientes na cultura do milho** (Informações Agronômicas nº122). Piracicaba, SP: International Plant Nutrition Institute, p.6-8, 2008.

FERRARI, S.; FURLANI JÚNIOR, E.; FERRARI, J. V.; VARGAS, P. F.; MONTANARI, R.; PERSEGIL, E. O.; REIS, A. R. Atributos físicos do solo e desenvolvimento do algodoeiro em semeadura direta. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.8, n.1, p.73-83, 2014.

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. de A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, v.58, n.1, p.131-138, 2001.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia** v.38, n.2, p.109-112. 2014.

FIORINI, I. V. A; PINHO, R. G. V; PIRES, L. P. M; SANTOS; A. O; FIORINI, F. V. A; CANCELIER, L. L.; RESENDE, E. L. Avaliação de fontes de enxofre e das formas de micronutrientes revestindo o NPK na cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.1, p.20-29, 2016.

FONSECA, J. A.; MEURER, E. J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.47-50, 1997.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUNECENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca** (Documentos nº 314). Embrapa Soja, Londrina, PR, 2009.

FRANDOLOSO, J. F.; LANA, M. C.; FONTANIVA, S.; CZYCZA, R. V. Eficiência de adubos fosfatados associados a enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, v.57, p.686-694, 2010.

GAO, X.; ZOU, C.; WANG, L.; ZHANG, F. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, p.1637-1647, 2006.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HÜBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.9, p.1097-1104, 2003.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.4, p.751-762, 2004.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solos adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.11, p.459-465, 2007.

GONG, H.J.; CHEN, K.M.; ZHAO, Z.G.; CHEN, G.C.; ZHOU, W.J. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. **Biologia Plantarum**, v.52, n.3, p.592-596, 2008.

GRASSI FILHO, H. Elementos úteis ou benéficos. **Revista Agroecologia Hoje**, n.20, p.20-21, 2003.

GRUGIKI, M. A.; ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R.; FERREIRA, A. C. F. Decomposição e atividade microbiana da serapilheira em coberturas florestais no sul do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p.1-12, 2017.

GUELFY SILVA, D. R.; SPEHAR, C. R.; MARCHI, G.; SOARES, D. A. S.; CANCELLIER, E. L.; MARTINS, E. S. Yield, nutriente uptake and potassium use efficiency in rice fertilized with crushed rocks. **Academic Journals**, v.9, p.455-464, 2014.

GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. **Australian Journal of Soil Research**, v.43, p.189-202, 2005.

HANISCH, A. L.; FONSECA, J. A.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; SPAGNOLLO, E. Efeito de pó de basalto no solo e em culturas anuais durante quatro safras, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.3, n.2, p.100-107, 2013.

HARTMANN, J.; KEMPE, S. What is the maximum potential for CO₂ sequestration by “stimulated” weathering on the global scale? **Naturwissenschaften**, v. 95, p.1159-1164, 2008.

HEINZ, R.; GARBIATE, M. V.; VIEGAS NETO, A. L.; MOTA, L. H. S.; CORREIA, A. M. P.; VITORINO, A. C. T. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crame e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, v.41, p.1549-1555, 2011.

HENSEL, J. **Pães de pedra**. Pesquisa e tradução, Fundação Juquira Candiru, 1898.

IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná**, 2008. Disponível em: <http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas_Climáticas/Classificado_Climática.htm>.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; de JESUS, F. V.; ARTUR, E.; FRANCISCO, B. **Fornecimento de enxofre no sistema de cultivo soja-milho**. In: Congresso

Brasileiro de Ciência do solo, 34, 2013, Florianópolis, SC. Anais. Viçosa, MG: SBCS, 2013.

KEUSKAMP, D. H.; KIMBER, R.; BINDRABAN, P.; DIMKPA, C.; SCHENKEVELD, W. D. C. **Plant exudates for nutrient uptake**. VFRC Report, v.4, 2015.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. Pó de Basalto e esterco de eqüinos na produção de mudas de *Prunus sellowii* (ROSACEAE). **Revista Floresta**, v.37, n.3, p.427-436, 2007.

KRUKER, G. **Adubação com pó de rocha e plantas de cobertura em sucessão soja (*Glycine max*) e trigo (*Triticum aestivum*)**. 2019. 120p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2019.

KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Green-manure turnip for soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay. **Scientia Agricola**, v.62, p.150-158, 2005.

LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R.; RICHART, A. & FONTANIVA, S. **Análise química de solo e tecido vegetal: metodologias analíticas**. 2.ed. Cascavel: Edunioeste, 2016.

LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L. F.; NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J.; ROCHA, M. R. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1333-1342, 2010.

LÁZARO, R. L.; COSTA, A. C. T. da.; SILVA, K. F. da.; SARTO, M. V. M.; DUARTE JUNIOR, J. B. Produtividade de milho cultivado em sucessão a adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.1, p.10-17, 2013.

LIMA, J. D.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, R. K.; SOLIMAN, E. P.; MORAES, W. S. Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e da nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) como adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p.60-63, 2007.

LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v.27, n.2, p.205-220, 2006.

LOPES, O. M. M.; CARRILHO, E. N. V. M.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Effect of rock powder and vinasse on two types of soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.5, p.1547-1557, 2014.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants, In: DATNOFLF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. (Eds). **Silicon in Agriculture**. The Netherland, Elsevier Science, p.17-39. 2001.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa do Potássio e do Fósforo, p.115-230, 1997.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. A.; FERNANDES, C.; MARTINS, M. R.; JORGE, R. F. Crop sequences in no-tillage system: effects on soil fertility and soybean, maize and rice yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.417-428, 2009.

MARIUZZO, PATRÍCIA. Por uma cultura brasileira do milho. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.71, n.1, 2019.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London, Academic Press, 920p., 1995.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd.ed. New York: Academic Press, 2012.

MARTINS, R. P.; COMIN, J. J.; GATIBONI, L. C.; SOARES, C. R. F.; COUTO, R. R.; BRUNETTO, G. Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola. **Ceres**, v.61, n.4, p.587-596, 2014.

MEDRADO, R. D.; CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A.; RIOS, E. M.; LANG, C. R.; LOPES, E. C. P. Decomposição de resíduos culturais e liberação de nitrogênio para a cultura do milho. **Scientia Agraria**, v.12, n.2, p.97-107, 2011.

MELFI, A. J.; LEVI, F. Geochemical and mineralogical study on the first stages of weathering of basic and related rocks. **Revista Brasileira de Geociências**, v.1, n.1, p.22-8, 1971.

MELLO, J. W. V.; PEREZ, D. V. Equilíbrio químico das reações no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, R. F. **Química e Mineralogia do Solo**. Viçosa, MG: SBCS, p.152-244, 2009.

MISSOUX M. Sur l'emploi de la poudre des roches granitiques comme excitant de la vegetation. **Comptes rendus de l'Académie des Sciences**, v.36, p.245, 1853.

MOHAMMED, S. M. O.; BRANDT, K.; GRAY, N. D.; WHITE, M. L.; MANNING, D. A. C. Comparison of silicate minerals as sources of potassium for plant nutrition in sandy soil. **European Journal of Soil Science**, v.65, p.653-662, 2014.

MOORE, D. P. Uptake of magnesium and its interactions with calcium in excised barley roots. **Plant Physiology**, v.36, n.3. p.291-295. 1961.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.288-298. 2014.

MOTA, G. M. F.; SOUSA, E. R.; RANAL, M. A. Resposta da couve-da-malásia (*Brassica chinensis* L. var. *Parachinensis* (Bailey) Sinskaja) à deficiência nutricional. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, p.321–329, 2009.

NICHELE, E. R. **Utilização de minerais no desenvolvimento de plantas e na mitigação de odores em criações animais confinados**. 2006. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2006.

NICHOLS, V.; VERHULST, N.; COX, R.; GOVAERTS, B. Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. **Field Crop Research**, v.183, p.56–68, 2015.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I. MARRÉ, J.; MIELNICZUK, J. Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2735-2744, 2008.

NOVAES, L. A.; MOREIRA, B. C. R.; OLIVEIRA, L. de.; TALAMINI, E. & VIANA, J. J. S. **Análise dos Fatores Críticos de Sucesso do Agronegócio Brasileiro**. In: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Economia e Gestão no Agronegócio. Campo Grande: SOBER. n.48, p.1-20, 2010.

NUNES, U. R.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; SILVA, E. B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Covering crops straw production and common bean productivity in no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.6, p.43-948, 2006.

NUNES, J. M. G.; KAUTZMANN, R. M.; OLIVEIRA, C. Evaluation of the natural fertilizing potential of basalt dust wastes from the mining district of Nova Prata (Brazil). **Journal of Cleaner Production**, v.84, p.649-656, 2014.

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; MACHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.3, p.538-544, 2005.

OLIVEIRA, I. P. de.; COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; MACIEL, G. A.; NEVES, B. P. de.; MACHADO, E. L. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.2, p.592-598, 2009.

OLSEN, S. R. Micronutrients interactions. In: MONTVERDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.) **Micronutrients in agriculture**. Soil Science of America Monographs. p.243-288, 1972.

PÁDUA, E. J. de. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. 2012. 91p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2012.

PEREIRA, J. L. A. R.; VON PINHO, R. G.; SOUZA FILHO, A. X.; PEREIRA, M. N.; SANTOS, A. O.; BORGES, I. D. Quantitative characterization of corn plant

components according to planting time and grain maturity stage. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.5, p.1110-1117, 2012.

PRADO, R. M.; VIDAL, A. A. Efeitos da omissão de macronutrientes em solução nutritiva sobre o crescimento e a nutrição do milho. **Revista Agropecuária Tropical**, v.38, n.3, p.208-214, 2008.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; ARMELIN, M. J. A. Qualidade mineral e degradabilidade potencial de adubos verdes conduzidos sobre Latossolos, na região tropical de São Carlos, SP, Brasil. **Revista de Agricultura**, v.77, p.89-102, 2002.

PULZ, A. L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1651-1659, 2008.

RAMANI, S.; KANNAN, S. Effects of certain cations on manganese absorption by excised roots. **Communications Soil Science Plant Analysis**.v.5, p.427-436, 1974.

REVISTA VISÃO AGRÍCOLA. Piracicaba SP: USP/ESALQ, n. 13. 20015. ISSN 1806-6402

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.355-362, 2003.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.1063-1074. 2005.

SANTOS, R. H. S.; SIQUEIRA, R. G.; LIMA, C. T. A.; ALMEIDA, A. R.; PEDROSA, A. W.; OLIVEIRA, C. S. Decomposição e liberação de nitrogênio de duas espécies de adubos verdes manejados no período seco em café orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, n.2, p.1342-1345, 2009.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 306p. 2006.

SCHMIDT, W. Iron homeostasis in plants: sensing and signaling pathways. **Journal of Plant Nutrition**, v.26, p.2211-2230, 2003.

SHARMA, A. Effect of sowing methods, nitrogen and sulphur level on growth, yield and oil contents of mustard (*Brassica juncea*). **Plant Archives**, v.8, n.1, p.421-424, 2008.

SILVA, A. **Efeito da aplicação de pó de basalto nas propriedades químicas do solo, na nutrição e produtividade do feijoeiro e na absorção de nutrientes por *Eucalyptus benthamii***. 2007. 68p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2007.

SILVA, A. A. da.; SILVA, P. R. F. da.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v.37, p.928-935, 2007.

SILVA, D. R. G.; MARCHI, G.; SPEHAR, C. R.; GUILHERME, L. R. G.; REIN, T. A.; SOARES, D. A.; ÁVILA, F. W. Characterization and Nutrient Release from Silicate Rocks and Influence on Chemical Changes in Soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.951-962, 2012.

SILVA, L. D. P.; AZEVEDO, A. C.; FILHO, R. A. **Ação de Microorganismos em pó-de-basalto**. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 2, 2013. Anais. Poços de Caldas, MG. p.43-50.

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Estadual Paraná. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 482p, 2017.

SORATTO, P. R.; CRUSCIOL, C. A. C. **Eficiência residual de rocha fonolito moída nas sucessões de culturas soja-trigo-milho e milho-milheto-soja**. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 2, 2013. Anais. Poços de Caldas, MG. p. 312-320.

SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, v.29, p.1796-1805, 2013.

SOUZA, F. N. S. **O potencial de agrominerais silicáticos como fonte de nutrientes na agricultura tropical**. 2014. 107p. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

STAMFORD, N. P.; SANTOS, P. R.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S.; DIAS, S. H. L.; LIRA JUNIOR, M. A. Agronomic effectiveness of biofertilizers with phosphate rock, sulphur and *Acidithiobacillus* in a Brazilian tableland acidic soil grown with yam bean. **Bioresource Technology**, v.98, p.1311–1318, 2007.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. **A importância do enxofre na agricultura brasileira**. Boletim: Informações Agronômicas, n.129, 2010.

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. **Holos**, v.5, n.28, p.21–33, 2012.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro/RJ. v.78 n.4, p.715-720, 2006.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In:

Congresso Brasileiro de Rochagem, 1, Planaltina, DF. **Anais**. Brasília: Embrapa Cerrados, p.173-181, 2010.

THEODORO, S. H., LEONARDOS, O. H., REGO, K. G., de PAULA MEDEIROS, F., TALINI, N. L., dos SANTOS, F., OLIVEIRA, N. Efeito do uso da técnica de rochagem associada à adubação orgânica em solos tropicais. In **II Congresso Brasileiro de Rochagem**. p. 32. 2013.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, p. 732-747, 2006.

VAN STRAAREN, P. Rochas e minerais como fertilizantes alternativos na agricultura: Uma experiência internacional. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. (Eds). **Agrominerais para o Brasil**. 1.ed. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Tecnologia Mineral, p.235-247, 2010.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.743-755, 2009.

VIOLA, R.; BENIN, G.; CASSOL, L. C.; PINNOW, C.; FLORES, M. F.; BORNHOFEN, E. Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, v.72, n.1, p.90- 100, 2013.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 299-325, 2006.

VITTI, C. G.; OTTO, R.; SAVIETO, J. **Manejo do enxofre na agricultura** (Informações agronômicas nº152). Piracicaba, SP: International Plant Nutrition Institute, 28 p, 2015.

VOLK, L. B. S. **Avaliação de condições físicas de superfície e subsuperfície do solo para fins de predição da erosão hídrica e indicação da qualidade da sua estrutura**. 149 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2006.

VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. A. R.; REIS, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.2, p.157-173, 2009.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, K. F.; WERNER, R. S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Rev. Ciência Agroveterinária**, v.15, p.134-43, 2016.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHIESE, A. V.; BALIN, G. C.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.5, p.374-382, 2015.