



Universidade de Brasília

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS

**PARAGÊNESE MINERAL E ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE SOLOS
ORIGINADOS DE DIFERENTES LITOLOGIAS E CARACTERÍSTICAS DA
RIZOSFERA DESENVOLVIDA COM ROCHAS REMINERALIZADORAS:
CONTRIBUIÇÃO PARA O MANEJO DA FERTILIDADE NA REGIÃO DO
SUDOESTE GOIANO.**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO HIDROGEOLOGIA E MEIO AMBIENTE

TESE DE DOUTORADO Nº 43

CLAUDIA ADRIANA GÖRGEN

ORIENTADORA: DRA. EDI MENDES GUIMARÃES

COORIENTADOR: DR. MURILLO LOBO JUNIOR

Brasília – DF, dezembro 2018



Universidade de Brasília

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS

CLAUDIA ADRIANA GÖRGEN

**PARAGÊNESE MINERAL E ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE SOLOS
ORIGINADOS DE DIFERENTES LITOLOGIAS E CARACTERÍSTICAS DA
RIZOSFERA DESENVOLVIDA COM ROCHAS REMINERALIZADORAS:
CONTRIBUIÇÃO PARA O MANEJO DA FERTILIDADE NA REGIÃO DO
SUDOESTE GOIANO**

TESE DE DOUTORADO Nº 43

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geociências Aplicadas.

ORIENTADORA: DRA. EDI MENDES GUIMARÃES
COORIENTADOR: DR. MURILLO LOBO JUNIOR

DEFESA: 18 de dezembro de 2018

Profª. Dra. EDI MENDES GUIMARÃES – Orientadora/UnB.

Profª. Dra. ADRIANA MARIA COIMBRA HORBE – examinador interno/UnB.

Profª. Dra. CÉCILE QUANTIN – examinador externo/ Université Paris-Sud.

Prof. Dr. ANTÔNIO CARLOS DE AZEVEDO – examinador externo/ ESALq-USP.

Suplente:

Prof. Dr. GERALDO BOAVENTURA - interno.

Brasília – DF, dezembro 2018

DEDICO

PAI Honório Görgen e MÃE Ofélia Kern Görgen

FILHAS Melina Ayala Görgen dos Santos e Manuela Horana Görgen dos Santos

AGRADEÇO

À Fonte Criadora, Criador de tudo o que há.

Aos meus antepassados, em cada pedaço de terra da Europa ou do Brasil.

À força geradora e criadora dos meus pais.

À Fé inabalável das minhas filhas.

À capacidade de adequação adquirida e desenvolvida entre os 10 filhos dos meus pais e seus descendentes.

À toda manifestação orgânica e inorgânica que se fez e se faz presente.

Aos meus orientadores, por tudo.

Ao Ser Divino que, com os olhos, toca estas palavras.

Ao início e o fim de tudo.

PARAGÊNESE MINERAL E ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE SOLOS ORIGINADOS DE DIFERENTES LITOLOGIAS E CARACTERÍSTICAS DA RIZOSFERA DESENVOLVIDA COM ROCHAS REMINERALIZADORAS: CONTRIBUIÇÃO PARA O MANEJO DA FERTILIDADE NA REGIÃO DO SUDOESTE GOIANO

Claudia Adriana Görden

Orientadora: Dra. Edi Mendes Guimarães

Coorientador: Dr. Murillo Lobo Junior

RESUMO – A expressão do máximo potencial produtivo das plantas resulta das distintas interações na zona da interface solo-raízes-microorganismos. Alterações físico-químicas na interface rizosférica são determinadas pela composição mineraloquímica do solo, pela atividade metabólica do sistema radicular e pelas comunidades microbianas em suas especificidades. Neste sentido, o propósito deste trabalho foi verificar influência da adição de rochas moídas – duas da Província Alcalina de Goiás (Verdinho e Kamafugito) e um Micaxisto do Grupo Araxá – sobre a composição mineral, os atributos físico-química e constituintes orgânicos de três solos originados de distintas unidades litoestratigráficas, cultivados com milho e soja. Foram selecionados solos do Sudoeste Goiano evoluídos a partir de rochas sedimentares do Grupo Bauru e de Depósitos Detríticos indifenciados e de basaltos da Formação Serra Geral denominados Bauru, Montividiu e Serra Geral. A partir da descrição geral e morfológica dos perfis, os solos Bauru e Serra Geral foram classificados como Latossolo Vermelho e o Montividiu como Latossolo Vermelho Amarelo e as amostras coletadas foram destinadas a análises físico-químicas, mineralógicas e micromorfológicas. Hematita nos solos Bauru e Serra Geral e goethita no Montividiu justificam suas respectivas cores. Determinada por difração de raios-X, a composição mineral – caulinita, quartzo, gibbsita, anatásio, hematita ou goethita - é semelhante nos três solos, em variadas proporções, condicionada pelos litotipos de origem, assim como as respectivas texturas: arenosa no Bauru, areno-argilosa no Montividiu e argilosa no Serra Geral. A micromorfologia dos grãos e partículas mostra feições de dissolução e neoformação de fases minerais que influem nas cargas de cada solo. As rochas foram descritas por petrografia, sendo a composição mineral complementada por difração de raios-X. O Micaxisto é constituído de quartzo, mica, clorita e albita, tendo como minerais acessórios a granada, apatita e ilmenita. As rochas Verdinho e Kamafugito são constituídas por augita, feldspato potássico, hematita e maghemita, dispersos na matriz esmectítica e ainda, calcita em poros e fraturas. O ensaio agrônômico que consistiu no cultivo de soja *Glycine max* (L) em sucessão ao milho (*Zea mays*), ambos até o pleno florescimento, foi conduzido na casa de vegetação da Embrapa Arroz e Feijão, implantado em triplicata. Vasos foram preenchidos com 4 kg de solos *in natura* ou com misturas de pós de rochas, na dose de 5 toneladas por hectare. As modificações biogeoquímicas e físicas dos substratos foram avaliadas em relação ao efeito da rizosfera sobre a dissolução dos remineralizadores comparados aos solos sem adição de rochas. Além das análises físico-químicas (padrão solo) e Difração de raios-X, foram observadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV/EDS) modificações na rizosfera sob efeito do cultivo com e sem adição de rochas. Quando cultivados, os solos *in natura* mostram agregados de grãos de quartzo e partículas com importante participação de raízes finas e hifas envolvendo as estruturas sem alteração na composição mineral. Observou-se hifas sobre e ao redor de grãos de quartzo. A composição química na superfície da hifa é semelhante aos minerais da proximidade caracterizando biointemperismo. *rock-eating fungi* e *rock-building fungi*. Na rizosfera de milho cultivado em solos com adição das três rochas imagens por MEV/EDS mostram minerais, constituintes das rochas, aderidas ao rizoplano e integrando

agregados da rizosfera do milho e da soja. Nos solos tratados com Micaxisto, e cultivados com milho, difratogramas indicam micas, cloritas e neoformação de esmectita. Análises químicas mostram enriquecimento de potássio na solução do solo. Quando tratados com a rocha Verdinho difratogramas indicam esmectita, como contribuição da rocha e as análises químicas mostram enriquecimento de cálcio na solução. Na adição de Kama fugito, os solos cultivados com milho mostram um pico incipiente de esmectita nos solos Bauru. Imagens micromorfológicas mostram desintegração de feldspato potássico e piroxênio além da biodegradação e biomineralização por fungos. O cultivo da soja mostra, nos difratogramas, menor influência nas características das rochas, por MEV/EDS menor atividade biológica, no entanto, as alterações dos minerais são confirmadas. Extrações de DNA genômico (T-RFLP) permitirão a identificação dos microrganismos agentes do intemperismo.

Palavras chave: Biointemperismo; Biomineralização; Rochas Alcalinas.

MINERAL PARAGENESIS AND PHYSICAL-CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOILS ORIGINATED FROM DIFFERENT LITHOLOGIES AND CHARACTERISTICS OF RIZOSFERA DEVELOPED WITH REMINERALIZING ROCKS: CONTRIBUTION FOR THE MANAGEMENT OF FERTILITY IN SOUTHWEST REGION OF GOIANO

Claudia Adriana Grgeren

Advisor: Dra. Edi Mendes Guimarães

Co-advisor: Dr. Murillo Lobo Junior

ABSTRACT - The expression of the maximum productive potential of the plants results from the different interactions in the zone of the interface soil-roots-microorganisms. Physico-chemical changes in the rhizospheric interface are determined by the mineralochemical composition of the soil, by the metabolic activity of the root system and by the microbial communities in their specificities. In this sense, the purpose of this work was to verify the influence of the addition of ground rocks - two from the Alkali Province of Goias (Verdinho and Kamafugito) and one Micaxist from the Arax Group - on mineral composition, physicochemical attributes and organic constituents of three soils originated from different lithostratigraphic units, cultivated with corn and soybean. Soils of the Southwest of Goiania were selected from sedimentary rocks of the Bauru Group and of indifenced Detritic Deposits and basalts of the Serra Geral Formation named Bauru, Montividiu and Serra Geral. From the general and morphological description of the profiles, Bauru and Serra Geral soils were classified as Red Latosol and Montividiu as Red Yellow Latosol, and the collected samples were destined to physical-chemical, mineralogical and micromorphological analyzes. Hematite in the soils Bauru and Serra Geral and goethita in Montividiu justify their respective colors. Determined by X - ray diffraction, the mineral composition - kaolinite, quartz, gibbsite, anatase, hematite or goethite - is similar in the three soils, in varying proportions, conditioned by the origin lithotypes, as well as the respective textures: sandy in Bauru, arene-clayey in Montividiu and clayey in the Serra Geral. The micromorphology of the grains and particles shows features of dissolution and neof ormation of mineral phases that influence the loads of each soil. The rocks were described by petrography, the mineral composition being complemented by X-ray diffraction. Micaxist is composed of quartz, mica, chlorite and albite, with accessory minerals as pomegranate, apatite and ilmenite. The rocks Verdinho and Kamafugito are constituted by augite, potassic feldspar, hematite and maghemite, dispersed in the smectite matrix and also, calcite in pores and fractures. The agronomic experiment consisted in the cultivation of Glycine max (L) soybean in succession to maize (*Zea mays*), both until full blooming, was conducted in the greenhouse of Embrapa Arroz e Feijão, implanted in triplicate. Vessels were filled with 4 kg of soils in natura or with mixtures of rock powders, in the dose of 5 tons per hectare. The biogeochemical and physical modifications of the substrates were evaluated in relation to the effect of the rhizosphere on the dissolution of the remineralizers compared to the soils without addition of rocks. In addition to the physical-chemical analysis (soil pattern) and X-ray diffraction, changes in the rhizosphere were observed in Scanning Electron Microscope (SEM / EDS) under the effect of the culture with and without addition of rocks. When cultivated, the in natura soils show aggregates of quartz grains and particles with important participation of fine roots and hyphae involving the structures without alteration in the mineral composition. Hyphae were observed on and around quartz grains. The chemical composition on the surface of the hypha is similar to the minerals of the proximity characterizing bioweathering, rock-eating fungi and rock-building fungi. In the rhizosphere of corn cultivated in soils with addition of the three rocks images by MEV / EDS show minerals, constituents of the rocks, adhered to the rhizoplane and integrating aggregates of the rhizosphere of corn and soybean. In the soils

treated with Micaxisto, and cultivated with corn, diffractograms indicate micas, chlorites and neoformation of smectite. Chemical analyzes show potassium enrichment in the soil solution. When treated with rock Verdinho diffractograms indicate smectite as the contribution of rock and chemical analyzes show calcium enrichment in the solution. In the addition of Kamafugito, the soils cultivated with corn show an incipient peak of smectite in the Bauru soils. Micromorphological images show disintegration of potassium feldspar and pyroxene in addition to biodegradation and biomineralization by fungi. The cultivation of soybean shows less influence on the characteristics of the rocks, with less biological activity by SEM / EDS, however, mineral alterations are confirmed. Extractions of genomic DNA (T-RFLP) will allow the identification of microorganism's agents of weathering.

Keywords: Bioweathering; Biomineralization; Alkaline rocks.

SUMÁRIO

DEDICO.....	i
AGRADEÇO.....	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT.....	v
SUMÁRIO	vii
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Contexto Agrogeológico	3
1.2 Objetivos Gerais e Específicos.....	3
2. MATERIAL E MÉTODOS	4
2.1 Seleção e caracterização dos solos	4
2.2 Seleção e caracterização das rochas	5
2.3 Caracterização da cultivar de soja (<i>Glycine max</i> (L) Merrill) e variedade de milho (<i>Zea Mays</i>).....	5
2.4 Execução dos ensaios	6
2.5 Metodologias investigativas.....	9
2.5.1 Análises por difração de raios-X.....	9
2.5.2 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) com espectroscopia por dispersão de energia (EDS) acoplado	10
2.5.3 Identificação dos microrganismos.....	11
2.5.4 Análises físico-químicas	11
2.5.5 Fluorescência de raios - X.....	12
3.RESULTADOS.....	13
3.1 Solos.....	13
3.1.1 Descrição geral, morfológica e mineralógica dos perfis.....	13
3.1.2 Atributos físico-químicos.....	17
3.2 Rochas	18
4. REFERÊNCIAS	18
CAPÍTULO 2	20
2.1 ARTIGO 1- Pedogenetic Profiles from Genetically Distinct Oxisols in the Southwestern Goiás Region and Some Fertility Implications	20
CAPÍTULO 3	45
3.1 ARTIGO 2 – Micromorphology and Mineralogy of Maize Rhizospheric Soil Amended With Different Rock Dusts.....	45

CAPÍTULO 4	75
4.1 Artigo 3 – EM PREPARAÇÃO - Micromorfologia e mineralogia da rizosfera da soja cultivada em solos do sudoeste de Goiás originados de basalto e rochas sedimentares, remineralizados com rochas alcalinas e Micaxisto – Revista do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.....	75
CAPÍTULO 5	97
5.1 Resumo expandido – Geoquímica de um Latossolo Vermelho cultivado sob efeito da aplicação de Micaxisto, Jataí - Goiás. Congresso Brasileiro de Geoquímica – Brasília- Distrito Federal, 2015.....	97
5.2 Resumo expandido - Modificações químicas em solo arenoso remineralizado com rochas alcalinas cultivado com soja. Congresso Brasileiro de Geoquímica – Búzios – Rio de Janeiro, 2017.....	101
CAPÍTULO 6	106
6. Ensaio Embrionários sobre o comportamento de solos, rochas e plantas na tecnologia da rochagem	106
6.1 Ensaio em vasos – cultivos de soja, em épocas distintas, em vasos preenchidos com os solos Bauru, Montividiu e Serra Geral <i>in natura</i> e com adição de cada uma das rochas Micaxisto Verdinho e Kamafugito na dose de 5 ton ha ⁻¹	108
6.1.1 Capacidade de retenção de água no solo e ponto de murcha	109
6.1.2. Avaliação do ciclo de desenvolvimento da soja.....	110
6.1.3 Avaliação dos componentes de produção	113
6.1.4 Análise estatística dos atributos químicos.....	115
6.2 Ensaio em rizotrons – rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito em contato indireto com o sistema radicular da soja	118
6.2.1 Avaliação das plântulas de soja – parte aérea e raízes - cultivadas em rizotrons	120
6.2.2 Caracterização das modificações minerais em contato indireto com sistema radicular	124
6.3 Ensaio de lixiviação	126
CAPÍTULO 7	129
7.1 Considerações e implicações.....	129
7.2 Conclusões	130
7.3 Referências	132
Anexos.....	133
ANEXO I. Imagens obtidas por MEV/EDS.....	1
ANEXO II. Análise de componentes principais (ACP) dos indicadores físico-químicos	15
ANEXO III. Difratogramas de raios-X.....	47

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A fertilidade do solo é apenas um entre vários fatores que determinam a produtividade e a magnitude do rendimento econômico da atividade agrícola. Um solo fértil é aquele que contém, em quantidades suficientes, equilibradas e prontamente assimiláveis, todos os nutrientes essenciais ao desenvolvimento da planta e expressão do seu máximo potencial produtivo (Ronquim, 2010).

Na formação do solo o intemperismo de rochas e minerais é condicionado pela interação dos fatores físicos e químicos, sendo também fortemente influenciados pelas atividades de populações microbianas processo este denominado biointemperismo (Grayston et al., 1997; Hochella, 2002; Burford et al., 2003, Huang et al, 2014). A influência da atividade biológica (sistema radicular, fungos, bactérias e actinomicetos) nos processos intempéricos (Sollas em 1880 in Gadd, 2007; Burford et al., 2003) demonstra que os mecanismos biológicos na transformação dos minerais envolvem processos de dissolução, transporte seletivo, recristalização (dentro do ácido celular) e de revestimento (sobre as superfícies minerais) (Goudie, 1996; Banfield e Nealson, 1998; Uroz et al., 2009).

As interações entre microrganismos, sistema radicular e os diversos constituintes do solo compõem o ambiente rizosférico. Este ambiente compreende a zona de solo influenciada pelo sistema radicular e microrganismos associados. Como as raízes das plantas crescem através do solo liberando compostos solúveis em água (aminoácidos, açúcares e ácidos orgânicos) que fornecem alimento para os microrganismos, altos níveis de exsudatos na rizosfera atraem um grande número de microrganismos. Reações e interações entre as raízes das plantas e micróbios, de natureza dinâmica e co-evolutiva, alteram significativamente propriedades físicas e químicas do solo (Huang *et al.*, 2014; Houlden *et al.*, 2008). A estrutura, arquitetura e função da rizosfera são condicionados também pelo tipo de solo. Cada tipo de solo apresenta diferentes características químicas, texturais, pH, umidade e temperatura (identificadas pelo clima) e matéria orgânica (Latour *et al.*, 1999; Marschner *et al.*, 2001; Marschner *et al.*, 2004; Singh *et al.*, 2007; Berg e Smalla, 2009; Philippot *et al.*, 2013; Rasmann e Turlings, 2016).

As interações complexas entre rocha, solo, água, ar e organismos vivos regulam a disponibilidade de recursos necessários à manutenção da vida (Chorover, *et al.*, 2007; Akob e Küsel, 2011; Lin *et al.*, 2015). Os processos físicos, químicos e biológicos são submetidos às

forças tectônicas, antropogênicas e climáticas que por sua vez provocam modificações na atmosfera, biosfera, hidrosfera e pedosfera, na escala do tempo, possibilitando entre outros aspectos, entender a formação dos solos e seu uso (Brantley *et al.*, 2007).

Um dos principais usos do solo, do ponto de vista antropogênico, é a agricultura. Ao longo do tempo, diversos sistemas de manejo agrícola foram desenvolvidos de acordo com as condições ambientais. Modificações antrópicas no manejo da fertilidade do solo envolvem a aplicação de adubos solúveis (macro e micronutrientes) e corretivos de acidez. No entanto, segundo Chaves e Oba (2004) in Lapido-Loureiro *et al.* (2008) “*O aporte de fertilizantes de alta solubilidade garante a quantidade necessária de nutrientes nos solos, mas não é garantia de que as plantas sejam nutridas com quantidades suficientes para o seu bom desenvolvimento; /.../ o modelo de fertilização implantado no Brasil é baseado em produtos de alta solubilidade, como aqueles adotados em países de clima temperado ...*”.

A busca de modelos alternativos que considerem as condições climáticas e as características dos diferentes tipos de solo é indispensável. Uma das possibilidades é a incorporação de pó de rochas na camada superficial do manto de intemperismo. Desta forma, processos de intemperismo dos minerais incorporados, liberam na solução do solo elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas.

Conceitos e aplicações da refertilização através o uso de rochas e minerais como fertilizantes multi-nutrientes 'in natura' têm sido determinados: a) na caracterização e seleção de silicatos ricos em cátions apropriados ao "intemperismo intencional"; b) na identificação de solos e culturas adequados para sua aplicação; c) nos métodos de avaliação comportamental-agronômica como processo remediador de fertilidade; d) na ação da rizosfera e microrganismos associados; e) na sustentabilidade (Sollas, 1880 in Gadd, 2007; Bakken *et al.*, 1997, 2000; Harley e Gilkes, 2000; Van Straaten, 2006; Bernasconi, 2008; Kämpf *et al.*, 2009; Martins e Theodoro, 2010; Carvalho, 2012; Theodoro *et al.*, 2013; Mosleh *et al.*, 2014). A validação desta tecnologia implica no reconhecimento e caracterização dos minerais presentes nos pós de rochas, e conseqüentemente no entendimento dos processos envolvidos na taxa de dissolução de cada mineral, condicionados aos fatores ambientais no tempo.

Pesquisas e avaliações das tecnologias incorporadas aos sistemas agrícolas observam efeitos na resiliência ou capacidade de um solo recuperar sua integridade funcional e estrutural (Coleman *et al.*, 2017), bem como, sua resistência ou suscetibilidade às mudanças ou distúrbios (Seybold *et al.*, 1999; Lal, 1993). Porém na maioria dos casos prioriza-se a qualidade o manejo do solo a ser aplicado em detrimento as características evolutivas que condicionavam a qualidade natural do solo a ser manejado. Desta forma, sistemas de manejo sustentáveis para

determinado solo/ambiente podem não ser adequados quando aplicados em diferentes solos/ambientes (Bavoso 2012). A pergunta neste caso é: Como (re)conhecer os solos em seus ambientes? O que fazer depois deste reconhecimento?

Este trabalho foi realizado com o propósito de investigar características físico-químicas, mineralógicas e microbiológicas na rizosfera das culturas de milho e soja cultivados em solos de diferentes materiais de origens com incorporação de pó de rochas de diferente composição química mineral.

1.1 Contexto Agrogeológico

A área de estudo está localizada no Sudoeste Goiano e abrange parte dos municípios de Santo Antonio da Barra, Rio Verde, Montividiu e Caiapônia conforme descrito nos artigos, 1, 2 e 3.

Na região, lavouras de soja, milho, algodão, cana de açúcar, braquiária, sorgo, banana, entre outras, têm sido remineralizadas pela aplicação de rochas moídas suprimindo a demanda adequada de nutrientes para produção em grande escala com lucratividade (Görgen *et al.*, 2012, Hack *et al.*, 2012, Bizão *et al.*, 2013). As atividades agrícolas predominam sobre áreas atribuídas às unidades geológicas: Depósitos Detríticos indiferenciados, Formação Cachoeirinha, Grupo Bauru, Formação Botucatu e Serra Geral. Alguns solos enquadrados na mesma classe, mas desenvolvidos sobre distintos materiais de origem apresentam diferentes características geoquímicas e microbiológicas, ocasionando também diferentes respostas a remineralizadores, corretivos e condicionadores de solo, refletidas na produtividade (Brait 2008, Görgen *et al.*, 2011). Desta forma, este estudo foi realizado no sudoeste de Goiás com o propósito de investigar características mineralógicas, físico-químicas e microbiológicas na rizosfera de milho e soja cultivados em solos de distintos litotipos com e sem incorporação de rochas.

1.2 Objetivos Gerais e Específicos

O objetivo geral deste trabalho foi investigar as características mineralógicas, físico-químicas e microbiológicas dos Latossolos originados de arenito do Grupo Bauru), de ritmitos dos Depósitos Detríticos indiferenciados e Basalto (Formação Serra Geral) após adição de rochas (remineralização) alcalinas – Verdinho e Kamafugito - e Micaxisto cultivados com milho e soja.

Especificamente foram investigados: a) Aspectos físico-químicos, mineralógicos e microbiológicos dos solos e das rochas *in natura*; b) Mineralogia da rizosfera, com e sem adição de rochas, cultivados com milho e soja em sucessão até o florescimento pleno; c) Atributos

físico-químicos nos solos sob efeito de cultivo e adição de rochas; d) Identificação de micróbios e suas associações desencadeadas pela atividade biológica radicular do milho e soja nos diferentes substratos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho, foram utilizados solos coletados no Sudoeste Goiano e rochas remineralizadoras desta região e do município de Aparecida de Goiânia (Tabela 1).

Tabela 1: Localização dos solos coletados no Sudoeste Goiano e das rochas remineralizadoras.

IDENTIFICAÇÃO	Coordenadas	Altitude	Município
Solo Serra Geral	-17.681.944 -50.840.333	761 m	Rio Verde
Solo Bauru	-17.879258 -51.055072	735 m	Rio Verde
Solo Montividiu	-17.000761 -51.040.289	835 m	Montividiu
Rocha Verdinho	-17.021792 -51.120058	565 m	Caiapônia
Rocha Kamafugito	-17.470522 -50.650661	552 m	Santo Antônio da Barra
Micaxisto	-16.768508 -49.212133	728 m	Aparecida de Goiânia

2.1 Seleção e caracterização dos solos

Os solos selecionados foram coletados em áreas de cultivo com soja e milho (culturas de maior impacto econômico). Para testes em vasos cerca de 200 kg, da camada 0-20 cm, de cada solo foram coletados e transportados até a Embrapa Arroz e Feijão e para a Universidade de Brasília para ensaio em vasos em ambiente controlado (casa de vegetação). Para a caracterização dos perfis dos diferentes solos, além da descrição geral e morfológica, cada horizonte foi avaliado conforme textura, estrutura, cor, profundidade, consistência e presença de raízes (Dos Santos et al., 2013). Análises químicas demonstraram pH (H₂O e KCl), CTC (potencial e efetiva), matéria orgânica, o fósforo e as bases (H, Al, Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn e B) pelos métodos estabelecidos por Dos Santos, 1997. A análise granulométrica realizada pelo método da pipeta (Dos Santos et al., 1997). A determinação microbiológica avaliada pela extração de DNA genômico através da metodologia descrita por Santos (2013). Além disso, a caracterização mineralógica foi realizada por Difractometria de raios-X (DRX) e análises em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com auxílio de espectroscopia de energia dispersiva (EDS) possibilitando caracterizar a estrutura e a composição química dos minerais e constituintes orgânicos.

2.2 Seleção e caracterização das rochas

Para caracterização das rochas, considera-se inicialmente a localização geográfica bem como, sua textura e composição mineral e química. Esta identificação inicial deve-se a grandes variações mineralógicas e consequente heterogeneidade em um mesmo depósito mineral, e ainda mais entre depósitos de rochas consideradas semelhantes (p, e, rochas de complexos alcalinos) que consequentemente podem apresentar resultados agronômicos distintos. Amostras foram analisadas por petrografia, sobre lâminas delgadas confeccionadas no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (UnB) e descritas em microscópios petrográficos de luz transmitida do Laboratório de Microscopia da UnB. A composição mineral das amostras foi complementada por DRX no Laboratório de difração de raios-X da UnB. As rochas moídas foram analisadas por DRX, MEV-EDS, geoquímica total, sendo mensurados também frações granulométricas e pH de abrasão. A determinação microbiológica está sendo avaliada pela extração de DNA genômico.

2.3 Caracterização da cultivar de soja (*Glycine max* (L) Merrill) e variedade de milho (*Zea Mays*)

BRAS09-0035 transformou-se na cultivar BRS 8481, que foi registrada no Registro Nacional de Cultivares do MAPA com o número 37694 em fevereiro de 2018.

Conforme comunicação pessoal do Pesquisador Melhorista Dr. Sebastião Pedro da Silva Neto (Embrapa Cerrados) trata-se de uma cultivar não transgênica de grupo de maturidade 8.4 (ciclo médio) e possui as seguintes características:

1. Cor do hipocótilo: pigmentação antocianínica ausente (1)
2. Tipo de crescimento: determinado (1)
3. Cor da pubescência: marrom média (3)
4. Densidade da pubescência: alta (7)
5. Cor da flor: branca (1)
6. Cor da vagem: marrom média (4)
7. Forma da semente: esférica achatada (2)
8. Cor do tegumento: amarela (1)
9. Brilho da semente: baixo médio (4)
10. Cor do hilo: marrom médio (4)
11. Reação à peroxidase: positiva (1)

A cultivar BRS 8481 está sendo indicada para as latitudes, altitudes e condições de temperatura e precipitação pluviométrica predominantes nas regiões edafoclimáticas 301 (GO), 303 (GO), 304 (GO, MG e DF), 401 (MT), 402 (MT), 403 (MT) e 405 (BA), ambientes onde

durante todas as fases dos ensaios finais de avaliação a BRS 8481 mostrou características de adaptabilidade e estabilidade, e foi competitiva com as cultivares comerciais de mesmo ciclo utilizadas como padrão. Seu ciclo permite um excelente potencial produtivo e boa adaptação ao sistema produtivo de todas as regiões citadas, sendo que na REC 402 pode ser posicionada na abertura de plantio para permitir uma safra de milho em sucessão. Nas demais regiões a cultivar não permite a segunda safra, mas garante bom potencial produtivo.

A cultivar BRS 8481 pode ser plantada em solos de alta fertilidade em altitudes elevadas, sem problemas de acamamento e respondendo com alto teto produtivo. Do ponto de vista fitossanitário, a cultivar BRS 8481 possui resistência moderada aos nematóides do Cisto (*Heterodera glycines* raça 3) e das Galhas (*Meloidogyne incognita*), e ao Vírus da Necrose da Haste (*Cowpea mild mottle virus*), e resistência ao Vírus do Mosaico Comum da Soja (*Soybean Mosaic Virus*). Possui ótima arquitetura, porte de altura mediana e tipo de crescimento determinado.

A cultivar BRS 8481 deve ser cultivada em solos férteis, respeitando a época de plantio e população de plantas a seguir indicadas. Nas regiões edafoclimáticas onde foi testada, deve-se utilizar populações variando de 240 a 280 mil plantas por hectare, plantadas de 10 de outubro a 30 de novembro. As populações mais altas (280 mil plantas por hectare) devem ser utilizadas em regiões de menor altitude (abaixo de 700 m de altitude) e/ou menor fertilidade natural do solo e menor regime de chuvas. Já as populações menores (próximas a 240 mil plantas por hectare) devem ser utilizadas com solos mais férteis e/ou altitudes acima de 700 m.

O milho cultivado foi o MC10 (Milho Crioulo 10). Obtido pela combinação dos híbridos Cargill 408 e Agroceres - variedade comercial submetida à seleção massal por agricultores durante 10 anos (Ferreira et al., 2008).

2.4 Execução dos ensaios

A implantação e execução dos ensaios em vasos realizados na Embrapa Arroz e Feijão, bem como, as metodologias investigativas estão representadas na Figura 1 e a sequência de eventos no tempo na Figura 2.

Os ensaios realizados na casa de vegetação do Instituto de Biologia da Universidade de Brasília estão apresentados no Capítulo 6 – “Ensaio embrionários sobre o comportamento de solos, rochas e plantas na tecnologia da rochagem”.

As análises de componentes principais (ACP) dos atributos químicos (ANEXO II) foram realizados com os dados coletados no cultivo de milho da Embrapa Arroz e Feijão e da soja da UnB. Ambos foram cultivados imediatamente após a mistura inicial dos solos e rochas.

Na UnB também foi realizado um ensaio de doses, com a adição de 2,5, 5 e 7,5 toneladas por hectare das rochas Verdinho e Kamafugito em cada solo cultivado com soja. Os resultados parciais estão apresentados no Capítulo 5 (item 5.2) Resumo Expandido “Modificações químicas em solo arenoso remineralizado com rochas alcalinas cultivado com soja” apresentado no Congresso Brasileiro de Geoquímica – Búzios – Rio de Janeiro, 2017 e nos difratogramas de raios-X estão apresentados no ANEXO III.

Os artigos 2 e 3 mostram os resultados do ensaio da Embrapa Arroz e Feijão com a dose de 5 toneladas por hectare (comparativo entre tratamentos).

Na Embrapa Arroz e Feijão, a mistura dos solos e rochas foi realizada em 22 de agosto de 2016. A implantação dos substratos em vasos ocorreu em 29 de agosto de 2016 com a imediata semeadura de milho. No dia 10 de outubro (milho em pleno florescimento) foi coletada amostra de solo dos vasos. A semeadura da soja foi realizada em 18 de novembro de 2016 e a coleta de solo se deu em 06 de janeiro de 2017.

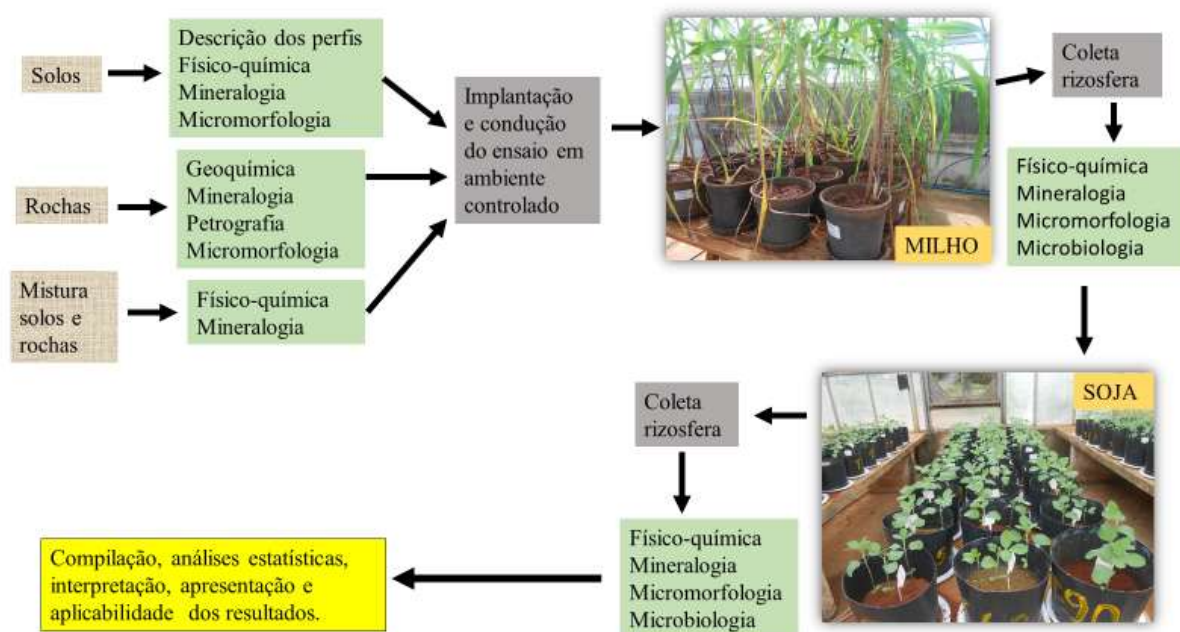


Figura 1: Esquema dos materiais e técnicas utilizadas no ensaio em casa de vegetação Embrapa Arroz e Feijão.



Figura 2: Misturas iniciais (tratamentos) e sequência de eventos no ensaio em casa de vegetação Embrapa Arroz e Feijão.

Imediatamente após a mistura de cada rocha em cada solo foram realizadas análises de Difratometria de raios-X e físico químicas.

Por ocasião do florescimento pleno (≈ 42 dias após a semeadura) das culturas de milho e soja amostras da rizosfera foram coletados para análises realizadas e a realizar conforme Tabela 2. A rizosfera compreende a zona de solo influenciada pelo sistema radicular e microrganismos associados, desde a superfície das estruturas radiculares até uma distância entre 1 a 3 mm (Moreira e Siqueira, 2006), incluindo todos os materiais orgânicos e inorgânicos.

Tabela 2: Identificação dos tratamentos e relação das análises realizadas e a realizar na rizosfera por ocasião do florescimento do milho e da soja nos ensaios realizados na Embrapa Arroz e Feijão. (X) Análises realizadas. (A) em andamento.

Embrapa Arroz e Feijão								
Identificação/Siglas	Florescimento do milho				Florescimento da soja			
	DRX	Físico-química	MEV	Microbiologia DNA	DRX	Físico-química	MEV	Microbiologia DNA
Bauru - B	X	X	X	A	X	X	X	A
Bauru + Micaxisto - BMX	X	X	X	A	X	X	X	A
Bauru + Verdinho - BV	X	X	X	A	X	X	X	A
Bauru + Kamafugito - BK	X	X	X	A	X	X	X	A
Montividiu - M	X	X	X	A	X	X	X	A
Montividiu + Micaxisto - MMX	X	X	X	A	X	X	X	A
Montividiu + Verdinho - MV	X	X	X	A	X	X	X	A
Montividiu + Kamafugito - MK	X	X	X	A	X	X	X	A
Serra Geral - SG	X	X	X	A	X	X	X	A
Serra Geral + Micaxisto - SGMX	X	X	X	A	X	X	X	A
Serra Geral + Verdinho - SGV	X	X	X	A	X	X	X	A
Serra Geral + Kamafugito - SGK	X	X	X	A	X	X	X	A

2.5 Metodologias investigativas

Estruturas orgânicas e inorgânicas da rizosfera, com indicação da composição química da superfície das respectivas estruturas foram analisadas com auxílio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV- EDS). A rizosfera também foi analisada por difração de raios-X, análises físico-químicas e microbiologia.

2.5.1 Análises por difração de raios-X

As análises difratométricas foram realizadas no Laboratório de Difração de Raios-X da Universidade de Brasília em difratômetro RIGAKU - Ultima IV, operando com tubo de cobre e filtro de níquel, sob 40 kV e 15 mA. A identificação dos minerais foi realizada por meio do *software* JADE 9.0 da MDI (<https://www.labx.com/item/mdi-jade-9-8-xrd-pattern-analysis-software/4216088>) e pesquisa dos padrões no banco de dados do International Centre for Diffraction Data (ICDD - <http://www.icdd.com/>). A composição mineral da amostra total (tot) foi determinada a partir do material desagregado em frações menores que 64 µm e pressionado sobre o orifício da lâmina de vidro. A fração argila foi obtida utilizando 7,5 g do material desagregado disperso em 150 ml de água destilada, disposto em tubos de ensaio e centrifugado por 7 minutos a 750 RPM. O sobrenadante foi então centrifugado por 30 minutos a 3000 RPM. Com o precipitado, de cada amostra, foi preparada a lâmina de argila orientada pela técnica do esfregaço que foi seca ao ar. Para identificação de argilominerais expansivos realizou-se o tratamento de solvatação com etileno glicol e glicerol (dessecador vácuo por 12 horas). Finalmente, a lâmina foi aquecida a 490°C por 3 horas. A composição mineral da fração argila foi definida pela análise de cada lâmina após os tratamentos “seca ao ar” (N), solvatada com etileno-glicol (G) ou glicerol (Gl) e aquecimento (A).

Nos difratogramas, os minerais são indicados pelas reflexões características, posicionadas no eixo X (2 theta), enquanto no eixo Y são registradas as respectivas intensidades. A intensidade da reflexão depende de numerosas variáveis, principalmente da estrutura cristalina do mineral. A estrutura cristalina é definida pelo arranjo de íons em planos paralelos sucessivos, cuja distância interplanar (d), medida em Angstrom (Å), é característica de cada substância. Um mesmo mineral tem diferentes valores de intensidade, dependendo do plano cristalográfico. Neste trabalho, com o objetivo de obter dados numéricos, para cada mineral identificado no difratograma, foi selecionada a reflexão mais intensa de acordo com seu padrão ICDD (Tabela 1). No caso do quartzo, exclusivamente, se optou pela reflexão correspondente ao $d \approx 4,26 \text{ \AA}$ por estar em posição de menor número de interferência com minerais mais comuns nos solos. As intensidades das reflexões selecionadas, indicadas em cada

difratograma, foram somadas e normalizadas para 100%, obtendo o valor proporcional da intensidade da reflexão de cada mineral. Este percentual foi comparado entre as diferentes amostras e correlacionado com os atributos físico-químicos por meio de análises estatísticas. Este método não é quantitativo, mas representativo proporcional da constituição mineral de cada solo, possibilitando a utilização dos valores em análises estatísticas.

Tabela 1: Posições das reflexões em 2-Theta, respectivos valores de d (Å) e plano cristalográfico, indicando os valores de intensidade e respectivas porcentagens definidos pelo padrão ICDD (International Centre for Diffraction Data) para minerais constituintes dos solos.

Fase mineral	2-Theta (Cu)	d (Å)	(h k l)	Intensity	I%
Caulinita (Al₂Si₂O₅(OH)₄)	12.278	7.2	(0 0 1)	758	100.0
Gibbsita (Al(OH)₃)	18.455	4.85	(0 0 2)	2498	100.0
Quartzo (SiO₂)	20.970	4.26	(1 0 0)	17985	16.0
Anatásio (TiO₂)	25.414	3.52	(1 0 1)	969	100.0
Hematita (Fe₂O₃)	33.321	2.69	(1 0 4)	1531	100.0
Goethita (FeO(OH))	21.253	4.18	(1 1 0)	1189	100.0
Maghemita (Fe₂O₄)	35.762	2.50	(3 1 1)	1739	100.0

2.5.2 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) com espectroscopia por dispersão de energia (EDS) acoplado.

Análises para identificação de feições indicativas de possíveis reações (dissolução e/ou neoformação) nas superfícies minerais e caracterização morfológica da rizosfera – forma, tamanho e textura das partículas – foram realizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com *Energy Dispersive Spectrometer* (EDS) que permitiu também a determinação da constituição elementar (Dedavid et al, 2007). As imagens foram obtidas em MEV marca FEI QUANTA 450 no Laboratório de Geochronologia e Geologia isotópica do Instituto de Geociências/UnB. Para as análises das amostras selecionadas, alíquotas de cerca de 1 g de solo não cultivado e da rizosfera foram fixadas sobre lâminas de vidro, as quais após metalização

com carbono foram analisadas em baixo vácuo. Para a obtenção das imagens por elétrons retroespalhados (backscattered electrons – BSE) utilizou-se a aceleração de voltagem de 25 kV e distância de trabalho aproximada de 11 mm.

2.5.3 Identificação dos microrganismos

A identificação microbiológica está sendo realizada pelo método de *fingerprint* (“impressão digital”) T-RFLP quantificando comunidades de *Bacteria* e *Archaea* com o gene 16S rRNA e para a comunidade de *Fungi* o gene 18S rRNA para *Bacteria*. Foram extraídas as soluções dos solos usando “MO BIO PowerSoil® DNA isolation kit (MO BIO)” de acordo com o protocolo descrito pelo fabricante (<https://mobio.com/media/wysiwyg/pdfs/protocols/12888.pdf>). Estão sendo identificados os micróbios nos horizontes de cada perfil e o solo rizosférico nos diferentes tratamentos (após o cultivo com *Zea mays* e *Glycine max* (L.) Merrill - florescimento). Análises microbiológicas estão sendo realizadas no Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Arroz e Feijão.

2.5.4 Análises físico-químicas

Amostras de cada horizonte dos três tipos de solo foram analisados no laboratório Soloquímica – Brasília- DF) conforme procedimentos (tab. 3). Com os valores de pH (H₂O) e pH (KCl) foram calculados o Δ pH e o PCZ como segue: Δ pH = pH KCl – pH em água (Mekaru e Uehara 1972) e PCZ = 2 pH KCl - pH H₂O (Keng & Uehara 1974).

Tabela 3: Determinação, unidades, extratores e referências da metodologia aplicadas na caracterização química de três solos do Sudoeste Goiano.

Determinações	Unidades	Extratores	Metodologias
Cu	mg/dm ³	Mehlich	Donagema et al. 2011
Fe			
K	cmolc/dm ³	HCl	
Mn	mg/dm ³	Mehlich	
P Mehlich		Remanescente	Alvarez et al. 2000
P rem		Resina trocadora de íons	Raij et al. 1994
P res	cmolc/dm ³	Mehlich	Donagema et al. 2011
Na			
Zn	mg/dm ³		
Al	cmolc/dm ³	KCl	
Ca			
Mg			
B	mg/dm ³	Água Quente	
H + Al	cmolc/dm ³	Cálculos	
CTC ef			
CTC			
Saturação por Bases	%	K ₂ Cr ₂ O ₇	
M.O.	g/kg		
pH Água	s/u		Água

pH KCl		KCl	
S	mg/dm ³	BaCl ₂	
Silício	ppm	CaCl ₂	Korndörfer et al. 2004

Os procedimentos de determinação da curva de retenção de água, porosidade, densidade e condutividade foram realizados no Lab de solos na Embrapa Arroz e Feijão em Santo Antonio de Goiás. Análise da Textura foi realizada no Laboratório (Soloquímica– Brasília- DF) conforme procedimentos especificados na Tabela 4.

Tabela 4: Determinação, unidades e referências das metodologias aplicadas na caracterização química de três solos do Sudoeste Goiano.

Determinações	Unidades	Metodologias
Curva de retenção de água - método da centrífuga	0 kPa	(%)
	6.55 kPa	(%)
	8.91 kPa	(%)
	11.64 kPa	(%)
	30.73 kPa	(%)
	58.91 kPa	(%)
	104.70 kPa	(%)
	1505.66 kPa	(%)
Porosidade	Micro	(%)
	Macro	(%)
	Total	(%)
Densidade do solo (aparente)	(g cm ⁻³)	
Condutividade hidráulica saturada	(cm h ⁻¹)	
Textura (Hexametáfosfato de Sódio)	Argila	g kg ⁻¹
	Areia	
	Silte	

Donagema et al. 2011

2.5.5 Fluorescência de raios - X

Amostras de rocha e dos solos (camada 0-20 cm), pulverizadas no Laboratório de Difractometria de Raios-X (LDRX) do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB), foram analisadas por fluorescência de raios-X para determinar a composição química de rocha total. dos óxidos majoritários – SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, TiO₂, P₂O₅, Na₂O, K₂O, MnO e perda ao fogo. Os principais óxidos foram analisados por Fluorescência de Raios-X, espectrometria de massa e ICP (após fusão em metaborato de lítio/tetraborato, diluição em digestão nítrica e água régia). Perda por incineração (LOI) por diferença de peso após a ignição a 1000°C.

3.RESULTADOS

3.1 Solos

3.1.1 Descrição geral, morfológica e mineralógica dos perfis

A caracterização dos perfis dos solos foi realizada a partir da descrição e amostragem em poços com cerca de um metro de seção por dois metros de profundidade. A caracterização geral e morfológica com a respectiva imagem de cada perfil está apresentada na Figuras 3, 4 e 5. Os minerais identificados no perfil estão apresentados no difratograma de raios-X (DRX) seguido da tabela com a identificação da intensidade do pico máximo de cada mineral da amostra total e da fração argila. Imagens feitas das lâminas da amostra total não orientada (pó) para DRX contribuem na visualização da cor de cada perfil.

Os três solos foram classificados como LATOSSOLO. Sendo os solos Bauru e Serra Geral da classe Latossolo Vermelho e o solo Montividiu Latossolo Vermelho Amarelo.

Com exceção da calcita (CaCO_3) apenas minerais residuais e neoformados foram identificados nos difratogramas (Figura 4B, 5B e 6B). A presença de calcita no solo Bauru deve-se à aplicação de calcário no manejo da fertilidade do solo para cultivo de soja e milho. Os difratogramas de raios-X (DRX) mostram alguns minerais comuns para os três solos como quartzo (SiO_2), gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e anatásio (TiO_2). O Serra Geral apresenta ainda maghemita ($\text{Fe}_{2,67}\text{O}_4$). No entanto, há semelhança na composição mineral da fração pó (amostra total) com a fração argila nos horizontes avaliados, modificando apenas a intensidade. Este resultado foi observado nos três perfis de solo.

As discussões sobre a implicação de cada solo na atividade agrícola da região estão descritas no Artigo 1: *Pedogenetic Profiles from Genetically Distinct Oxisols in the Southwestern Goiás Region and Some Fertility Implications.*

A) DESCRIÇÃO GERAL-BAURU

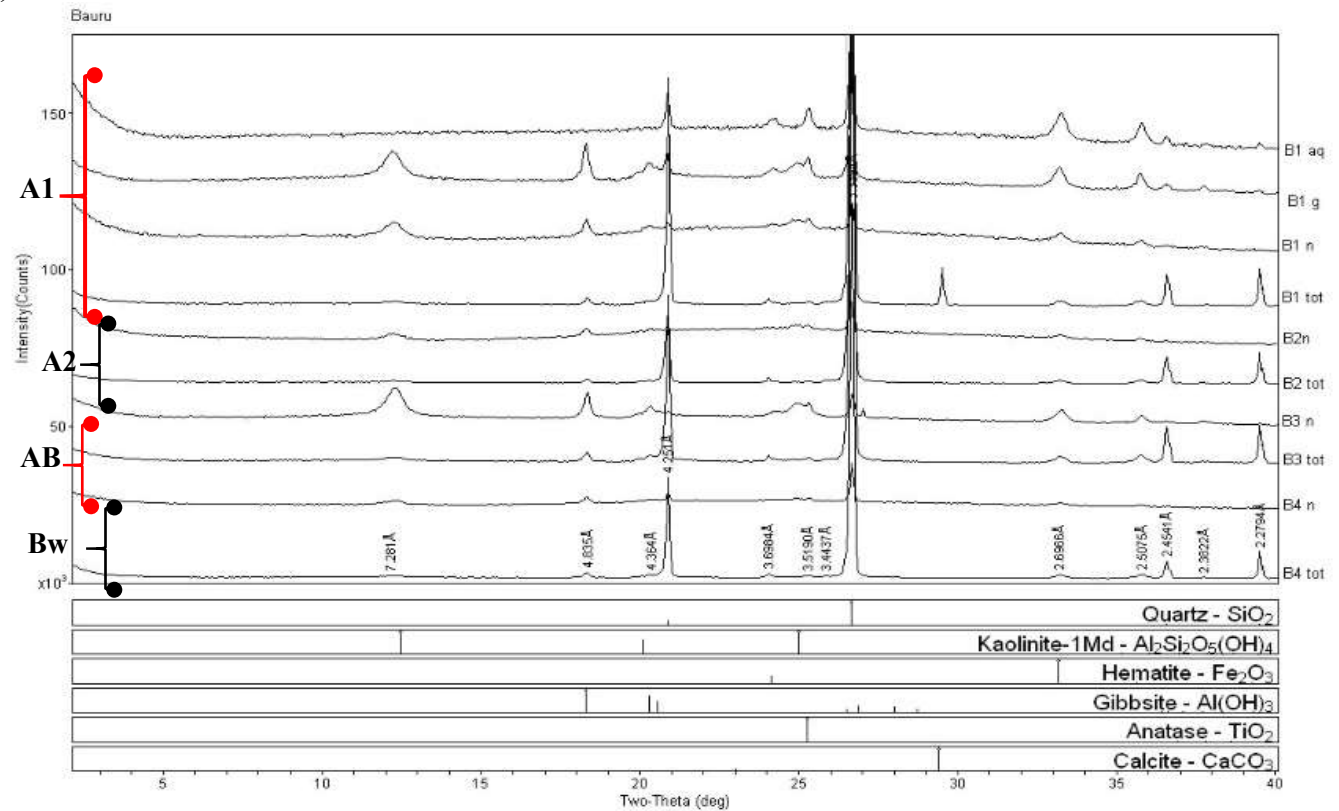
DATA – 20 de outubro de 2016
 CLASSIFICAÇÃO – **LATOSSOLO VERMELHO**
 UNIDADE DE MAPEAMENTO - LV
 LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Rio Verde – GO. **LATITUDE: 17°52'46.79"S LONGITUDE: 51° 3'22.81"W**
 SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – **Descrito, área plana, não irrigada, não cultivada na safra 2015/16 (pousio).**
 ALTITUDE –741 metros
 LITOLOGIA – Arenitos finos, siltitos e argilitos dispostos em camadas de aspecto maciço ou plano-paralelos, e estratificações cruzadas de pequeno e médio porte.
 FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo Bauru - Formação Marília.
 PERÍODO – Mesosóico.
 MATERIAL ORIGINÁRIO –Arenito fino a muito fino, cinza claro e bege a róseo, com níveis lenticulares de conglomerado e siltito areno-argiloso creme arroxeadado a rosado.
 PEDREGOSIDADE – Não pedregoso.
 ROCHOSIDADE – Não rochosa.
 RELEVO LOCAL – Plano.
 RELEVO REGIONAL – Plano a suave ondulado.
 EROSÃO – Não aparente.
 DRENAGEM – Moderado a bem drenado.
 VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerrado.
 USO ATUAL – Agricultura (pousio).
 CLIMA – Aw tropical, da classificação de Koeppen.
 COLETADO POR – Claudia Adriana Górgen, Murillo Lobo Junior, Edi Mendes Guimarães, Adriana Horbe, Regiane Ferreira de Oliveira (pessoa dentro da trincheira) e Antonio Alexandre Bizão.
 DESCRITO POR: Claudia Adriana Górgen, Gabriel Taira e Caroline Araújo Freitas.
 IMAGEM: Adriana Horbe



DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Horizonte A1- 0-15 cm: Vermelho escuro (10 R 3/3 seco); textura arenosa; estrutura forte granular média e grande e blocos subangulares; porosidade textural e biológica; cerosidade fraca e pouca; consistência macia, não plástica, ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
 Horizonte A2 - 15-50 cm: Vermelho escuro (10 R 3/3 seco), textura arenosa; estrutura forte granular média e grande e blocos subangulares; porosidade pequena; cerosidade fraca; consistência macia, não plástica, ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
 Horizonte AB - 50-100 cm: Vermelho escuro (7,5 R 3/3 seco); textura arenosa; estrutura forte granular média e grande e blocos subangulares; porosidade grande; Cerosidade fraca; consistência macia, não plástica, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
 Horizonte BA Latossólico – 100 cm +: Vermelho escuro (7,5 R 3/3 seco); textura arenoso; estrutura forte granular média e grande; porosidade grande; cerosidade fraca; consistência macia, não plástica; ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

B)



Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAW-XRD] Thursday, July 20, 2017 03:02p (MDI/JADEB)

C) Valores da intensidade, e respectiva porcentagem, dos minerais da amostra total (fração pó não orientada - tot) e da fração argila (orientada - n) no perfil do solo Bauru.

Horizontes	Amostras	Quartzo		Caulinita		Hematita		Gibbsita		Anatásio		Calcita	
		(d~4,25 Å)		(d~7,28 Å)		(d~2,69 Å)		(d~4,83 Å)		(d~3,5 Å)		(d~3,03 Å)	
		Int.	%	Int.	%	Int.	%	Int.	%	Int.	%	Int.	%
A1 0-15 cm	B1 tot	41279	73,56	428	0,76	704	1,25	6668	11,88	295	0,53	6741	12,01
A2 15 -50 cm	B2 tot	18528	88,39	311	1,48	745	3,55	1038	4,95	340	1,62	0	0
AB 50-100 cm	B3 tot	26984	89,11	405	1,34	934	3,08	1526	5,04	432	1,43	0	0
Bw 100 cm +	B4 tot	31534	90,28	395	1,13	928	2,66	1605	4,6	466	1,33	0	0
A1 0-15 cm	B1 n	437	11,89	1016	27,65	546	14,86	1139	30,99	340	9,25	197	5,36
A2 15 -50 cm	B2 n	443	16,84	724	27,53	299	11,37	791	30,08	373	14,18	0	0
AB 50-100 cm	B3 n	315	2,73	4440	38,47	1671	14,48	4032	34,93	1084	9,39	0	0
Bw 100 cm +	B4 n	1370	31,65	816	18,85	469	10,83	1281	29,59	393	9,08	0	0

Lâminas contendo amostra total

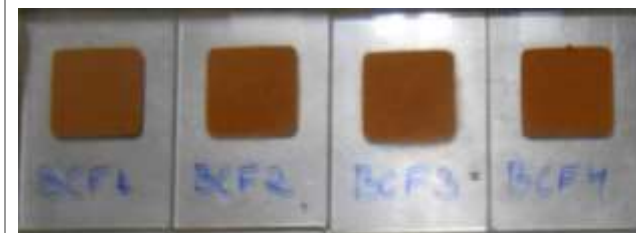


Tabela: Porcentagem de argila, areia e silte nos horizontes

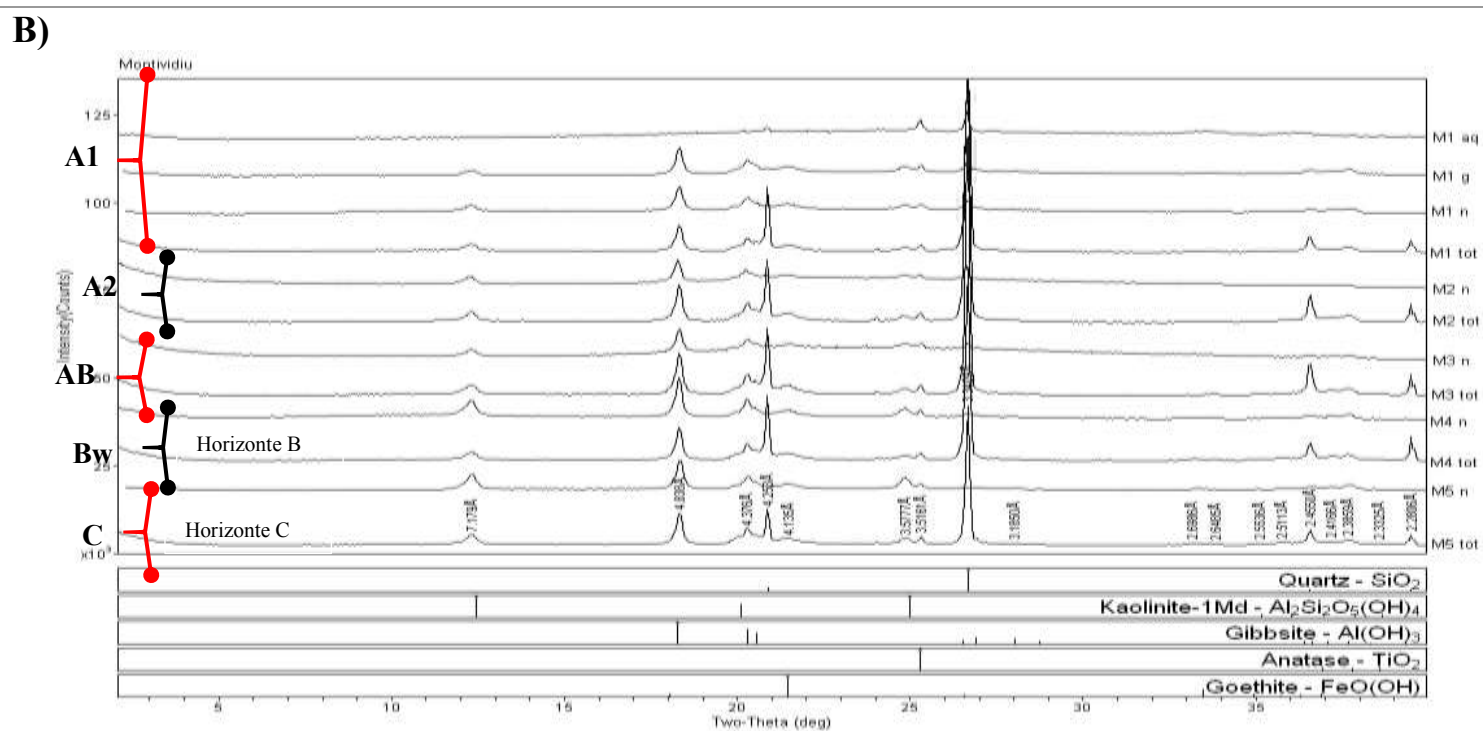
	Argila	Areia	Silte
		%	
B1	26,25	70	3,75
B2	26,25	71,25	2,5
B3	28,75	68,75	2,5
B4	28,75	67,5	3,75

Figura 3: Solo Bauru. (A) Descrição Geral, imagem representativa e Descrição Morfológica. (B): Difratoograma de raios-x, organizado da base (Horizonte BA) para o topo (Horizonte A1). (C) Tabela com valores da intensidade e respectiva porcentagem da intensidade dos minerais constituintes do solo, imagem das lâminas utilizadas para descrição mineralógica total não orientada (tot) e Tabela com valores da granulometria do solo.

A) DESCRIÇÃO GERAL – MONTIVÍDIU
 DATA – 20 de outubro de 2016
 CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO
 UNIDADE DE MAPEAMENTO – LVA
 LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Montivídiu – GO **LATITUDE: 17° 0'14.83"S LONGITUDE: 51° 2'9.13"W**
 SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – **Descrito, área plana, não irrigada, cultivada com soja.**
 ALTITUDE – 827 metros
 LITOLOGIA – Constitui-se de areias finas a grossas, localmente siltico-argilosas e mais raramente conglomeráticas, intimamente relacionadas a superfícies de aplainamento, formando terraços argilo-arenosos com cascalhos dispersos e níveis de material transportado e ferruginizado. Estes níveis são constituídos por uma matriz rica em óxido e hidróxido de ferro, sem, no entanto, mostrar perfis lateríticos maduros ou imaturos, tratando-se de material alóctone.
 FORMAÇÃO GEOLÓGICA – QP1
 Cobertura Arenosa Indiferenciada
 PERÍODO – CENOZÓICO - Quaternário
 MATERIAL ORIGINÁRIO – Areia fina a grossa, localmente siltico-argilosa e mais raramente conglomerática.
 PEDREGOSIDADE – Não pedregosa
 ROCHOSIDADE – Não rochosa
 RELEVO LOCAL – Plano.
 RELEVO REGIONAL – Plano a suave ondulado.
 EROSÃO – Não aparente.
 DRENAGEM – Bem drenado.
 VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerrado.
 USO ATUAL – Agricultura
 CLIMA – Aw tropical, da classificação de Koepen.
 COLETADO POR – Claudia Adriana Görgen, Murillo Lobo Junior, Edi Mendes Guimarães, Adriana Horbe, Regiane Ferreira de Oliveira e Antonio Alexandre Bizão.
 DESCRITO POR: Claudia Adriana Görgen, Gabriel Taira e Caroline Araújo Freitas. **IMAGEM: Adriana Horbe**



DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA
Horizonte A1 – 0-10 cm: Bruno claro acinzentado (10YR 6/3 seco); argilo-arenoso; estrutura forte granular média e grande; porosidade grande; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual.
Horizonte A2 – 10-30 cm: marrom amarelado (10 Y R 5/6 seco); argilo arenoso; estrutura forte, granular média e grande e grumosa muito pequena com concreções milimétricas; porosidade grande; cerosidade fraca; consistência seca ligeiramente dura com concreções extremamente duras; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
Horizonte AB 30 – 70 cm: marrom levemente amarelado (10YR 6/4 seco); argilo arenoso; estrutura forte granular média e grande com blocos subangulares; porosidade grande; cerosidade fraca; consistência ligeiramente dura com concreções ferruginosas extremamente duras; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
Horizonte B Latossólico 70 – 120 cm: marrom leve claro (7,5YR 6/4 seco); argilo arenoso cascalhento; forte granular grande blocos subangulares; porosidade grande; cerosidade moderada, consistência seca dura com concreções ferruginosas extremamente duras; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. Transição gradual e plana.
Horizonte C 120 cm+: vermelho amarelado (5 YR 5/6 seco) amarelo com veios de quartzo e concreções avermelhadas; argilo arenoso cascalhento; forte granular médio e grande com blocos subangulares menores que o horizonte anterior; porosidade grande; cerosidade moderada; consistência seca ligeiramente dura com concreções extremamente duras; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.



C) Valores da intensidade, e respectiva percentagem, dos minerais da amostra total (fração pó não orientada - tot) e da fração argila (orientada - n) no perfil do solo Montivídiu.

Horizontes/ Espessura	Amostras	Quartzo (d~4,25 Å)		Caulinita (d~7,17 Å)		Goethita (d~4,13 Å)		Gibbsita (d~4,83 Å)		Anatásio (d~3,51 Å)	
		Int.	%	Int.	%	Int.	%	Int.	%	Int.	%
		A1 0 - 10 cm	M1 tot	16458	54,55	2529	8,38	789	2,62	8635	28,62
A2 10- 30 cm	M2 tot	11828	50,85	1704	7,33	822	3,53	7472	32,13	1433	6,16
AB 30- 70 cm	M3 tot	12273	50,92	1813	7,52	315	1,31	8169	33,89	1531	6,35
Bw 70- 120 cm	M4 tot	13483	56,02	1420	5,9	749	3,11	7215	29,98	1201	4,99
C 120 cm +	M5 tot	8219	38,05	2526	11,69	741	3,43	8410	38,94	1703	7,88
A1 0 - 10 cm	M1 n	360	3,62	1514	15,24	924	9,3	5959	59,98	1178	11,86
A2 10- 30 cm	M2 n	710	10,16	1359	19,44	377	5,39	3895	55,73	648	9,27
AB 30- 70 cm	M3 n	185	3,34	1029	18,6	318	5,75	3441	62,21	558	10,09
Bw 70- 120 cm	M4 n	572	4,72	311	2,57	943	7,79	9217	76,09	1070	8,83
C 120 cm +	M5 n	174	0,57	8902	28,91	1932	6,27	17826	57,88	1962	6,37

Lâminas contendo amostra total



Tabela: Percentagem de argila, areia e silte nos horizontes

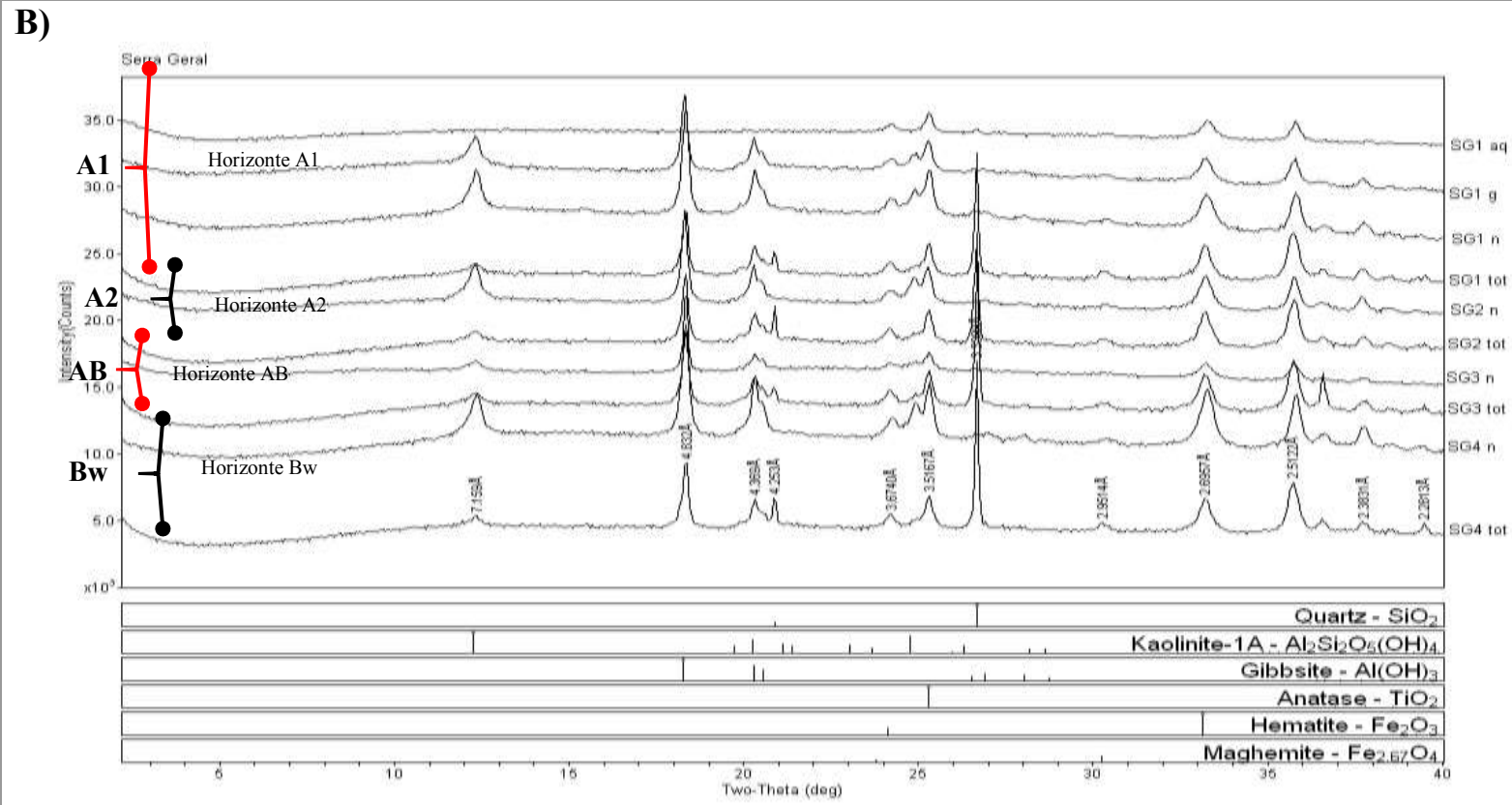
	Argila	Areia	Silte
	%		
M1	38,75	51,25	10
M2	50	42,5	7,5
M3	51,25	42,5	6,25
M4	51,25	40	8,75
M5	56,25	35	8,75

Figura 4: Solo Montivídiu. A) Descrição Geral, imagem representativa do solo e Descrição Morfológica. (B) Difratoograma de raios-x, organizado da base (Horizonte C) para o topo (Horizonte A1). (C) Tabela com valores da intensidade e respectiva percentagem da intensidade dos minerais constituintes do solo, imagem das lâminas utilizadas para descrição mineralógica total não orientada (tot) e Tabela com valores da textura do solo.

A) DESCRIÇÃO GERAL – SERRA GERAL
 DATA – 20 de outubro de 2016
 CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO VERMELHO
 UNIDADE DE MAPEAMENTO – LV
 LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Rio Verde- GO
LATITUDE: 17°40'55.62"S LONGITUDE: 50°50'23.26"W
 SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito, área plana, não irrigada, cultivada com soja.
 ALTITUDE – 757 metros
 LITOLOGIA - Basalto
 FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo São Bento - Formação Serra Geral.
 PERÍODO –Mesosóico
 MATERIAL ORIGINÁRIO – Basalto toleítico, cinza-escuro a esverdeado, com intertrapes de arenito fino a muito fino com estratificações cruzadas tangenciais de pequeno porte
 PEDREGOSIDADE – Não pedregosa
 ROCHOSIDADE – Não rochosa
 RELEVO LOCAL – Suave ondulado
 RELEVO REGIONAL – Plano a suave ondulado.
 EROSÃO – Não aparente.
 DRENAGEM – Bem drenado.
 VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerrado.
 USO ATUAL – Agricultura
 CLIMA – Aw tropical, da classificação de Koeppen.
 COLETADO POR – Claudia Adriana Görden, Murillo Lobo Junior, Edi Mendes Guimarães, Adriana Horbe, Regiane Ferreira de Oliveira, Flávio Faedo e Antonio Alexandre Bizão.
 DESCRITO POR: Claudia Adriana Görden, Gabriel Taira e Caroline Araújo Freitas.
 IMAGEM: Adriana Horbe



DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA
Horizonte A1 0-30 cm – Vermelho Escuro (7,5 R 3/3 seco); argiloso; estrutura forte granular média e grande com blocos subangulares; porosidade grande; cerosidade moderada; consistência seca ligeiramente dura; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
Horizonte A2 30-60 cm - Vermelho Escuro (7,5 R 3/3 seco); argiloso; estrutura forte granular média e grande com blocos subangulares; porosidade grande; cerosidade moderada; consistência seca ligeiramente dura; molhada ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
Horizonte AB 60 -110 cm –Vermelho Escuro (7,5 R 3/3 seco); argiloso; estrutura forte granular média e grande com blocos subangulares; porosidade grande; cerosidade forte; consistência seca ligeiramente dura; molhado ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
Horizonte B Latossólico 110 cm⁺- Vermelho Escuro (7,5 R 3/3 seco); argiloso, estrutura forte granular média e grande com blocos subangulares; porosidade grande; cerosidade fort consistência seca macia; molhado plástica e pegajosa; transição difusa e plana



Campus Univ Darcy Ribeiro [RAIO-X110] Thursday, July 20, 2017 03:08p (MDUJAD)

C) Valores da intensidade, e respectiva porcentagem, dos minerais da amostra total (fração pó não orientada - tot) e da fração argila (orientada - n) no perfil do solo Serra Geral.

Horizontes/ Espessura	Amostras	Quartzo (d~4,25 Å)		Caulinita (d~7,15 Å)		Hematita (d~2,69 Å)		Gibbsita (d~4,83 Å)		Anatásio (d~3,51 Å)		Maghemita (d~2,95 Å)	
		Int.	%	Int.	%	Int.	%	Int.	%	Int.	%	Int.	%
A1 0 - 30 cm	SG 1 tot	1090	11,41	624	6,53	2063	21,6	4474	46,85	1959	20,52	429	4,49
A2 30 - 60 cm	SG 2 tot	2213	22,16	629	6,3	2179	21,82	4949	49,56	1771	17,74	457	4,58
AB 60 - 110 cm	SG3 tot	900	8,41	733	6,85	2327	21,75	5166	48,29	2051	19,17	421	3,94
Bw 110 cm +	SG4 tot	1771	18,31	556	5,75	2222	22,98	4418	45,69	1968	20,35	506	5,23
A1 0 - 30 cm	SG1 n	133	0,85	2492	15,99	2372	15,22	8064	51,73	2426	15,56	234	1,5
A2 30 - 60 cm	SG2 n	141	1,06	2496	18,8	2014	15,17	6450	48,57	2005	15,1	314	2,36
AB 60 - 110 cm	SG3 n	124	2,25	469	8,51	753	13,67	3254	59,08	830	15,07	202	3,67
Bw 110 cm +	SG4 n	282	1,39	2840	13,98	3869	19,05	10191	50,16	3013	14,83	402	1,98



Tabela: Porcentagem de argila, areia e silte nos horizontes

Horizontes	%		
	Argila	Areia	Silte
SG1	62,5	21,25	16,25
SG2	67,5	17,5	15
SG3	65	18,75	16,25
SG4	63,75	22,5	13,75

Figura 5: Solo Serra Geral. (A): Descrição Geral, imagem representativa do solo e Descrição Morfológica. (B) Difratograma de raios-x, organizado da base (Horizonte BA) para o topo (HorizonteA1). (C) Tabela com valores da intensidade e respectiva porcentagem da intensidade dos minerais constituintes do solo, imagem das lâminas utilizadas para descrição mineralógica total não orientada (tot) e Tabela com valores da textura do solo.

3.1.2 Atributos físico-químicos.

Segundo apostila do prof. Antônio Azevedo a atividade da fração argila igual ou maior que 27 cmolc kg⁻¹ é designada de Ta ou “argila de atividade alta”, e quando o valor é inferior a 27 cmolc kg⁻¹ designada Tb ou “argila de atividade baixa”, foi calculada a partir dos valores da CTC potencial (pH 7) e do teor de argila dos horizontes subsuperficiais (Tabela 5) dos solos conforme segue:

$$\text{Atividade argila} = (\text{CTC}_{\text{pH7}} \times 1000) / \text{Quantidade argila (g kg}^{-1}\text{)}.$$

Tabela 5: Atividade da argila nos horizontes Bw dos Latossolos Bauru, Montividiu e Serra Geral.

Solos	Horizontes (w)	CTC	Argila	Atividade argila
		cmol _c dm ⁻³	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹
Bauru	Bw (100 cm +)	4,1	28,8	14,26087
Montividiu	Bw (70 a 120 cm)	2,4	51,3	4,682927
Serra Geral	Bw (110 cm +)	3	63,8	4,705882

Caracterizações físico-químicas, micro e macro porosidade e retenção de água (Tabela 6 e 7) foram realizadas pelo método padrão solo (Donagema et al. 2011).

Tabela 6: Composição e características físicas dos perfis.

	Horizontes (w)	Argila	Areia	Silte	PMP	Micro	Macro	Total	DAS	Ksat
		%			%			g cm ⁻³	cm h ⁻¹	
Bauru	A1 0-15 cm	26,3	70	3,8	12,12	25,56	9,73	35,3	1,7	7,46
	A2 15 -50 cm	26,3	71,3	2,5	12,64	26,4	8,37	34,77	1,59	22,38
	AB 50-100 cm	28,8	68,8	2,5	13,11	24,02	11,92	35,94	1,51	11,19
	Bw 100 cm +	28,8	67,5	3,8	12,56	25,51	10,01	35,53	1,5	6,96
Montividiu	A1 0 - 10 cm	38,8	51,3	10	23,1	37,25	12,16	49,41	1,17	12,43
	A2 10- 30 cm	50	42,5	7,5	23,43	36,17	6,82	42,99	1,27	0,37
	AB 30- 70 cm	51,3	42,5	6,3	24,75	40,49	8,74	49,24	1,24	1,74
	Bw 70- 120 cm	51,3	40	8,8	24,49	36,58	10,01	46,59	1,27	17,41
	C 120 cm +	56,3	35	8,8	30,19	41,6	8,97	50,58	1,32	4,97
Serra Geral	A1 0 - 30 cm	62,5	21,3	16,3	28,32	39,13	11,46	50,59	1,38	1,99
	A2 30 - 60 cm	67,5	17,5	15	27,56	38,66	8,5	47,17	1,22	1,86
	AB 60 - 110 cm	65	18,8	16,3	21,43	41,86	15,56	57,41	1,11	1,99
	Bw 110 cm +	63,8	22,5	13,8	21,9	34,21	18,21	52,42	1,05	23,62

Tabela 7: Características químicas dos perfis.

	Horizontes (w)	pH KCl	pH H ₂ O	H+	H+Al	Al ³⁺	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	P (Meh)	P (res)	P (rem)	MO	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Na	Si
		su			cmol dm ⁻³						%	mg dm ⁻³			%	mg/dm ⁻³								
Bauru	A1 0-15 cm	6,5	7	1,5	1,5	0	0,66	3,1	1,2	5,13	6,6	78	7,41	1,19	1,28	7,9	1,8	1,07	95,7	3,65	40,5	0,02	0,17	9,2
	A2 15 -50 cm	6,4	7,1	1,9	1,9	0	0,21	1,7	0,5	2,69	4,6	58	2,65	0,06	1,39	5,5	2,3	1,72	169,25	1,3	4,1	0,01	0,28	14,5
	AB 50-100 cm	6,2	7	1,7	1,9	0,2	0,25	1	0,2	1,65	3,6	46	1,98	0,03	1,39	3,1	2,1	1,74	172,05	0,99	5,1	0,01	0,2	0,5
	Bw 100 cm +	6,6	5,7	1,6	2	0,4	0,09	0,7	0,5	2,11	4,1	51	1,34	0,05	1,39	5,5	3,1	0,7	52,55	0,5	1,5	0,01	0,82	3,3
Montividiu	A1 0 - 10 cm	4,2	5,1	4,8	5	0,2	0,83	1,2	0,4	2,68	7,7	35	16,53	0,01	0,86	22	12,4	3,12	126,85	8,23	33,1	0,06	0,25	17,9
	A2 10- 30 cm	5,2	5,5	2,4	3	0,6	0,27	0,6	0,2	1,22	4,2	29	2,19	0,05	1,28	11,2	35,9	2,18	41,25	1,07	2,1	0,04	0,15	12
	AB 30- 70 cm	5,8	6,2	2,1	2,4	0,3	0,25	0,8	0,2	1,45	3,8	38	2,6	0,07	1,28	7,9	4,4	2,35	42,7	1,32	3,7	0,03	0,2	15
	Bw 70- 120 cm	6,3	6,2	1,1	1,9	0,8	0,05	0,2	0,1	0,48	2,4	20	1,99	0,06	1,39	3,6	3,4	2,62	50,3	0,98	0,9	0,01	0,13	3,4
	C 120 cm +	6,5	6,2	1,1	1,9	0,8	0,05	0,2	0,1	0,45	2,4	19	1,79	0,09	1,07	3,4	3,1	2	55,85	0,9	1,3	0	0,1	3,4
Serra Geral	A1 0 - 30 cm	6,3	5,9	2,4	2,4	0	0,09	2,5	1,1	3,72	6,1	61	1,18	0,09	1,28	17,4	3,4	2	42,8	0,2	41,6	0,01	0,03	19,7
	A2 30 - 60 cm	6,2	6	2,5	2,5	0	0,06	1,6	0,7	2,4	4,9	49	0,84	0,04	1,28	16	3,4	2,9	41,95	0,2	36,4	0,01	0,04	9,9
	AB 60 - 110 cm	6	6,1	2,2	2,7	0,5	0,02	0,7	0,5	1,26	4	32	0,84	0,08	1,28	10,3	3,7	2,7	30	0,1	14,3	0,01	0,04	8,5
	Bw 110 cm +	6,2	5,8	1,6	2,2	0,6	0,05	0,3	0,4	0,79	3	26	1,06	0,01	0,86	6,9	3,9	2,4	36	0,1	8,8	0,01	0,04	4,1

1 3.2 Rochas

2 As rochas estão descritas e caracterizadas nos Artigos 2 e 3.

3 4. REFERÊNCIAS

- 4 Akob, D. M., & Küsel, K. (2011), Where microorganisms meet rocks in the Earth's Critical
5 Zone, *Biogeosciences*, 8(12), 3531-3543,
- 6 Amundson, R. (2003), Soil formation, *Treatise on geochemistry*, 5, 1-35,
- 7 Bakken, A. K., Gautneb H., & Myhr K. (1997), The potential of crushed rocks and mine tailings as slow-releasing K
8 fertilizers assessed by intensive cropping of Italian ryegrass in different soil types, *Nutr Cycl Agroecosyst*
9 47: 41-48,
- 10 Banfield, J.F., Nealon, K.H., editors *Geomicrobiology: Interactions between Microbes and Minerals*, *Reviews in*
11 *Mineralogy*, 35, Mineralogical Society of America, Washington, D.C., 1998.
- 12 Bavoso, M. A., Silva, A. P. D., Figueiredo, G. C., Tormena, C. A., & Giarola, N. F. B. (2012). Physical resilience
13 of two red oxisols under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(6), 1892-1904.
- 14 Berg, G., & Smalla, K. (2009), Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of
15 microbial communities in the rhizosphere, *FEMS microbiology ecology*, 68(1), 1-13,
- 16 Bernasconi, Stefano M, et al. (2008) Intemperismo, formação do solo e evolução inicial ecossistema em uma geleira
17 forefield: um estudo de caso do Damma Glacier, na Suíça, *Mineralogical Revista*, v 72, n., 1, p, 19-22,
- 18 Brantley, S. L., Goldhaber, M. B., & Ragnarsdottir, K. V. (2007), Crossing disciplines and scales to understand
19 the critical zone, *Elements*, 3(5), 307-314,
- 20 Burford, E. P., Fomina, M., Gadd, G. M. Fungal involvement in bioweathering and biotransformation of rocks
21 and minerals, *Mineralogical Magazine* 67: 1127–1155, 2003,
- 22 Carvalho, A. M. X. de. (2012) Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em
23 agroecossistemas sob manejo agroecológico., Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa,
- 24 Chorover, J., Kretzschmar, R., Garcia-Pichel, F., & Sparks, D. L. (2007), Soil biogeochemical processes within
25 the critical zone, *Elements*, 3(5), 321-326,
- 26 Coleman, D. C., Callahan, M. A., & Crossley Jr, D. A. (2017). *Fundamentals of soil ecology*. Academic press.
- 27 Donagema, G. K., De Campos, D. B., Calderano, S. B., Teixeira, W. G., Viana, J. M. 2011. Manual de
28 métodos de análise de solo. Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E).
29 <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/990374/1/ManualdeMtodosdeAniliseSolo.pdf> (accessed 04 August 2018).
- 30
- 31 Dos Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Dos Anjos, L. H. C., De Oliveira, V. A., De Oliveira, J. D., Coelho, M. R.,
32 Cunha, T. J. F. 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
33 <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003> (accessed 01 August 2018).
- 34 Ferreira, J. M., Moreira, R. M. P., & Hidalgo, J. A. F. (2009), Capacidade combinatória e heterose em populações
35 de milho crioulo, *Ciência Rural*, 39(2), 332-339,
- 36 Gadd, G. M. Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi,
37 bioweathering and bioremediation, *Mycological research*, v, 111, n, 1, p, 3-49, 2007,
- 38 Görgen, C. A., Bizão, A. A., Ragagnin, V. A., Martins, E. S., Batista, N. T. F., Silva, F. S., Hack, E. 2011, Arranjo
39 Produtivo Local de base mineral no Sudoeste Goiano: uso de rochas regionais na agricultura, In: Francisco
40 Rego Chaves Fernandes; Maria Amélia Rodrigues da Silva Enriquez; Renata de Carvalho Jimenez Alamino,
41 (Org.), Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais, Rio de Janeiro:
42 CETEM/MCTI, v, 2, p, 45-68,
- 43 Goudie AS, Organic agency in calcrete development, *Journal of Arid Environments* 32: 103–110, 1996,
- 44 Grayston, S. J., Vaughan, D., & Jones, D. (1997), Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual
45 plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability, *Applied*
46 *soil ecology*, 5(1), 29-56,
- 47 Harley, A. D., Gilkes, R. J. 2000 Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock
48 powders: a geochemical overview, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v, 56, n, 1, p, 11-36
- 49 Hochella, M.F. Sustaining Earth: thoughts on the present and future roles in mineralogy in environmental science,
50 *Mineralogical Magazine*, 66, 627_652, 2002,
- 51 Houlden, A., Timms-Wilson, T.M., Day, M.J., and Bailey, M.J. 2008, Influence of plant developmental stage on
52 microbial community structure and activity in the rhizosphere of three field crops, *FEMS Microbiol, Ecol*,
53 65(2): 193–201,
- 54 Huang, P. M., Wang, M. K., & Chiu, C. Y. (2005), Soil mineral–organic matter–microbe interactions: impacts on
55 biogeochemical processes and biodiversity in soils, *Pedobiologia*, 49(6), 609-635,

- 56 Huang, X, F., Chaparro, J, M., Reardon, K, F., Zhang, R., Shen, Q., & Vivanco, J, M, (2014), Rhizosphere
57 interactions: root exudates, microbes, and microbial communities 1, *Botany*, 92(4), 267-275,
58 im Kontext von Agrargesellschaften, 1998 *Social Ecology Working Paper 5*, Wien,
59 Kämpf, N., & Kern, D, C, (2005), O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia, *Tópicos*
60 *em ciência do solo*, Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 4, 277-320,
61 Kämpf, N.; Curi, N.; Marques, J, J, 2009, Intemperismo e ocorrências de minerais no ambiente do solo, *Química*
62 *e Mineralogia do Solo: Conceitos básicos*, Viçosa, MG, SBCS, p, 333-379,
63 Keesstra, S, D., Quinton, J, N., van der Putten, W, H., Bardgett, R, D., & Fresco, L, O, (2016), The significance
64 of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals, *Soil*, 2(2),
65 111.
66 Lal, R. (1993). Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. *Soil and Tillage*
67 *Research*, 27(1-4), 1-8.
68 Lapido-Loureiro, F, E, V.; Nascimento, M, Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e
69 competitiva, In: LAPIDOLOUREIRO, F, E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J, (Ed.), *Fertilizantes:*
70 *agroindústria e sustentabilidade*, Rio de Janeiro: CETEM/Petrobrás, 2009, p, 81-132,
71 Latour, X., Philippot, L., Corberand, T., & Lemanceau, P, (1999), The establishment of an introduced community
72 of fluorescent pseudomonads in the soil and in the rhizosphere is affected by the soil type, *FEMS*
73 *microbiology ecology*, 30(2), 163-170,
74 Leonardos, O, H.; Theodoro, S, C, H.; Assad, ML Remineralização para uma agricultura sustentável: Uma
75 perspectiva tropical do ponto de vista brasileiro *Nutrient Ciclismo em Agroecossistemas* , Dordrecht, v,56,
76 p,3-9, 2000,
77 Lin, H, S., McDonnell, J, J., Nimmo, J, R., & Pachepsky, Y, A, (2015), *Hydropedology: Synergistic integration*
78 *of soil science and hydrology in the Critical Zone*, *Hydrological Processes*, 29(21), 4559-4561,
79 Lucas, Y.; Luizao, F,J.; Chauvel, A.; Rouiller, J.; Nahon, D, 1993, The relation between biológica activity of the
80 rain forest and mineral composition of soils, *Science*, 260: 521-523,
81 Marschner, P., & Crowley, D Yang, C, H, (2004), Development of specific rhizosphere bacterial communities in
82 relation to plant species, nutrition and soil type, *Plant and Soil*, 261(1-2), 199-208,
83 Marschner, P., Yang, C, H., Lieberei, R., & Crowley, D, E, (2001), Soil and plant specific effects on bacterial
84 community composition in the rhizosphere, *Soil Biology and Biochemistry*, 33(11), 1437-1445
85 Martins, E, S.; Theodoro, S, H, I Congresso Brasileiro de Rochagem, Anais,, Planaltina- DF, Embrapa Cerrados,
86 2010, 322p,
87 Moreira, F,M,S.; Siqueira, J,O, *Microbiologia e Bioquímica do Solo*, Editora UFLA, Lavras-MG, 2 ed., 2006,
88 Mosleh, Z, et al, Formation of hydroxy-interlayer vermiculite (HIV) in rhizosphere soils under German camomile
89 cultivation and manure application, *Clay Minerals*, v, 49, n, 1, p, 63-73, 2014,
90 Philippot, L., Raaijmakers, J, M., Lemanceau, P., & van der Putten, W, H, (2013), Going back to the roots: the
91 microbial ecology of the rhizosphere, *Nature Reviews Microbiology*, 11(11), 789-799.
92 Raij, Bernardo van, 1969, A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos, *Bragantia*, v,
93 28, n, unico, p, 85-112.
94 Rasmann, S, e Turlings, T, C, (2016), Root signals that mediate mutualistic interactions in the rhizosphere, *Current*
95 *Opinion in Plant Biology*, 32, 62-68.
96 Ronquim, C. C. (2010). Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Embrapa
97 Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Disponível em
98 <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/882598/1/BPD8.pdf>. Acesso em 19 de
99 novembro de 2018.
100 Santos, J, L, S, (2013), Biocarvão como condicionador da fertilidade e da microbiota de solo de cerrado cultivado
101 com soja, Tese.
102 Seybold, C. A., Herrick, J. E., & Brejda, J. J. (1999). Soil resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil*
103 *Science*, 164(4), 224-234.
104 Singh, B, K., Munro, S., Potts, J, M., & Millard, P, (2007), Influence of grass species and soil type on rhizosphere
105 microbial community structure in grassland soils, *Applied Soil Ecology*, 36(2), 147-155.
106 Soja, E, (2014), Sergio Luiz Gonçalves Jonathan Paul Lynch, Pelos radiculares: seleção de genótipos em soja,
107 girassol e trigo, *Boletim Técnico*, Londrina: Embrapa Soja.
108 Solos, E, (2013), Sistema brasileiro de classificação de solos, Centro Nacional de Pesquisa de Solos: RJ.
109 Theodoro, S, H., Leonardos, O, H., Guimarães, E, M, 2013(a), Influence of clay minerals on oxysol
110 Remineralization from the use of crushed rocks, XV International Clay Conference, Rio de Janeiro – RJ.
111 Uroz, S., Calvaruso, C., Turpault, M, P., & Frey-Klett, P, Mineral weathering by bacteria: ecology, actors and
112 mechanisms, *Trends in microbiology*, 17(8), 378-387, 2009.
113 Van Straaten, P, (2006), Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities, *Anais da Academia*
114 *Brasileira de Ciências*, 78(4), 731-747.

CAPÍTULO 2

115
116117 **2.1 ARTIGO 1- Pedogenetic Profiles from Genetically Distinct Oxisols in the**
118 **Southwestern Goiás Region and Some Fertility Implications**

119

120 Claudia Adriana Górgen^a, Edi Mendes Guimarães^{a,*}, Murillo Lobo Junior^b121 ^aUniversidade de Brasília, Instituto de Geociências, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC

122 - Ala Central CEP 70.910-900 – Brasília, DF, Brazil. CEP 70919-970

123 ^bEmbrapa Arroz e Feijão - Rodovia GO-462, km 12. Santo Antônio de Goiás, GO, Brazil. CEP:
124 75375-000.

125 *Corresponding author

126 E-mail addresses: gorgenclaudia@gmail.com (C. A. Górgen), murillo.lobo@embrapa.br (M.
127 Lobo Junior), rxedi@unb.br (E. Mendes Guimarães)

128

129 **ABSTRACT** – Three Oxisols from distinct lithostratigraphic units in the southwest region of
130 Goiás State, Brazil, were subjected to mineralogical, micromorphological and physicochemical
131 analysis to support regional soil fertility management. Deformed and nondeformed samples of
132 soils that were labeled as Bauru, Montividiu and Serra Geral were taken from each profile at a
133 depth of down to 2 m. There was a straight influence of the parent material in the soil texture,
134 with sandstone resulting in the sandy Bauru soil, and sandy and pelitic layers accounted for in the
135 sandy-clayey Montividiu soil. Further, the Serra Geral soil's clayey texture was linked to basalt
136 weathering. The soil samples' mineralogical composition was determined by X-ray
137 diffractograms. Such imaging showed that the three types of soil shared different proportions of
138 minerals—quartz, gibbsite, kaolinite, and anatase. Different ferric species were identified in the
139 samples: goethite in Montividiu and hematite in Bauru and Serra Geral, which also contained
140 maghemite. In each type of soil, the proportion of minerals also varied between the whole sample

141 and the clay fraction. The micromorphology of the soil grains, assessed by scanning electron
142 microscopy, showed aspects of quartz dissolution and the neoformation of mineral phases that
143 primarily consisted of Si, Al, Fe and Ti, which influence the charge of each soil. The
144 dissimilarities between the Oxisol profiles were endorsed by principal component analysis as a
145 result of their distinct physicochemical, mineralogical and micromorphological traits. The
146 understanding of such differences in parent material and weathering features that include
147 examples of mineral neoformation in highly weathered soils allow for an improved overview of
148 soil fertility management.

149

150 Keywords - Soil genesis, pedogenesis, mineral weathering, soil micromorphology.

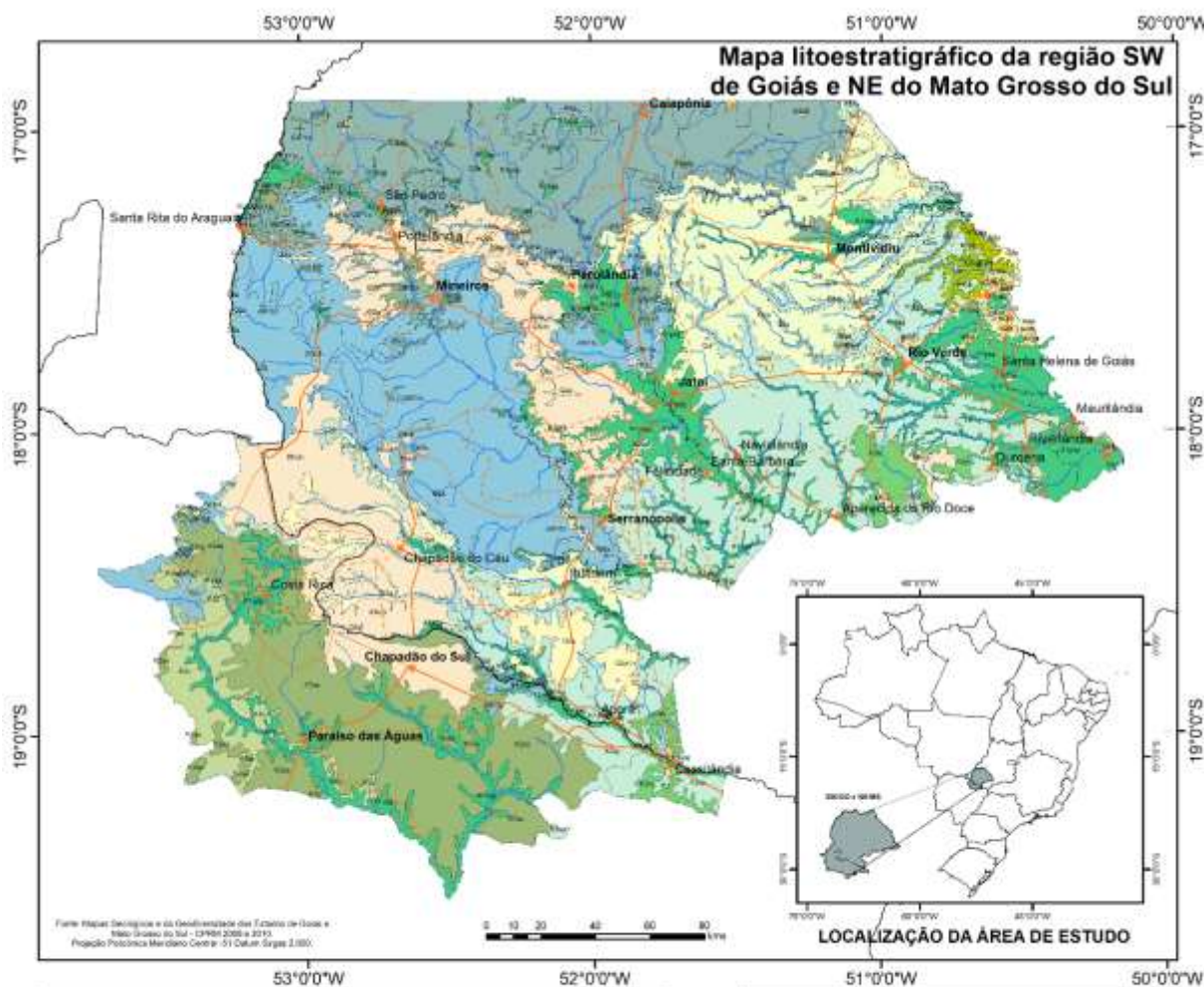
151

152 **1. Introduction**

153 The different interactions between soil minerals, water, atmosphere, microorganisms,
154 and plants result in weathering patterns that are globally known as podzolization, bissialization,
155 monosialization and alitisation zones (Strakhov, 1967). The progression of weathering in the
156 monosialitization and alitization zones leads to the formation of 1:1 clay minerals (kaolinite
157 group), aluminum sesquioxides (gibbsite) and iron (goethite), which characterizes the soils of
158 the intertropical region. This region covers the largest extension of the Brazilian territory, in
159 which Oxisols are predominant, extending over 38.7% of the country's area and more than 50%
160 of the Center-West and Southeast regions (Manzatto et al., 2002). These soils have well-drained
161 deep profiles with minor differences between their horizons, with kaolinite and sesquioxides
162 recognized as the main components of their clay fraction (Dos Santos et al., 2013).

163 The soils from the southwest region of Goiás to the northeast region of Mato Grosso do
164 Sul in Central Brazil primarily originate from the weathering of lithostratigraphic units belonging
165 to the Paraná Basin from the Paleo to the Mesozoic era (Figure 1), which comprises siliciclastic

166 and carbonate sedimentary lithotypes. They are intruded or covered by igneous rocks mostly of
167 basaltic composition, and locally overlaid by cenozoic little lithified detrital deposits.



COBERTURAS DO CENOZOICO

Qa	Depósitos aluvionares: Sedimentos a luvionares inconsolidados constituídos por areias, areias finas a grossas, com níveis de calcários, lençóis de material silto-argiloso e restos de matéria orgânica, relacionados a planícies de inundação, bairros e canais de canais formados atuais. Localmente, podem conter malacófitas.
Gr	Depósitos detriticos indifferenciados: Areia fina a grossa localmente silto-argilosa e mais raramente conglomeráticos formando terrços argilo arenosos com cascalhos dispersos, e níveis de material transportado e ferruginizado constituído por material rico em óxido e hidróxido de ferro.
Ma	Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas: Coberturas de solos resultam argilo-arenosos e argilo-siltosos, total ou parcialmente laterizados, e estão camadas ferruginosas escuras a marrom-avermelhadas. Podem conter, ainda, níveis de areia e argila compacta. Com níveis conglomeráticos na porção inferior.
Ev	Formação Cachoerinha: Depósitos arenito argiloso vermelho a amarelados parcialmente laterizado, lençóis de conglomerado, argilo-arenito avermelhado, grãos de areia expostos.

ERA MEZOZOICO

K2m	Grupo Beauri (PERÍODO CRETÁCEO)
K2p	Formação Marília: Arenito grosso a fino, macizo, conglomerático com clastos de quartzo, calcário, rochão carbonífero basalto e fragmentos de osso.
K2v	Formação Vale do Rio do Peixe: Arenito muito fino a fino com lençóis de arenito conglomerático com intradas de argiloso ou carboníferos.
K2b	Rochas Alcalinas intrusivas vulcânicas
K2a	Formação Verdinho: Conglomerado vulcânico de seixos a máculas com intercalações de arenito túfano.
K2c	Formação Santo Antonio de Barra: Anacimto e silva anacimto constituindo domos e brechas vulcânicas.
K2d	Grupo Caiuá (PERÍODO CRETÁCEO)
K2e	Formação São Antonio: Arenito quartzoso a subarenoso.
K2f	Formação São Anastácio: Arenito quartzoso, fino a muito fino, seleção pobre e pouca matriz silicoargilosa; arenito carbonífero.
K2g	Grupo São Bento (PERÍODO CRETÁCEO A TRIÁSSICO)
K2h	Formação Serra Dental: Basalto e basalto-arenito muito e rodado, túfano. Intercale camadas de arenito e ilmenite.
K2i	Formação Botucatu: Arenito fino a grosso de coloração avermelhada, grãos bem arredondados, estratificação cruzada de grande porte.

ERA PALEOZOICO

P2f	Grupo Passa Dois (PERÍODO PERMIANO)
P2a	Formação Correntina: Silto argiloso, folhelho silício, arenito, calcário micáceo e microssparítico, níveis orgânicos.
P2b	Formação Itati: Folhelho negro a bituminoso, calcário dolomítico, silto e argilo cinza escuro, silteito, margo, portador de espículas microssparíticas.
P2c	Formação Aquidauana (PERÍODO CARBONIFERO): Arenito vermelho a rosado, médio a grosso, arenito arenoso, de arenito, arenito conglomerático.



169 **Fig 1.** A lithostratigraphic map of the southwest Goiás and the northeast Mato Grosso do Sul
170 Brazilian states. Adapted from Moreira et al. (2008) - Geologia do Estado de Goiás e Distrito
171 Federal.

172 The Southwest region of Goiás state sums 6.17 million ha, with about 36.6% of its
173 lithotypes or soils belonging to the Bauru group ($\approx 17\%$ or 1.1 million ha), undifferentiated
174 Detrital Deposits ($\approx 9\%$ or 0.56 million ha) and basaltic rocks of the Serra Geral Formation (\approx
175 10% or 0.61million ha) (Moreira et al., 2008). Oxisols are predominant in this region, fostering
176 the cultivation of soybean, maize, cotton, common bean, sorghum, sugarcane, and pastures
177 (Görgen et al., 2011). These Oxisols evolved from diverse substrates (Jenny, 1941; Skorupa et
178 al., 2017), and differ in terms of their reaction to soluble fertilizers, as well as corrective and soil
179 conditioners, thus affecting crop productivity (Brait, 2008).

180 Nevertheless, the description and awareness of the regional soil genesis, along with the
181 current understanding of weathering and mineral neoformation, may support new inferences
182 about soil fertility management. Therefore, the purpose of this study was to i) characterize the
183 mineralogical, micromorphological and physicochemical attributes of the three soils; ii) estimate
184 of the main vectors of variability of the sampled profiles; and iii) clarify the pedogenetic
185 characteristics of each soil and their implication in fertility management.

186

187 **2. Material and Methods**

188 The regional climate, according to Köppen's classification is Awa, mega-thermal: a
189 humid tropical savannah with rainy summer and dry winter. The average annual rainfall ranges
190 between 1200 mm and 1600 mm. The mean temperature is around 18.2°C (July) and 24.4°C
191 (October), with a mean thermal amplitude of 6.2°C (Mariano et al., 2006). According to the
192 regional context and previous studies (Görgen et al., 2011), three sampling points,
193 representative of the soils developed on the Serra Geral Formation, the Bauru Group and the

194 undifferentiated Detrital Deposits were chosen and labeled here as Serra Geral, Bauru,
 195 Montividiu soils (Table 1).

196 **Table 1:** Location of the soil profiles in study.

Lithostratigraphic unit	Municipality	Coordinates	Altitude	Soil identification
Bauru Group	Rio Verde	17° 52' 46.79" S 51° 3' 22.81" W	741m	Bauru
Undifferentiated Detritic Deposits	Montividiu	17° 0' 14.83" S 51° 2' 9.13" W	827 m	Montividiu
Serra Geral Formation	Rio Verde	17° 40' 55.62" S 50° 50' 23.26" W	757 m	Serra Geral

197
 198 The Serra Geral Formation (São Bento Group) consists of basalts, which form a
 199 topographic high flat to undulant surface, and are massive, gray-dark, thin grained, homogeneous,
 200 sometimes amygdaloid structures and with columnar disjunctions. The basalts consist primarily
 201 of plagioclase (Si, Al, Ca and Na) and pyroxene (Si, Al, Fe, Mg and Ca) minerals, with trace
 202 elements (Ti, Ni, Sr, Mn, Zn, Co) and rare earth elements. The Bauru Group is a sedimentary
 203 sequence with a maximum thickness of 300 m, with a huge extension in the Goiás state, where
 204 the Vale do Rio do Peixe Formation is predominant, with a minor contribution from the Marília
 205 Formation. In both cases, sandstones are the prevailing composition. Undifferentiated Detrital
 206 Deposits are comprised of residual or transported sediments, forming almost plane terraces that
 207 overlay the São Bento and Bauru groups and the Cachoeirinha Formation (Moraes, 2014). Layers
 208 of fine to coarse-grained sand, silt, and clay, comprised of quartz, gibbsite, and kaolinite, form
 209 these partially lithified sediments.

210

211 *2.1 Soil sampling*

212 The soil profile descriptions were generated on October 20, 2016, in 2 m × 1 m² –deep
 213 trenches (Dos Santos et al., 2013), and included color characterization (Munsell Color, 1994).
 214 Deformed samples were collected in each soil profile horizon for mineralogical and

215 physicochemical measurements, while non-deformed samples (in concentric rings) were
216 obtained to estimate water retention, porosity, density and electrical conductivity.

217

218 *2.2 Physicochemical analysis*

219 Physical analysis was performed according to the specifications set forth by Donagema
220 et al. (2011) regarding granulometry (sodium hexametaphosphate), saturated hydraulic
221 conductivity, apparent bulk density, porosity and permanent wilting point. Physical analyses,
222 with the exception of granulometry, were performed at the Agroenvironmental Laboratory of
223 Embrapa Arroz e Feijão. The difference between the pH values in KCl and H₂O defined the Δ
224 pH (Mekaru & Uehara, 1972) and the Zero Point of Charge, the pH at which the net surface
225 charge is zero (Keng and Uehara 1974). The estimates of H⁺, Al⁺, cation exchange capacity at
226 pH7 (CEC), base saturation, organic matter, and Fe⁺⁺ were determined according to Donagema
227 et al. (2011). The amount of Si⁺ available in the soil solution was determined with saline CaCl₂,
228 as proposed by Korndörfer et al. (2004).

229

230 *2.3 Mineralogical analysis*

231 The mineral composition of each soil was identified in the Laboratory of X-ray Diffraction
232 at the Universidade de Brasília (UnB) in RIGAKU - Ultima IV diffractometer, operating with
233 copper tube and nickel filter, under 35 Kw and 15 mA, with step 0,05°, speed 5° / min, scanning
234 range of the total sample 0.2-80° and the clay fraction 0-40 °. Minerals were identified in X-ray
235 diffractograms by their typical d reflections according to the International Center for Diffraction
236 Data (ICDD). In this work, with respect to statistical analysis, a single reflection was selected for
237 each mineral, matching its maximum intensity according to the (ICDD) standards (Table 2). An
238 exception was considered for quartz, where we opted for reflection at $d \approx 4.26 \text{ \AA}$, to minimize
239 interferences with the more common soil minerals. In each diffractogram, the sum of the

240 intensities of the selected reflections was normalized to 100% and the reflection intensity of each
 241 mineral was converted to a percentage.

242 **Table 2:** Positions of the reflections in 2-Theta (copper anode), respective interplanar distance
 243 d (Å) and crystallographic plane, along with their intensity and respective percentages.

Mineral phase	2-Theta (Cu)	d (Å)	(h k l)	Intensity	I%
Kaolinite (Al₂Si₂O₅(OH)₄)	12.278	7.2	(0 0 1)	758	100.0
Gibbsite (Al(OH)₃)	18.455	4.85	(0 0 2)	2498	100.0
Quartz (SiO₂)	20.970	4.26	(1 0 0)	17985	16.0
Anatase (TiO₂)	25.414	3.52	(1 0 1)	969	100.0
Hematite (Fe₂O₃)	33.321	2.69	(1 0 4)	1531	100.0
Goethite (FeO(OH))	21.253	4.18	(1 1 0)	1189	100.0
Maghemite (Fe₂O₄)	35.762	2.50	(3 1 1)	1739	100.0

244

245 *2.4 Electromyography and microanalysis with EDS*

246 Scanning electron microscopy with energy dispersive spectrometry (SEM-EDS) was used to
 247 characterize the soil (shape, size and texture of grain and particles), identify possible dissolution
 248 and/or neoformation reactions in mineral surfaces, and identify their elemental constitution
 249 (Dedavid et al., 2007). Images were captured by a SEM FEI QUANTA 450 microscope in UnB's
 250 Laboratory of Geochronology and Isotopic Geology at the Institute of Geosciences. Glass slides
 251 with ~ 1 g of air-dried fine soil from each sample were distributed on glass slides and analyzed
 252 under low vacuum after carbon metallization. The voltage acceleration of 25 kV and an
 253 approximate working distance of 11 mm were used to obtain backscattered electrons.

254

255 *2.5 Statistical analysis*

256 The dissimilarities between the soil profiles as a function of their physical, chemical,
 257 mineralogical and micromorphological traits were verified by principal component analysis

258 (PCA), which was supported by the PAST program 3.20 (University of Oslo, Norway). All the
259 variables assessed in steps 2.2, 2.3 and 2.4 were assembled in a single dataset to run the PCA
260 and verify how distinct or similar the three Oxisols could be from a holistic point of view.

261

262 **3. Results and Discussion**

263 *3.1 Physicochemical soil attributes*

264 The physicochemical attributes, summarized in Table 3, vary between the three soils
265 and in their respective horizons. The main morphological differences were the A1 horizon
266 colors, classified as 10R3/3, 10YR6/3 and 7,5R3/3, respectively in the Bauru, Montividiu and
267 Serra Geral soils, matching their sandy, sandy-clay and clayey texture (Table 3). The apparent
268 bulk density decreased downward in the Bauru (1.70 to 1.50 g cm⁻³) and Serra Geral (1.38 to
269 1.05 g cm⁻³) soils, but not in the Montividiu (1.17 to 1.32 g cm⁻³). The permanent wilting point
270 and microporosity varied distinctly in the soil horizons of Bauru (12 to 13 and 24 to 26%),
271 Montividiu (23 to 30 and 36 to 40%) and Serra Geral samples (21 to 28 and 34 to to 41%). A
272 lower macroporosity was found in the Montividiu (6 to 12%) and Bauru soils (8 to 12%), in
273 contrast with the Serra Geral soil (8 to 18%). The saturated hydraulic conductivity was
274 heterogeneous along each profile, suggesting different drainage capacities.

275 Some chemical attributes, such as CEC, base saturation, and organic matter, decreased in the
276 deeper layers of each type of soil. The pH values – H₂O and KCl – and the delta pH and zero
277 charge point were distinct along each profile and between the soils. The Bauru soil was
278 electronegative in the A1 to AB horizons (-0.5 to -0.8), changing to electropositive (0.9) in Bw.
279 A similar pattern was observed in the Montividiu soil, electronegative (-0.9) on the surface and
280 positive in the C horizon (0.3). Positive charges were predominant in the Serra Geral profile
281 except in the AB horizon (-0.1). The aluminum content presented a rising trend from the top to
282 the base of the Bauru (0 to 0.4 cmolc/dm³) and Serra Geral (0 to 0.6 cmolc/dm³) profiles, while

283 higher values (0.2 to 0.8 cmolc/dm^3) were randomly distributed in the Montividiu, as well as Si
284 and Fe in the Bauru, soils. This random distribution of ions in soil can be considered an effect
285 of the lateritization process. However, this effect does not appear in the Serra Geral profile
286 because Si and Fe decrease from the top to the base of the sample.

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308 **Table 3:** Physical-chemical attributes of the horizons of three Oxisols (Bauru, Montividiu and Serra Geral) located in the Southwest region of the
 309 Brazilian Goiás state, evolved from different geological substrates. (a) PWP: permanent wilting point (1505.66 kPa). (b) ABS: apparent bulk
 310 density. (c) Ksat: saturated hydraulic conductivity, Δ pH: (d) delta pH, (e) PCZ: zero load point, (f) V: base saturation, (g) O.M.: organic matter.

Horizon/ Depth	Munsell color	Physical Attributes							Chemical Attributes										
		Clay	Sand	PWP ^(a)	Micro	Macro	ABS ^(b)	Ksat ^(c)	pH _(H2O)	pH _(KCl)	Δ pH ^(d)	PCZ ^(e)	H ⁺	Al ⁺	CEC	V ^(f)	O.M. ^(g)	Si	Fe
cm		%		Porosity (%)		g cm ⁻³	cm h ⁻¹	s.u.					cmolc/dm ³		%		ppm	mg dm ⁻³	
Bauru – red oxisol																			
A1 / 0 to 15	10R3/3	26.3	70	12.12	25.5	9.73	1.7	7.4	7	6.5	-0.5	6	1.5	0	6.6	78	0.8	9.2	95.7
A2 / 15 to 50	10R3/3	26.3	71.3	12.64	26.4	8.37	1.59	22.3	7.1	6.4	-0.7	5.7	1.9	0	4.6	58	0.5	14.5	169.25
AB / 50 to 100	7.5R3/3	28.8	68.8	13.11	24	11.92	1.51	11.1	7	6.2	-0.8	5.4	1.7	0.2	3.6	46	0.3	0.5	172.05
Bw / 100 cm +	7.5R3/3	28.8	67.5	12.56	25.5	10.01	1.5	6.9	5.7	6.6	0.9	7.5	1.6	0.4	4.1	51	0.5	3.3	52.55
Montividiu – yellow red oxisol																			
A1 / 0 to 10	10YR6/3	38.8	51.3	23.1	37.2	12.16	1.17	12.4	5.1	4.2	-0.9	3.3	4.8	0.2	7.7	35	2.2	17.9	126.85
A2 / 10 to 30	10YR5/6	50	42.5	23.43	36.1	6.82	1.27	0.3	5.5	5.2	-0.3	4.9	2.4	0.6	4.2	29	1.1	12	41.25
AB / 30 to 70	10YR6/4	51.3	42.5	24.75	40.4	8.74	1.24	1.7	6.2	5.8	-0.4	5.4	2.1	0.3	3.8	38	0.8	15	42.7
Bw / 70 to 120	7.5YR6/4	51.3	40	24.49	36.5	10.01	1.27	17.4	6.2	6.3	0.1	6.4	1.1	0.8	2.4	20	0.4	3.4	50.3
C / 120 cm +	5YR5/6	56.3	35	30.19	41.6	8.97	1.32	4.9	6.2	6.5	0.3	6.8	1.1	0.8	2.4	19	0.3	3.4	55.85
Serra Geral – red oxisol																			
A1 / 0 to 30	7.5R3/3	62.5	21.3	28.32	39.1	11.46	1.38	1.9	5.9	6.3	0.4	6.7	2.4	0	6.1	61	1.7	19.7	42.8
A2 / 30 to 60	7.5R3/3	67.5	17.5	27.56	38.6	8.5	1.22	1.8	6	6.2	0.2	6.4	2.5	0	4.9	49	1.6	9.9	41.95
AB / 60 to 110	7.5R3/3	65	18.8	21.43	41.8	15.56	1.11	1.9	6.1	6	-0.1	5.9	2.2	0.5	4	32	1	8.5	30
Bw / 110 cm +	7.5R3/3	63.8	22.5	21.9	34.2	18.21	1.05	23.6	5.8	6.2	0.4	6.6	1.6	0.6	3	26	0.7	4.1	36

311 The clay value of the Bw horizons was estimated with $CEC (pH7) \times 1,000$ and its meaning along the clay content (g kg⁻¹). The clay activity of Bauru, Montividiu and Serra
 312 Geral soils was 14.26, 4.68 and 4.70, respectively.

3.2 Soil mineral composition

The X-ray diffractograms (Figure 2) revealed the presence of four minerals, namely quartz, gibbsite, kaolinite and anatase, which were common to the three soils and with different proportions according to their reflection intensities. The presence of Fe was mainly confirmed by hematite in the Bauru and Serra Geral soils and, regardless of varying proportions, both are red in color. While Serra Geral soil also contains maghemite, iron in the Montividiu soil comes from goethite. The presence of calcite only in the A1 surface horizon of the Bauru soil was attributed to repeated limestone application during crop management.

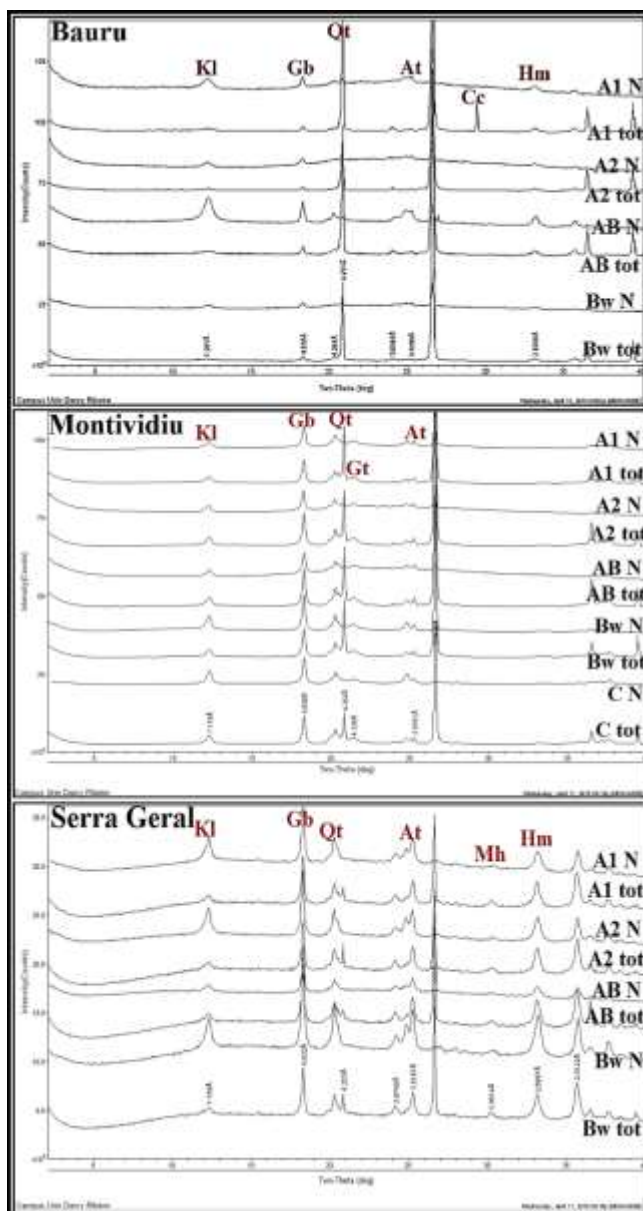


Fig 2. X-ray diffractograms with the mineral constitution of the whole sample (tot) and the clay fraction (N) of three Oxisols from the southwest region of Goiás state, showing an variation of reflection intensities along and between their profiles. The reflections that are indicated are those used to calculate percentages. Kl = kaolinite; Gb = gibbsite; Qt = quartz; At = anatase; Hm = hematite; Gt = goethite; Mh: maghemite; Cc = calcite.

The mineral compositions of the whole sample (<64 μm) and the clay fraction (<2 μm) are similar in the horizons of each profile, despite variations on the reflection intensities (Table 4). In general, the quartz reflections are prominent in the whole sample as the main constituent of the Bauru and Montividiu soils. In contrast, quartz in the clay fraction presents low percentages of intensities. The percentages of gibbsite were higher in the clay fraction than in the whole sample. The kaolinite, which is a trace constituent in most of the whole sample, always stands out as the minor constituent of the clay fraction of all horizons, reaching (38.5%) the AB horizon of the Bauru soil.

Table 4: Mineral composition of the total sample (tot) and the clay fraction (n) of the horizons of the Bauru, Montividiu and Serra Geral Oxisols, according to the reflection intensities and respective percentages in X-ray diffractograms.

Horizon / Depth (cm)	Total sample (tot) Clay fraction (n)	Quartzo	Caulinita	Gibbsita	Anatásio	Hematita	Goethita	Calcita	Maguemita
		$d \sim 4,26 \text{ \AA}$	$d \sim 7,20 \text{ \AA}$	$d \sim 4,85 \text{ \AA}$	$d \sim 3,52 \text{ \AA}$	$d \sim 2,69 \text{ \AA}$	$d \sim 4,18 \text{ \AA}$	$d \sim 3,03 \text{ \AA}$	$d \sim 2,95 \text{ \AA}$
Reflexion intensity / reflexion percentage (%)									
Bauru – red oxisol									
A1/0 a 15	tot	41279/ 73.6	428/ 0.8	06668/ 11.9	00295/ 0.5	0704/ 01.3	0/ 0	6741/ 12	0/ 0
	n	437/ 11.9	1016/ 27.7	01139/ 31.0	00340/ 09.3	0546/ 14.9	0/ 0	197/ 5.4	0/ 0
A2/ 15 a 50	tot	18528/ 88.4	311/ 1.5	01038/ 5.0	00340/ 1.6	0745/ 3.6	0/ 0	0/ 0	0/ 0
	n	443/ 16.8	00724/ 27.5	00791/ 30.1	00373/ 14.2	0299/ 11.4	0/ 0	0/ 0	0/ 0
AB/ 50 a 100	tot	26984/ 89.1	00405/ 1.3	01526/ 5.0	00432/ 1.4	0934/ 03.1	0/ 0	0/ 0	0/ 0
	n	315/ 2.7	04440/ 38.5	04032/ 34.9	01084/ 9.4	1671/ 14.5	0/ 0	0/ 0	0/ 0
Bw/ 100 +	tot	31534/ 90.3	00395/ 1.1	01605/ 4.6	00466/ 1.3	0928/ 2.7	0/ 0	0/ 0	0/ 0
	n	1370/ 31.7	00816/ 18.9	01281/ 29.6	00393/ 09.1	0469/ 10.8	0/ 0	0/ 0	0/ 0
Montividiu – yellow red oxisol									

A1/0 a 10	tot	16458/ 54.6	2529/ 8.4	08635/ 28.6	01757/ 5.8	0/ 0	0789/ 2.6	0/ 0	0/ 0
	n	00360/ 3.6	1514/ 15.2	05959/ 60.0	01178/ 11.9	0/ 0	0924/ 9.3	0/ 0	0/ 0
A2/10 a 30	tot	11828/ 50.9	1704/ 7.3	07472/ 32.1	01433/ 6.2	0/ 0	0822/ 3.5	0/ 0	0/ 0
	n	710/ 10.2	1359/ 19.4	03895/ 55.7	00648/ 09.3	0/ 0	0377/ 5.4	0/ 0	0/ 0
AB/30 a 70	tot	12273/ 50.9	1813/ 7.5	08169/ 33.9	01531/ 6.4	0/ 0	0315/ 1.3	0/ 0	0/ 0
	n	185/ 3.3	1029/ 18.6	03441/ 62.2	00558/ 10.1	0/ 0	0318/ 5.8	0/ 0	0/ 0
Bw/70 a 120	tot	13483/ 56.0	1420/ 5.9	07215/ 30.0	01201/ 5.0	0/ 0	0749/ 3.1	0/ 0	0/ 0
	n	572/ 4.7	0311/ 2.6	09217/ 76.1	01070/ 8.8	0/ 0	0943/ 7.8	0/ 0	0/ 0
C/120 +	tot	08219/ 38.1	2526/ 11.7	08410/ 38.9	01703/ 7.9	0/ 0	0741/ 3.4	0/ 0	0/ 0
	n	174/ 0.6	8902/ 28.9	17826/ 57.9	01962/ 6.4	0/ 0	1932/ 6.3	0/ 0	0/ 0
Serra Geral – red oxisol									
A1/0 a 30	tot	01090/ 10.2	00624/ 5.9	4474/ 42.1	1959/ 18.4	2063/ 19.4	0/ 0	0/ 0	0429/4.0
	n	133/ 0.8	02492/ 15.9	8064/ 51.3	2426/ 15.4	2372/ 15.1	0/ 0	0/ 0	0234/ 1.5
A2/30 a 60	tot	2213/ 18.1	00629/ 5.2	4949/ 40.6	1771/ 14.5	2179/17.9	0/ 0	0/ 0	0457/3.7
	n	141/ 01.1	02496/ 18.6	6450/ 48.1	2005/ 14.9	2014/ 15.0	0/ 0	0/ 0	0314/ 2.3
AB/60 a 110	tot	900/ 7.8	00733/ 06.3	5166/ 44.5	2051/ 17.7	2327/ 20.1	0/ 0	0/ 0	0421/ 3.6
	n	124/ 2.2	00469/ 08.3	3254/ 57.8	0830/ 14.7	0753/ 13.4	0/ 0	0/ 0	0202/ 3.6
Bw/110+	tot	1771/ 15.5	00556/ 4.9	4418/ 38.6	1968/ 17.2	2222/ 19.4	0/ 0	0/ 0	0506/ 4.4
	n	282/ 1.4	02840/ 13.8	10191/49.5	3013/ 14.6	3869/ 18.8	0/ 0	0/ 0	0402/ 2.0

Standard reflections confirm the presence of anatase in the heated samples. In the Bauru soil, the anatase is a trace constituent (<1.4%) in the whole sample and in less than 10% (except in AB ~14%) of the clay fraction. The highest anatase content is in the Serra Geral soil, which comprises nearly 17% in the whole sample and ~15% in the clay fraction. In the Montividiu soil, the anatase content has intermediate values in the Bauru and Serra Geral soils, which were attributed to the contribution of the sediment source from the Serra Geral.

In general, the minerals of pedogenic origin (kaolinite, gibbsite, goethite, anatase and hematite) were in a higher proportion in the clay fraction of the Bauru and Montividiu soils. However, in the Serra Geral soil, a higher percentage of hematite and anatase within the whole sample indicates mafic minerals, titanite or ilmenite, derived from the parent rock.

3.3 Electromyography and chemical composition of soil particles

The SEM-EDS images showed different soil grain forms, the presence of fractures and dissolution features, particle aggregates, and a detailed overview of the current pedogenetic stage. In the Bauru soil, fractures and lines of dissolution were observed in the quartz grains (Figure 3). The particles of silica and silica-aluminous composition, with the contribution of iron and calcium, found inside the fractures and in the surface of the grains are probably neoformed minerals. The Montividiu soil (Figure 4) has a mixed granulation with larger grains of quartz, on which silicon-aluminum particles were interpreted as neoformed minerals in the form of kaolinite and gibbsite, that were also present in the smaller particles and eventually with iron. The Serra Geral grains (Figure 5) have aggregates of smaller particles that primarily consist of iron, which is associated in varying proportions with aluminum and titanium and rarely with silicon.

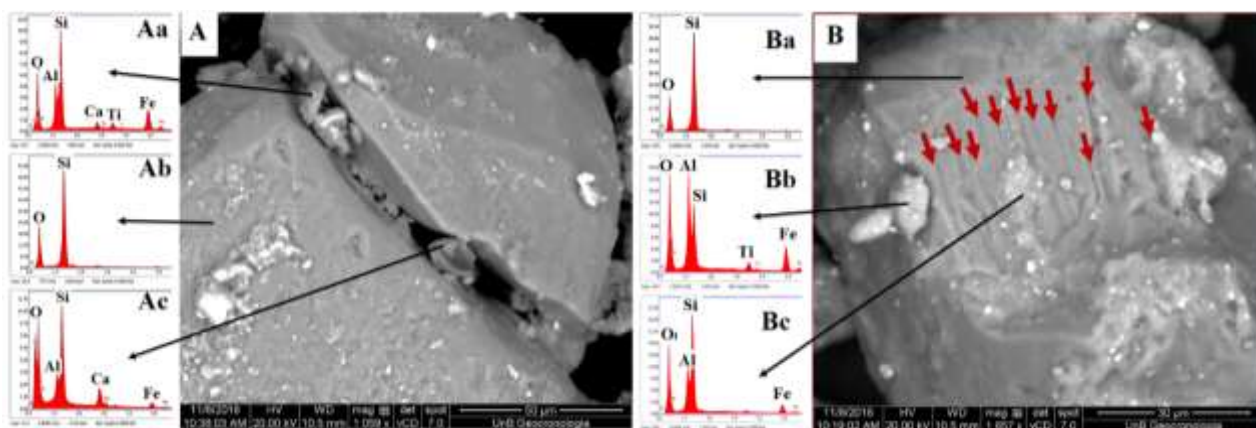


Fig 3. Micromorphology of Bauru soil grains in the A1 superficial horizon. (A) Particle consisting of Si, Al and Ca (Aa and Ac), possibly neoformed minerals in the fracture of the quartz grain (Ab). (B) Aggregates of material consisting of Al, Si, Fe and Ti (Bb and Bc) on the surface of quartz (Ba) and micro-grooves (red arrows) interpreted as dissolution features.

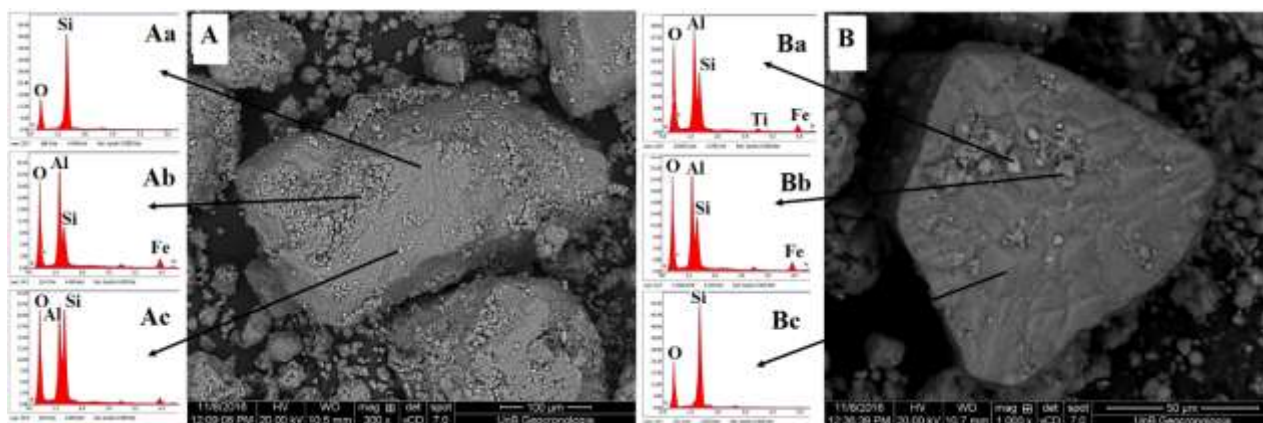


Fig 4. Micromorphology of Montividiu soil grains in the A1 superficial horizon. (A) Particles of Al and Si (Ab and Ac), attributed to kaolinite with iron contribution, probably as neoformed minerals, found on the quartz grain surface (Aa). (B) The surface of the quartz macro-aggregates (Bc), primarily comprised of Al and Si with the contribution of Fe (Ba and Bb).

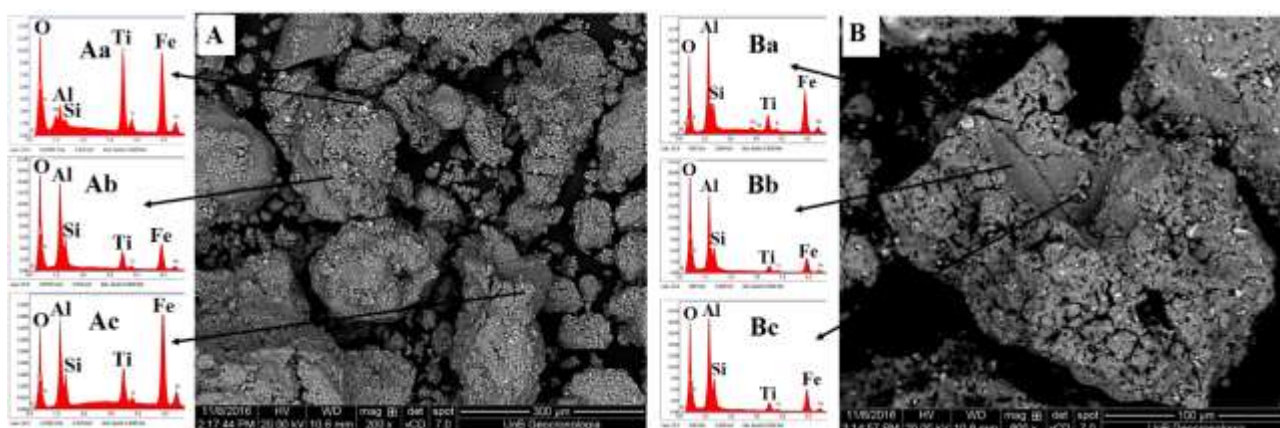


Fig 5. Micromorphology of Serra Geral soil grains in the A1 superficial horizon. (A) Mineral micro-aggregates with low Si content and high values of Fe (Ac), Ti (Aa) and Al (Ab). (B) An aggregate of minerals composed mainly of Al with of Fe and Ti (Bb and Bc) and Ca (Ba).

3.4 Vectors of dissimilarity between the Oxisols

PCA evidences the differences between the three Oxisols' respective profiles, which were clustered according to their physicochemical attributes and mineral composition (Figure 6). The first two axes of PCA explained 37.88% and 22.15% of the variance, respectively, which totaled 60.03%. The joint analysis represented in the PCA biplot summarizes the profiles' differences

and facilitates the interpretation of the links between each soil and parent material, as well as their implications in fertility management. In this case, the mineral and physical attributes were the first two components regarded as the main vectors of dissimilarity between the Oxisols' profiles, accounting on 60.0% or explained variability, in contrast to the chemical parameters that had a lower influence.

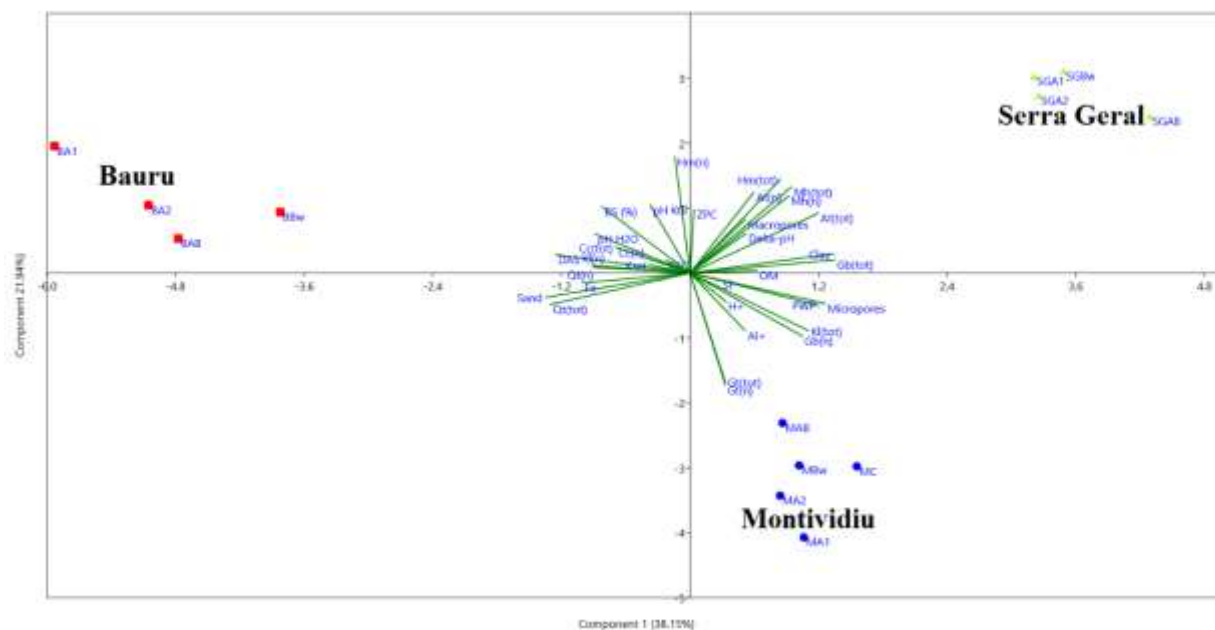


Fig 6. A PCA biplot of mineralogical, chemical and physical attributes of three Oxisols and respective horizons. B = Bauru; M = Montividiu and SG = Serra Geral. (N) Quartz-Qt, Kl-kaolinite, Gb-gibbsite, Gt-goethite, Hm-hematite, At-anatase, Cc-calcite. Physical: Clay, sand, PWP-permanent wilting point, micro and macroporosity, ABS-apparent bulk density, Ksat-saturated hydraulic conductivity. Chemicals: pH (H₂O), pH (KCl), delta pH, PCZ-zero loading point, H + -hydrogen, Al + - aluminum, CEC-cation exchange capacity, V-base saturation, M.O.-organic matter, Si-silicon and Fe-iron.

Considering that the three soils are found in an almost flat land surface and under the same macroclimatic condition, the differences between them can be regarded as a lithological influence. This influence is endorsed in small-scale research, especially in mineralogy and

granulometry studies (Jenny, 1941, Heckman and Rasmussen 2011; Araújo 2014), which show the influence of the parent material on the pedogenic products.

3.5 Origin, mineral and physicochemical composition of soils

These Oxisols are comprised of residual minerals such as quartz, as well as neoformed minerals including gibbsite, kaolinite, anatase, and goethite, while hematite may be residual or neoformed (Horbe and Costa, 1997; Araújo et al. 2014). The neoformed minerals result from the precipitation of $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{FeO}(\text{OH})$ or TiO_2 , respectively, in the form of gibbsite, goethite and anatase, while H_3SiO_4 or $\text{Si}(\text{OH})_4$ reactions with aluminum hydroxide generate clay minerals such as kaolinite (Thompson and Goyne 2012, Haynes, 2017, Mansa et al., 2017). Silicic acid (H_4SiO_4), which is released from the dissolution of silicates including hydrolysis on quartz surfaces at a pH of 4 to 9 (Mason, 1966), form clay minerals (in a process known as reverse weathering) and minimize the toxicity of free aluminum among cropped plants (Rodrigues et al. 2011), while also favoring the resiliification of gibbsite to kaolinite (Hodson and Evans 1995; Haynes, 2017).

From the basaltic rock consisting of plagioclase and pyroxene, at the beginning of the pedogenesis the K, Na, Mg and Ca ions are released into the soil solution and are leached with the advancement of weathering. In contrast, Fe, Al and Ti oxides give rise to neoformed minerals of the Serra Geral soil, which is, therefore, the result of a single pedogenic cycle. Otherwise, in the Bauru and Montividiu soils that originated from sedimentary lithotypes, the neoformed minerals result not only from the current (or more recent) pedogenetic process, but also from previous weathering events that created the constituent sediments of the Bauru Group and undifferentiated Detrital Deposits.

Over time, the neoformed minerals in the clay fraction, together with ions, preexisting materials and organic matter, form aggregates of granulometry similar or larger than the sand

fraction (Figure 5) (Leão, 2016). In the soil profiles, the decreasing trend of the sand percentage from the surface to the deeper horizons can be explained by the pedogenesis, responsible for the relative accumulation of the quartz grains and aggregates on the surface.

The higher sand content in the Bauru soil was related to its sandstone origin (Moraes, 2014), featuring the predominance of quartz. In its clay fraction, gibbsite (~ 30%) and kaolinite (> 20%) were the main components. The higher base saturation was measured in the Bauru soil and attributed to the effects of the silanol (SiOH) and aluminol (AlOH) complexes, resulting in acid and basic properties related to the protonation and deprotonation of the aluminol functional group of kaolinite, thus determining the loads at the clay-mineral edges (Gu and Evans, 2008). The high content of gibbsite in the Bauru clayey fraction suggests two non-exclusive situations: 1) initial pedogenesis, untimely to form aggregates in sand grain size; and 2) the presence of silica in the soil solution, favoring the formation of kaolinite.

The sand-clay texture of the Montividiu soil results from alterations of the parent material formed by interlayered sandstones, siltstones and argillites, with little lithification. In the whole sample, goethite - in addition to a relatively high anatase content (> 5%) and high gibbsite content (> 50%) and the clay fraction as with 6 to 12% of anatase in suggest that undifferentiated Detrital Deposits are partially derived from Serra Geral soil erosion. In this case, the gibbsite content does not imply a more evolved stage of Montividiu soil, as there are some weathered materials in its origin and its composition does not result exclusively from the current pedogenesis.

The current pedogenesis results in the soil profile of Montividiu, whose lower horizons are formed by a reddish C horizon with dispersed concretions identified as plintites, petroplintites or lateritic gravel (Martins et al., 2005), which are responsible for the increased apparent bulk density and the higher percentage of water retention from the surface to the deeper horizon. According Horbe and Costa (1997), the concretions originate from the

precipitation of iron oxyhydroxides, which are associated with oscillation of the water table depth, which shifts iron forms from a reduced to oxidized state, respectively, in the rainy and the dry seasons. Thus, the weathering of a rock or sediment forms the laterite, which shows different physicochemical traits in well-drained or poorly drained sites.

The presence of neoformed minerals in the weathering process informs us of their original environmental conditions. Therefore, the composition and proportion of the neoformed minerals in the whole sample and the clay fraction may indicate the pedogenetic stage, taking into account the characteristics of the mother rock.

3.6 Implications for soil fertility management

Our results demonstrated distinct physicochemical attributes among the three Oxisols. The set of pedogenetic traits of the three Oxisols interfere with the flow and retention of water in solute-solution relations and, consequently, in the intertemporal factors, in agreement with Mesquita and Moraes (2004). In this study, micrometric images showed signs of dissolution in the quartz grain surfaces and also neoformed mineral phases in the clay fraction. These reactions continuously occur in the soil and directly affect its charges. In the Bauru (sandy) soil, the formation of kaolinite in the clay fraction explains its higher clay activity, negative surface charge, and base saturation in comparison to Montividiu (sandy loam) and Serra Geral (clayey) soils. The particles formed by Si, Al, Fe and Mg (Figure 3) suggest new studies to search for the neoformation of smectite (Si, Al, Fe and Mg) with the addition of Mg in the system by the application of dolomitic limestone. If such a hypothesis is proven, then the supply of limestone optimizes the use of natural resources and also increases the permanent negative charges (with 2:1 mineral formation) in the soil.

In the Montividiu soil area, the lateritization process explains the “soil patches” on the surface, that local farmers state resembles “jaguar skin.” Thus, significant variations of the

physicochemical attributes in the fertility assessments by precision agriculture technologies can be managed by understanding the flow and storage of groundwater. It is important to consider that heterogeneity is a natural condition of the soil and occurs both horizontally and vertically as a function of the genesis factors.

There was a link in the Serra Geral soil regarding the clay content and the electropositive Δ pH (Figure 6) that was created by the content of Al and Fe oxides in both the whole sample and the clay fraction. In this soil, the increase of negative charges with liming may not be very efficient, given its mineral composition, even though it can be managed with inputs of organic matter in no-tillage systems. The organic matter supply, in addition to negative charges, could increase the water flow in the superficial horizons (Table 3). Another possibility to be explored, as Serra Geral is a clayey soil with very low saturated hydraulic conductivity on the surface, is the addition of rocks with higher sand content as an additional measure to increase the water flow.

The main factors of dissimilarity among the soils are granulometry (clay and sand) and mineral composition (quartz, goethite, hematite and maghemite), both of which are related to the material of origin in their respective degree of weathering. However, the different proportions of the minerals, especially of the clay fraction, concomitant to the dissolution and neoformation reactions, can be considered the main motivators of the different responses to the application of fertilizers and soil conditioners.

4. Conclusions

- 1) The physicochemical attributes of soils are related to their mineral composition.
- 2) The neoformed mineral phases that originate by the weathering process are shown by the micromorphological images (SEM-EDS) of the soil particles.
- 3) The dissolution of quartz and the concomitant formation of neoformed mineral phases continually occur in the soil, thereby affecting the balance of charges and nutrients.

4) The proportion of gibbsite in the whole sample and the clay fraction may be a parameter and indicator of the weathering stage of soils that originated from the same lithotype.

Acknowledgments

The authors are grateful to MCTI/CNPq/CT-Mineral for funding this study (process 406783/2013-6), which included the doctorate scholarship of Claudia Adriana Görden.

References

Araújo, M. A., Pedroso, A. V., Carvalho Amara, D., Lopes Zinn, Y. 2014. Paragênese mineral de solos desenvolvidos de diferentes litologias na região sul de Minas Gerais. *Rev. Bras. Cienc. Solo*. 38, 1. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100002>

Brait, M. A. H. 2008. Interação silício e fósforo na adsorção desses elementos em diferentes solos de cerrado. Universidade Federal de Goiás, Jataí, Goiás, v. 99. Disponível em: <https://posagronomia.jatai.ufg.br/up/217/o/Marny.pdf> (accessed 05 September 2018).

Dedavid, B. A., Gomes, C. I., Machado, G. 2007. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. EdiPUCRS. <http://www.pucrs.br/edipucrs/online/microscopia.pdf> (accessed 15 August 2018)

Donagema, G. K., De Campos, D. B., Calderano, S. B., Teixeira, W. G., Viana, J. M. 2011. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E). <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/990374/1/ManualdeMtodosdeAnilisedeSolo.pdf> (accessed 04 August 2018).

Dos Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Dos Anjos, L. H. C., De Oliveira, V. A., De Oliveira, J. D., Coelho, M. R., Cunha, T. J. F. 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de

Janeiro: Embrapa Solos. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003> (accessed 01 August 2018).

Moreira, M. L. O.; Moreton, L. C., Araújo, V. A. de, Lacerda Filho, J. V. de, Costa, H. F. da (Eds). 2008. Geologia do estado de Goiás e Distrito Federal: texto explicativo do mapa geológico do estado de Goiás e Distrito Federal. Goiânia: CPRM; SIC - FUNMINERAL. Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil (PGB); Programa Geologia e Mineração do Estado de Goiás. <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/10512> (accessed 05 August 2018).

Görgen, C. A.; Bizão, A. A.; Ragagnin, V. A.; Martins, E. S.; Batista, N. T. F.; Silva, F. S.; Hack, E. 2011. Arranjo Produtivo Local de base mineral no Sudoeste Goiano: uso de rochas regionais na agricultura. In: Fernandes F. R. C.; Enríquez M. A. R. da S.; Alaminio R. de C. J. (Eds.), Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, v. 2, p. 45-68. <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/1177/1/Arranjo%20Produtivo%20Local%20de%20base.pdf> (accessed 01 August 2018).

Gu, X.; Evans, L. J. 2008. Surface complexation modelling of Cd (II), Cu (II), Ni (II), Pb (II) and Zn (II) adsorption onto kaolinite. *Geochim. Cosmochim. Ac.* 72, 267-276. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.09.032>

Haynes, R. J. 2017. The nature of biogenic Si and its potential role in Si supply in agricultural soils. *Agriculture, Ecosyst. Environ.* 245, 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.021>

Heckman, K. Rasmussen, C. 2011. Lithologic controls on regolith weathering and mass flux in forested ecosystems of the southwestern USA. *Geoderma*, 164, 99-111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.05.003>

Hodson, M. J.; Evans, D. E. 1995. Aluminium/silicon interactions in higher plants. *J. Exp. Bot.* 46, 161-17. <https://doi.org/10.1093/jxb/46.2.161>

Horbe, A. M. C.; Costa, M. L. 1997. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas sílico-ferruginosas. *Acta Amazon.* 27, 4. <https://acta.inpa.gov.br/fasciculos/27-4/PDF/v27n4a02.pdf> (accessed 09 August 2018).

Jenny, H. 1994. *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*. Courier Corporation. <https://browniehive.net/files/hans-jenny.pdf> (accessed 05 August 2018).

Keng, J.C.W.; Uehara, G. 1974. *Chemistry, mineralogy and taxonomy of Oxisols and Ultisols*. *Proc. Soil Crop Sci. Soc.*, 33:119-126.

Korndörfer, G. H., Pereira, H. S., Nola, A. 2004. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: UFU. 34p. Boletim técnico, 2. http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/bt2_gpsi.pdf (accessed 14 January 2016)

Leão, T. P. 2016. Particle size distribution of Oxisols in Brazil. *Geoderma Reg.* 7, 216-222. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.04.003>

Mansa, R., Ngassa Piegang, G. B., Detellier, C. 2017. Kaolinite aggregation in book-like structures from non-aqueous media. *Clay Clay Miner.* 65, 193-205. <https://doi.org/10.1346/CCMN.2017.064059>

Manzatto, C. V.; Freitas Junior, E. de; Peres, J. R. R. 2002. *Uso agrícola dos solos brasileiros*. First ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/146673/1/Cap9-Tatiana.pdf> (accessed 05 August 2018).

Mariano, Z. de F. 2005. *A Importância da variável climática na produtividade da soja no Sudoeste de Goiás*. 251 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2005.

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/104376/mariano_zf_dr_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed 08 August 2018)

Martins, E. S.; Baptista, G. M. M.; Carvalho Júnior, O. A. 2005. Caracterização geológica e geomorfológica de depósitos de cascalho laterítico no Distrito Federal. In: Corrêa, R. S.; Filho, B. M. (Eds.), *Ecologia e Recuperação de Áreas Degradadas no Cerrado*. 2 ed. Brasília: Paralelo 15. 1, 24-32.

Mason, B. 1966. *Principles of Geochemistry*, 3rd ed.: John Wiley & Sons, New York, 164-167.

Mekaru, T. Uehara, G. 1972. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36, 296-300. <http://doi.org/10.2136/sssaj1972.03615995003600020027x>

Mesquita, M. D. G. B. D., Moraes, S. O. 2004. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Cienc. Rural*. Disponível em <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33134352> (accessed 06 August 2018).

Moraes, J.M. (Ed.). 2014. *Geodiversidade do estado de Goiás e do Distrito Federal*. Goiânia: CPRM, 131p. Programa Geologia do Brasil. Levantamento de Geodiversidade. http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/rel_goiasdf.pdf (accessed 05 August 2018).

Munsell Color. 1994. *Munsell Soil Color*. New Windsor, United States: Macbeth.

Rodrigues, F. D. A., Oliveira, L. D., Korndörfer, A. P., Korndörfer, G. H. 2011. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. *Infor. Agron. Piracicaba-SP*, 134, 14-28. [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/66D3EE234A3DA5CD83257A8F005E858A/\\$FILE/Page14-20-134.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/66D3EE234A3DA5CD83257A8F005E858A/$FILE/Page14-20-134.pdf) (accessed 14 August 2018)

Skorupa, A. L., Silva, S. H., Poggere, G. C., Tassinari, D., Pinto, L. C., Nilton, C. 2017. Similar Soils but Different Soil-Forming Factors: Converging Evolution of Inceptisols in Brazil. *Pedosphere*, 27, 747-757. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60443-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60443-0)

Strakhov, N. M. 1967. Principles of lithogenesis: New York, Consultants Bur. 1, 245.

Thompson, A., Goyne, K.W., 2012. Introduction to the Sorption of Chemical Constituents in Soils. *Nature Education Knowledge* 3(6):15. http://epsc413.wustl.edu/Adsorption_soil_reading.pdf (accessed 05 August 2018).

CAPÍTULO 3

3.1 ARTIGO 2 – Micromorphology and Mineralogy of Maize Rhizospheric Soil Amended With Different Rock Dusts

Claudia Adriana Górgen^a, Murillo Lobo Junior^b, Edi Mendes Guimarães^{a,*}.

^aUniversidade de Brasília, Instituto de Geociências, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC - Ala Central CEP 70.910-900 – Brasília, DF, Brazil. CEP 70919-970

^bEmbrapa Arroz e Feijão - Rodovia GO-462, km 12. Santo Antônio de Goiás, GO, Brazil. CEP: 75375-000.

*Corresponding author

E-mail addresses: gorgenclaudia@gmail.com (C. A. Górgen), murillo.lobo@embrapa.br ([M. Lobo Junior](#)), rxedi@unb.br (E. Mendes Guimarães)

ABSTRACT- Interactions between plant roots, soil minerals and microorganisms affect the nutrition and development of plants, but little is known about the influences of stone meal technologies on these relationships. The purpose of this study was to describe mineralogical changes in the rhizosphere of maize plants after soil amendment with different rock dusts. The soil treatments consisted of three rock dust, two from Alkaline Complexes and one Micaschist from the Araxá Group, added at 0.25% (w/w) to three geologically distinct Oxisols from the southwest region of Goiás State in Brazil. Maize plants (the ‘MC10’ variety) that were grown in 4-kg pots filled with *in natura* soils and mixed with rock dust treatments were randomly distributed in triplicate in a greenhouse test. At the blooming stage, 42 days after germination, the 0-10 cm of rhizosphere soil from each pot was sampled. X-ray diffractograms and scanning electron microscopy showed changes in the soil mineralogy during the cultivation of the maize. These changes are evidenced by rock dust minerals adhering to the maize rhizosphere,

neoformed minerals such as smectite that were identified in soils treated with Micaschist, while organic structures in rhizosphere have chemical composition that is similar to that of surrounding minerals. Further evidence of mineral dissolution and disintegration linked to rock-eating and rock-building fungi suggest bioweathering events during maize growth. Thus, evidences of the interactions between minerals and roots in Oxisols supports the adoption of Micaschist, Verdinho and Kamafugito rock dusts as sources of nutrients and soil amendments.

Keywords - bioweathering; soil mineralogy; X-Ray diffractometry; scanning electron microscopy; Oxisols.

1. Introduction

The term “rhizosphere” comes from the Greek words “rhizo” and “sphere” and corresponds to the influence zone or physical location that consists of 1 to 3 mm from the root surface (Moreira and Siqueira, 2006). According to Richter et al. (2007), the rhizosphere is usually described according to three components: 1) Rhizoplane: the immediate root surface. 2) Rhizosphere: the soil volume around the rhizoplane that is directly affected by the root activity. 3) “Bulk soil”: the soil portion that is not directly affected by the living roots.

The scientific investigation of the rhizosphere, which is of fundamental importance in soil science (Gregory, 2006), has been reported in a huge number of studies—especially in temperate regions (Tkacz et al. 2015; Dotaniya e Meena, 2015; Dessaux et al., 2016). These studies employed a large array of analytical techniques (Oburger and Schmidt, 2016), particularly scanning electron microscopy and X-ray diffractometry, to assess chemical changes in the soil (Luster et al., 2009). In the tropics, some relevant examples on rhizosphere studies include the biological fixation of nitrogen (Dartora et al., 2016) and modifications of root

architecture due to the deficiency or toxicity of elements (Schorr, 2017) that affect plant nutrition.

The water and nutrient uptake that plant development requires occurs in the rhizospheric environment in which the roots secrete a variety of exudates. The amount and nature of such exudates are determined by the plant species, its genotype, phenological stage and environmental factors including soil type, nutrient composition, pH, temperature and the degree of specificity of the root-colonizing microorganisms (Huang et al., 2014). These dynamic and co-evolutionary interactions between plant roots and microorganisms are responsible for the changes in the physical and chemical properties of the soil (Houlden et al., 2008; Huang et al., 2014; Philippot et al., 2013; Rasmann and Turlings, 2016).

For instance, when lime, nutrients or minerals that are added to the soil for plant nutrition meet the root surface, they are exposed to organic acids (exudates) and CO₂ released by cellular respiration. As a result, the more acidic pH within the rhizospheric soil (resulting from the release of exudates) modifies the chemical environment of the soil solution and the surface of the minerals, thus interfering with their dissolution kinetics (White, 1995; You et al., 2014), aeration and substrate renovation (Uroz et al., 2009).

Adjustments in fertility management include soil amendment with rock dust (stonemeal technology); that is, the addition of rocks or mining wastes to the soil to improve its mineral composition (Van Straaten, 2006, Ramos et al., 2014). Stonemeal technologies can be an inexpensive source of nutrients in comparison to formulated inputs and are currently a hot topic within the realm of Brazilian agriculture, which depends on 65% of imported fertilizers. The adoption of rock dusts of variable composition could decrease the dependence of imported fertilizers and reduce freight costs with overall positive economic and environmental impacts on the food and biofuel productive systems (Görgen et al., 2011). However, the large-scale adoption of rock meal presumes the characterization of the soils that require nutrients, the rocks that are

regionally available and an understanding of interrelations that happen in the rhizosphere (Leonardos et al., 2000; Bizão, 2014).

This study describes interactions between the biological components (roots and microorganisms) and minerals within Oxisols, *in natura* or subjected to stone meal technologies that are understood here as the addition of rock dust remineralizers to the soils (Van Straaten, 2006). Therefore, the objectives of this work were to 1) characterize the mineral composition and micromorphology of three Oxisols from different lithostratigraphic units, as well as their chemical changes after amendment with alkaline and Micaschist rock dusts, and 2) identify differences in organic and mineral structures in the rhizosphere of maize cultivated in soils *in natura* and treated with remineralizing rock dusts.

2. Materials and Methods

To reach the study goals, three soils and three rock dusts were selected from the southwest region of Goiás State in Brazil. Soils *in natura* or treated with rock dust were cultivated with maize to verify mineralogical changes in the rhizosphere soil. The soil mineral composition, rocks, treatments (here called the “initial treatment”) and the rhizosphere soil was determined by X-ray diffractometry (XRD) and micromorphology by scanning electron microscopy combined with energy dispersive spectrometer (SEM/EDS). The characterization of the rock dust also required petrographic analysis.

2.1 Selection of soils and rock dusts

The selected soils originated from different lithostratigraphic units from the southwest region of Goiás State, Brazil. These Oxisols originated from the Serra Geral Formation, Bauru Group and undifferentiated Detrital Deposits, and are respectively named “Serra Geral”, “Bauru” and “Montividiu” soils. They are derived from basalt (Serra Geral Formation), sandstones (Bauru Group) and rhythmite (undifferentiated Detrital Deposits), and are cropped

mostly with soybean, sunflower, sugar cane, cotton and other annual crops. Approximately 200 kg of the 0-20 cm layer of each soil were collected in the municipalities of Rio Verde and Montividiu and were immediately transported to Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, for a greenhouse essay.

In the same region, in the municipalities of Caiapônia, Montividiu, Rio Verde and Santo Antônio da Barra, there are alkaline (rich in K, Ca and Na) and ultramafic (rich in Mg and Fe) igneous rocks from the Verdinho and Santo Antônio da Barra formations (Junqueira-Brod et al. 2002), from which samples identified as Verdinho and Kamafugito were collected (Figure 1). The Micaschist (with ~3.5% of K) rock was sampled at the Araguaia quarry in Aparecida de Goiânia. The rock samples were analyzed by petrography on thin sections prepared in the Laminating Laboratory and evaluated in the X-ray Diffractometry Laboratory, both at the University of Brasilia's (UnB) Institute of Geosciences.

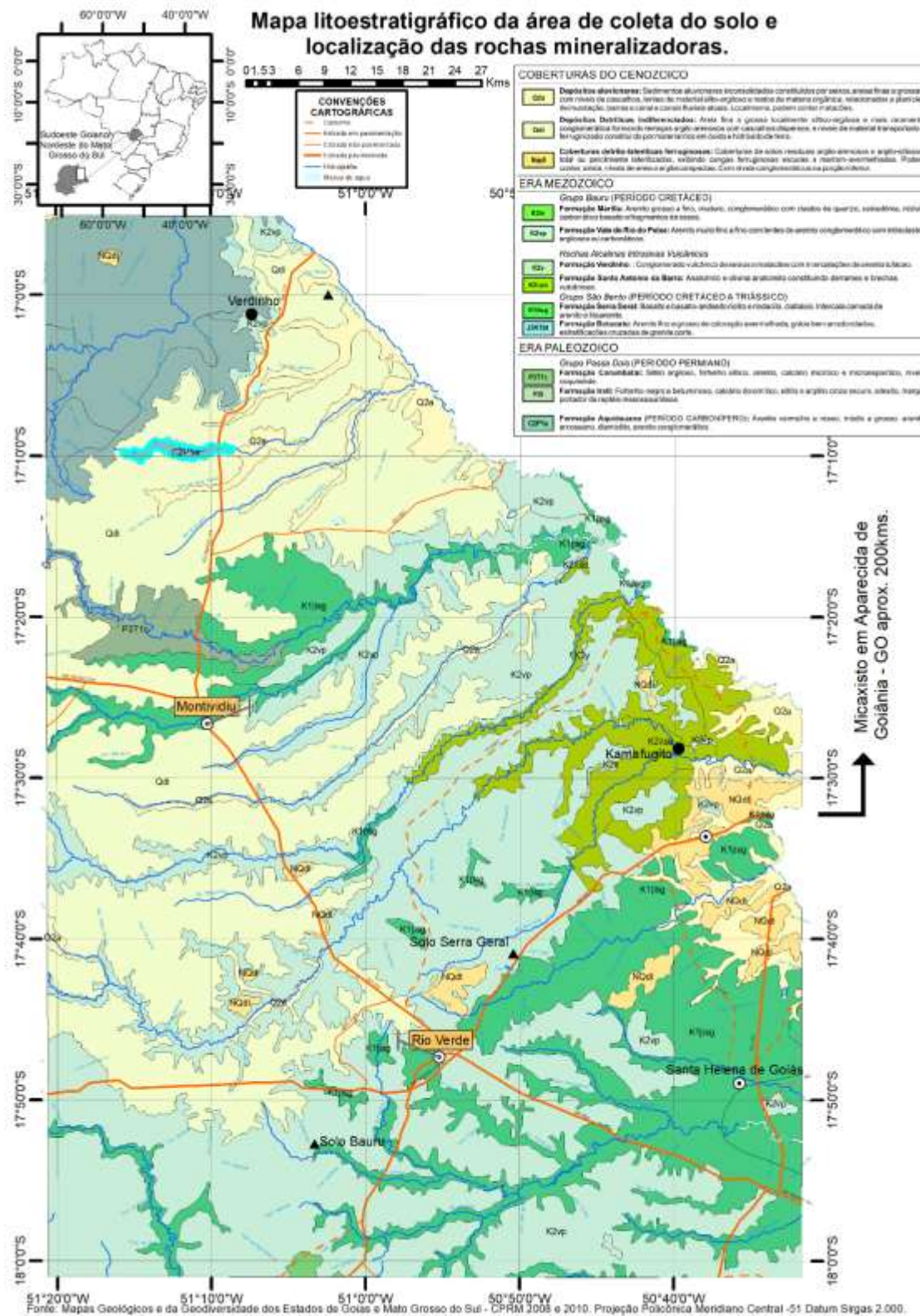


Fig 1. Lithostratigraphic map of the Southwest region of Goiás State, in Brazil, with the location of collected soils and rocks (Source: GEOLOGIA do Estado de Goiás e Distrito Federal, 2008).

2.2 Soil treatment with rock dust and implementation of experiments with maize

A greenhouse test was performed at Embrapa Arroz e Feijão in a completely randomized design with three replicates to identify chemical changes and possible biological activities in the maize rhizosphere. Soil treatment followed the recommended dose of 5 tons per hectare of Micaschist rock dust (Bizão, 2014) for all rock dust treatments. Considering that the 0-20 cm layer of soil in one hectare corresponds to 2 million kg, the rate of 5 thousand kg per hectare corresponds to 0.25% (mass/mass). To ensure the uniform distribution of the treatments (the addition of rock dust to the soil), 50 grams of each rock dust were added to 12 kg of each soil and thoroughly blended in a concrete mixer. The soil mix with rock dust was created at the end of July 2016 and the treatments were immediately distributed in 4-kg pots with daily irrigation. One week later, the pots were sown with three seeds of maize 'MC10' (Maize Crioulo 10), a conventional variety that small-scale farmers have bred for 10 years (Ferreira et al., 2008). Ten days after seedling, thinning was performed to retain only one seedling per plot with a uniform group of plants. During the experiment, neither pesticides nor nitrogen topdressing were used to avoid bias on the rhizosphere's microbial processes.

2.3 Rhizosphere sampling

At the beginning of the blooming stage (42 days after germination) when the plant's physiological processes are intensified, samples of the rhizosphere of each pot were collected. Approximately 50 grams of rhizospheric soil and fine roots (approximately 1 mm in diameter) were collected a depth of 0-10 cm for mineralogical and micromorphological analysis. A representative sample of the maize rhizosphere environment, with the visibly bright growth of mucigel (i.e., a polysaccharide compound with an aggregating function that is produced by root tips, root hairs and soil microorganisms) on the root surface, root hairs and mineral particles, is shown in Figure 2.

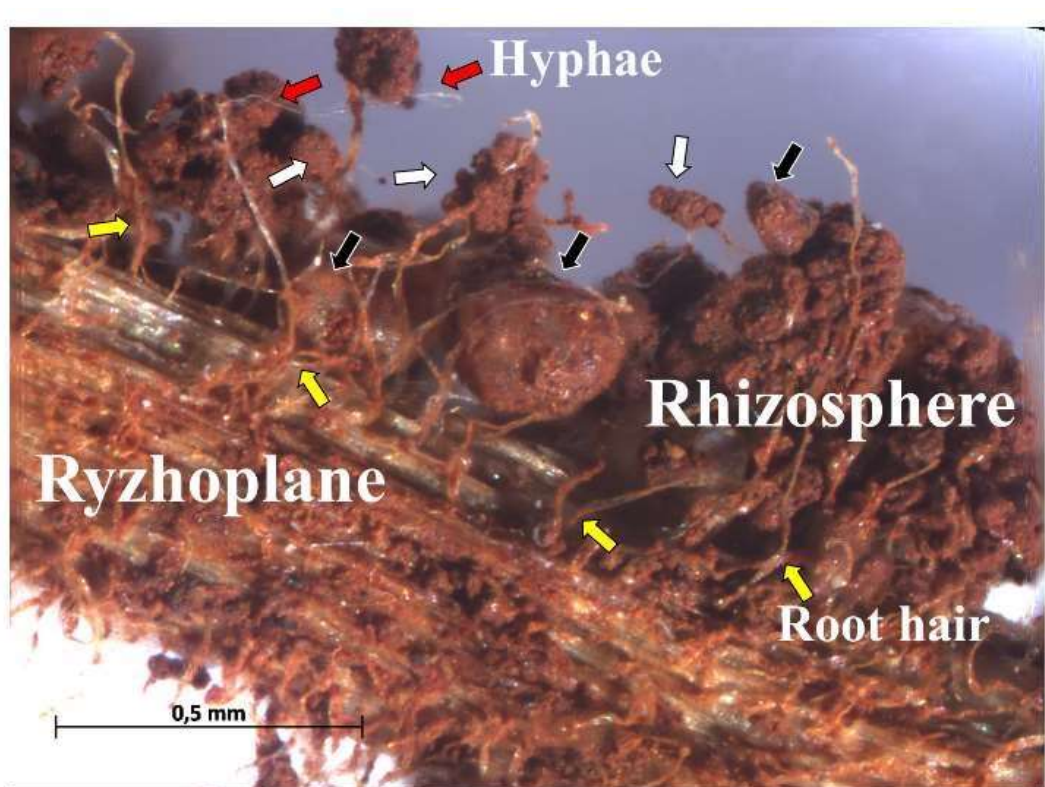


Fig 2. Maize 'MC10' rhizoplane and rhizosphere 42 days after sowing, in Bauru soil (90X magnitude). Black arrows indicate root hairs involving quartz grains. White arrows indicate aggregates of particles and quartz grains of various sizes. Yellow arrows show root hairs. Red arrows point to fungal hyphae.

2.4 Characterization of soil, rock dust, treatments and rhizospheric mineral composition

The mineral composition of each rock sample, soil and the respective mixtures was determined by XRD regarding the whole sample and the clay fraction. The whole sample diffractograms provided a look at the minerals of wider dimensions with a well-defined, crystalline structure, in contrast to constituents whose structures were less well organized (e.g., clay minerals). The diffractograms of the clay fractions favored the identification of smaller particles and clay minerals, giving a more complete overview of the composition of soils and rock dust samples (Gomes, 1984).

The diffractometric analysis was performed at UnB's X-ray Laboratory with a RIGAKU-Ultima IV diffractometer. The equipment was adjusted with a copper tube and a nickel filter, under 35 kW and 15 mA, 0.05° steps, 5°/min speed, range of 2-80° for the whole sample and 2-40° concerning the clay fraction. The identification of minerals was performed with JADE 9.0 software from Minerals Data Inc. and matched with the database of the International Center for Diffraction Data (www.icdd.com/). The total mineral composition was estimated after disintegration into fractions smaller than 64 µm of air-dry thin soil and slide mounting. The clay fraction (<2µm size) was obtained with 7.5 g of air-dry thin soil dispersed in 150 ml of distilled water and centrifuged for 7 minutes at 750 RPM. The supernatant was extracted and centrifuged for 30 minutes at 3000 RPM, with the resulting precipitate recovered for analysis in slides prepared by the smear technique. For the identification of expansive clay minerals, the slides were analyzed after solvation with ethylene glycol and glycerol in a vacuum desiccator for 12 hours. Finally, the samples were analyzed after heating at 490° C for 4 hours.

2.5 Micromorphological analysis of soils, rock dust and rhizosphere structures

The morphological characterization of soils, rock dusts and maize rhizosphere (the particles' shape, size and texture) and eventual organic structures (roots, microorganisms) was performed by SEM/EDS. This method was also employed to identify the features indicative of dissolution and/or neoformation reactions on the mineral surfaces, along with their elemental constitution (Dedavid et al, 2007). The images were captured with a FEI Quanta 450 scanning electron microscope in the Laboratory of Geochronology and Isotopic Geology of the Institute of Geosciences at UnB. For the analysis of the 30 selected samples, aliquots of about 1 g air-dry thin soil were distributed on glass slides, which were analyzed under low vacuum after carbon metallization. The achievement of backscattered electrons was performed with 25kV voltage acceleration and an approximate working distance of 11 mm. Between 4 and 20 images

of organic and inorganic structures were captured for each sample to estimate their chemical composition in at least 5 points.

3. Results and discussion

XRD described the mineral composition of the Bauru, Montividiu and Serra Geral soils, and the Micaschist, Verdinho and Kamafugito rocks, with the identification of prevailing minerals (+), minor constituents (-), trace elements (t) and cases of supposed, but not confirmed, occurrence (?) (Table 1). According to the petrographic images of the rock, accessory minerals were identified (Figure 3), while the SEM/EDS evidenced the micromorphology and chemical composition of grains, aggregates and organic constituents of soils (Figures 3 and 4).

Table 1: Minerals identified by XRD, ideal chemical formula (except *: approximate composition), proportion in soils and rocks. B: Bauru soil, M: Montividiu soil, SG: Serra Geral soil; Mx: Micaxisto rock; V: Verdinho rock; K: Kamafugito rock. tot: total sample, n: fraction clay. +: major constituent, -: minor constituent; t: constituent trace, (?): not confirmed.

Mineral	Chemical composition	B		M		SG		Mx		V		K	
		tot	n	tot	n	tot	n	tot	n	tot	n	tot	n
Kaolinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	-	+	-	-	-	-						
Gibbsite	$\text{Al}(\text{OH})_3$	-	+	-	+	+	+						
Quartz	SiO_2	+	t	+	t	-	?	-	t	?	?		
Anatase	TiO_2	t	t	-	-	-	+						
Hematite	Fe_2O_3	-	-			+	+			-	-	+	-
Goethite	$\text{FeO}(\text{OH})$			-	-								
Maghemite	$\text{Fe}_{2,67}\text{O}_4$					t	t			-	t	-	-
Mica: muscovite	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$							+	+				
Mica: bioite	* $\text{KMgFeAlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$							+	+				
Mica: phlogopite	* $\text{KMgFeSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$									-	t	?	-
Chlorite	* $\text{MgFeAlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_4$							+	+				
Feldspar: orthoclase	KAlSi_3O_8									?	?	-	-
Feldspar: plagioclase/albite	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$							-	-				
Pyroxene/augite	* $\text{MgFeCaAlSi}_2\text{O}_6$									-	t	+	-
Smectites	* $\text{NaCaKMgFeAlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$									+	+	t	+
Vermiculite	* $\text{MgFeAlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$?	?
Serpentine/chrysotile	* $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$?	t
Calcite	CaCO_3									+	-		

3.1 Characteristics of Micaschist, Verdinho and Kamafugito rocks

Micaschist had fine to medium granulation, light-gray tonality and well-developed schistosity (Figure 3 A1) that was cut by veins and/or quartz segregations. These features are highlighted in the petrographic analysis (Figure 3 A1b), in which micas - muscovite and biotite - and chlorite were identified, together with quartz interleaved with plagioclase (albite). Accessory minerals comprise approximately 10% of Micaschist composition and were represented mostly by garnet (MgFeMnCaAlFeSiO_4), apatite (CaPO_4) and ilmenite (FeTiO_3). According to XRD, the main constituents of the whole sample and the clay fraction (Figure A2 and Table 1) were quartz, micas, chlorite and sodium plagioclase (albite). SEM/EDS imaging emphasized phyllosilicate bands whose chemical composition is compatible with muscovite, biotite and chlorite (Figure A3). Among the rock mineral components, there was a predominance of phyllosilicates with a 2:1 structure identified as micas and chlorite in Micaschist (Figure A3).

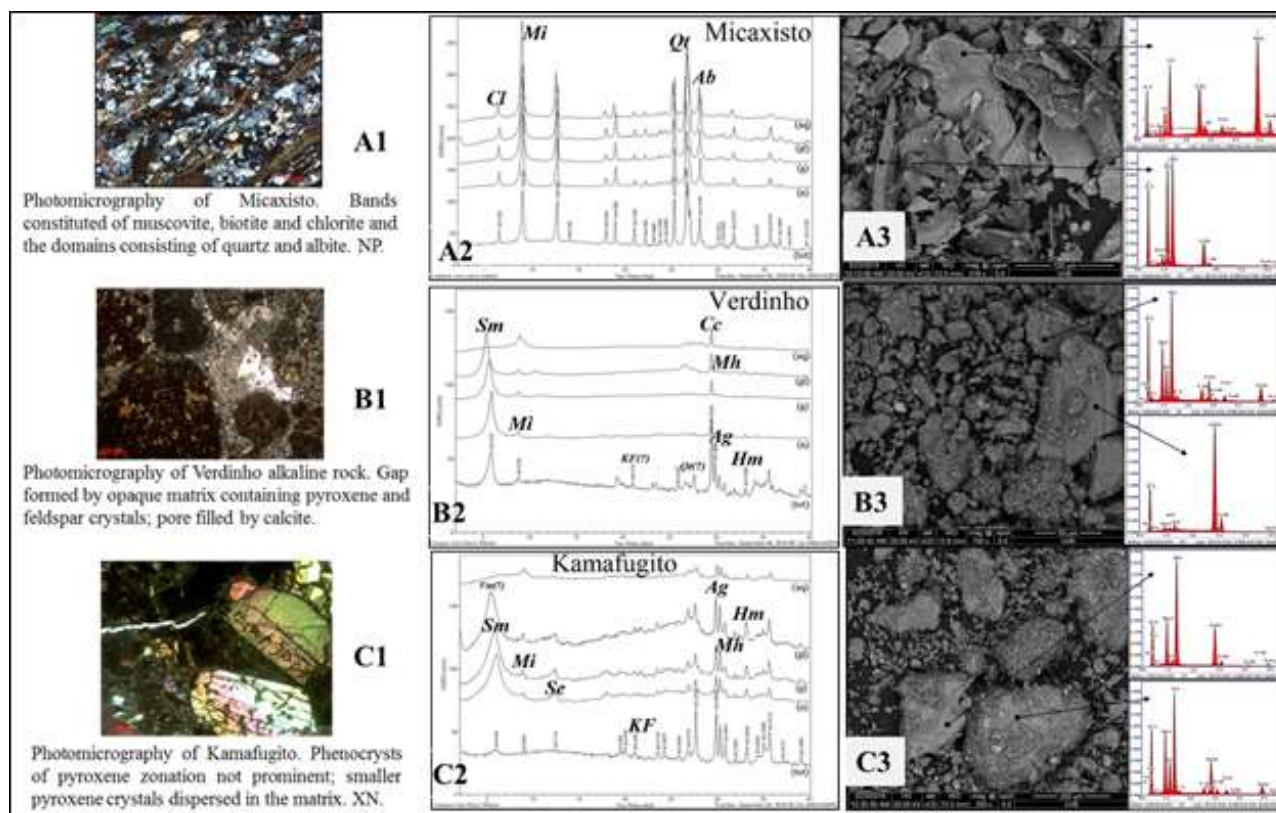


Fig 3. Photomicrographs, diffractograms and scanning electron microscopy images of Micaschist (A1, A2 and A3); Verdinho (B1, B2 and B3); Kamafugito rock dusts (C1, C2 and C3). Cl: chlorite; Mi: micas (muscovite + biotite); Q: quartz; Ab: albite; Sm: smectite; KF: Kfeldspar; Cc: calcite; Ag: pyroxene (augite); Hm: hematite; Mh: maghemite; If: serpentine.

The Verdinho and Kamafugito rocks, which are alkaline in nature (Junqueira-Brod 1998), primarily consisted of millimetric crystals of pyroxene and K-feldspar, dispersed in a very thin matrix, in which eventually lamellae of phlogopite (mica) were partially altered. Larger calcium crystals were observed (Figure B3 and C3), as well as particles of ferromagnesian composition that was probably related to altered pyroxene and phlogopite. Calcite-filled vesicles (Figure B1 and C1) were common on the Verdinho rock.

As a consequence of their fine granulation, the corresponding matrix composition of Verdinho and Kamafugito rocks was determined by XRD of their total and clay fraction samples (Figure B2 and C2 and Table 1), with both composed by smectite (nontronite), mica (phlogopite), K-feldspar (orthoclase), pyroxene (augite), hematite and magnetite. The main differences between the Verdinho and Kamafugito rocks were the presence of calcite in the whole sample and in the clay fraction of the first, while serpentine (orthocrysotile) occurred in the clay fraction of the second. They also differ in the proportion of smectite, which is the largest constituent of the Verdinho rock, in both whole sample and in the clay fraction. In contrast, smectite is the smallest and largest constituent of Kamafugito, respectively, in its whole sample and clay fraction. The smectite, which results from the alteration of micas, chlorite and several other silicates (e.g., feldspars, pyroxenes and garnets), presents high values of cation exchange capacity and specific surface area (Brady and Weil, 1996).

3.2 Composition and micromorphology of soils in natura and of maize rhizosphere

Diffraction analysis showed similarities in the mineral composition of the Bauru, Montividiu and Serra Geral soils (Fig. 4 A1, B1 and C1), with the presence of quartz, kaolinite, gibbsite and anatase in different proportions (Table 1). Goethite distinguished the Montividiu soil, while hematite was found in the Bauru and Serra Geral soils, which also contained maghemite. The diffractograms showed the prevalence in all soils of quartz in the whole sample, and gibbsite in the clay fraction, in which kaolinite was a relevant constituent, even though the quartz reflections were almost imperceptible. The mineral components were also identified through SEM/EDS within the *in natura* soils (Figure 4 A2, B2 e C2) and in the rhizosphere (Figure 4 A3, B3 e C3).

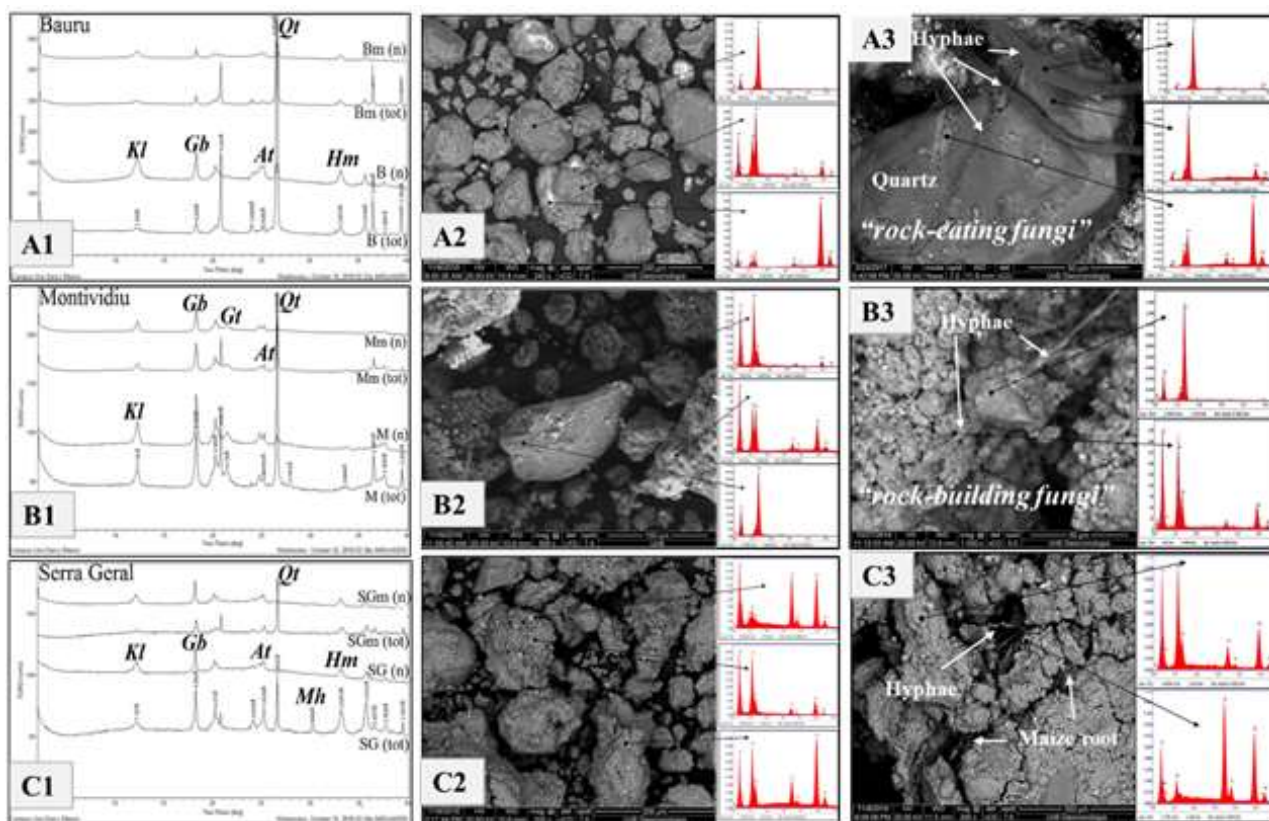


Fig 4. X-ray diffractograms of the whole sample (tot) and clay (n) of soils before sowing and in during maize blooming (m), and scanning electron microscopy images of the maize rhizospheric soil, respectively Bauru (A1, A2, A3), Montividiu (B1, B2, B3) Serra Geral (C1, C2, C3).

The maize rhizosphere of *in natura* soils, which were not treated with rock dusts, maintained their original mineral composition and similar reflection intensities (Figure 4 A1, B1 and C1). This response was explained by the composition of each soil, with residual quartz and neoformed minerals—gibbsite, kaolinite, goethite and anatase—that indicate an advanced stage of pedogenesis and less susceptibility to biogenic action (Silva Neto et al., 2008) during the short duration of this experiment.

Micromorphological images of *in natura* soils showed loose particles (Figure 4 A2, B2 and C2), while in the rhizospheric environment soil aggregates were attached to the organic constituents (roots and hyphae) and to each other (Figure 4 A3, B3 and C3), according to the granulometry of each soil. Thus, the quartz grains prevail in the Bauru (sandy) soil, while smaller particles predominate in the Serra Geral (clayey) soil. Both quartz grains and smaller particles were present in the Montividiu soil, thus creating a clay-sandy texture.

The formation of aggregates occurs by the growth of the root surface area (Dunbabin et al., 2013), with the formation of secondary and tertiary roots and an increasing number of crosses, forks and tips. The growth of fungal hyphae surrounding and interweaving quartz grains, which work as particle-gathering agents (Figure 4A3, 4B3, 4C3), favor the stability of aggregates (Allison, 1968; Jastrow et al., 1998). The physical bonding between grains and smaller particles is completed by the chemical action of the gelatinous material known as mucigel. Thus, the stability of the aggregates is related to the chemical complexity of the mucigel whose composition is determined by the various organic sources of origin (Campbell & Greaves, 1990).

In agreement with the concept of rock-eating fungi (Jongmans et al., 1997), Figure 4 A3 shows that the chemical composition of the hyphae adhered to the quartz grain is predominantly comprised of silicon. Figure 4 B3 shows the overlap of quartz particles and grains adhered to the hyphae, thus suggesting rock-building fungal activity (Fomina et al., 2010). These processes,

which are not mutually exclusive, evidence mineral biotransformation in the maize rhizosphere that was subjected to stonemeal treatments involving physical-chemical mechanisms' degradation and aggregation of the soil matrix (Gadd, 2009). In both cases, cavities on the grains (Figure 4 A3) and tunnels in the center of the aggregates, which are responsible for water movement and aeration in the microenvironment, were observed as a probable consequence after the hyphae decay (Jongmans et al., 1997; Fomina et al., 2010).

3.3 Composition and micromorphology of soils and rhizosphere treated with rock dust

The mineral composition of the Bauru, Montividiu and Serra Geral soils was determined by the XRD diffractograms (Figures 5, 6 and 7), indicating the mineral composition both within the non-cultivated soil and the rhizosphere. In addition, a varied mineral composition between the whole sample and the clay fraction was estimated in the treatments before and after the corn cultivation. Micromorphological images with chemical analysis by SEM/EDS of the rhizosphere evidenced the presence of some rocks minerals that were not always identified by XRD.

3.3.1 Micaschist rock dust

In the three soils treated with Micaschist dust, the results are evidenced in the diffractograms, thus revealing the presence of micas by the 10\AA peak in the whole sample and in the clay fraction (Figures 5 A1, B1 and C1). The peak of 14\AA (chlorite) was present only in the whole sample of Serra Geral. The 3.18\AA peak of albite is evident in the Montividiu soil in both the whole sample and the clay fraction and only in the whole sample of the Serra Geral soil.

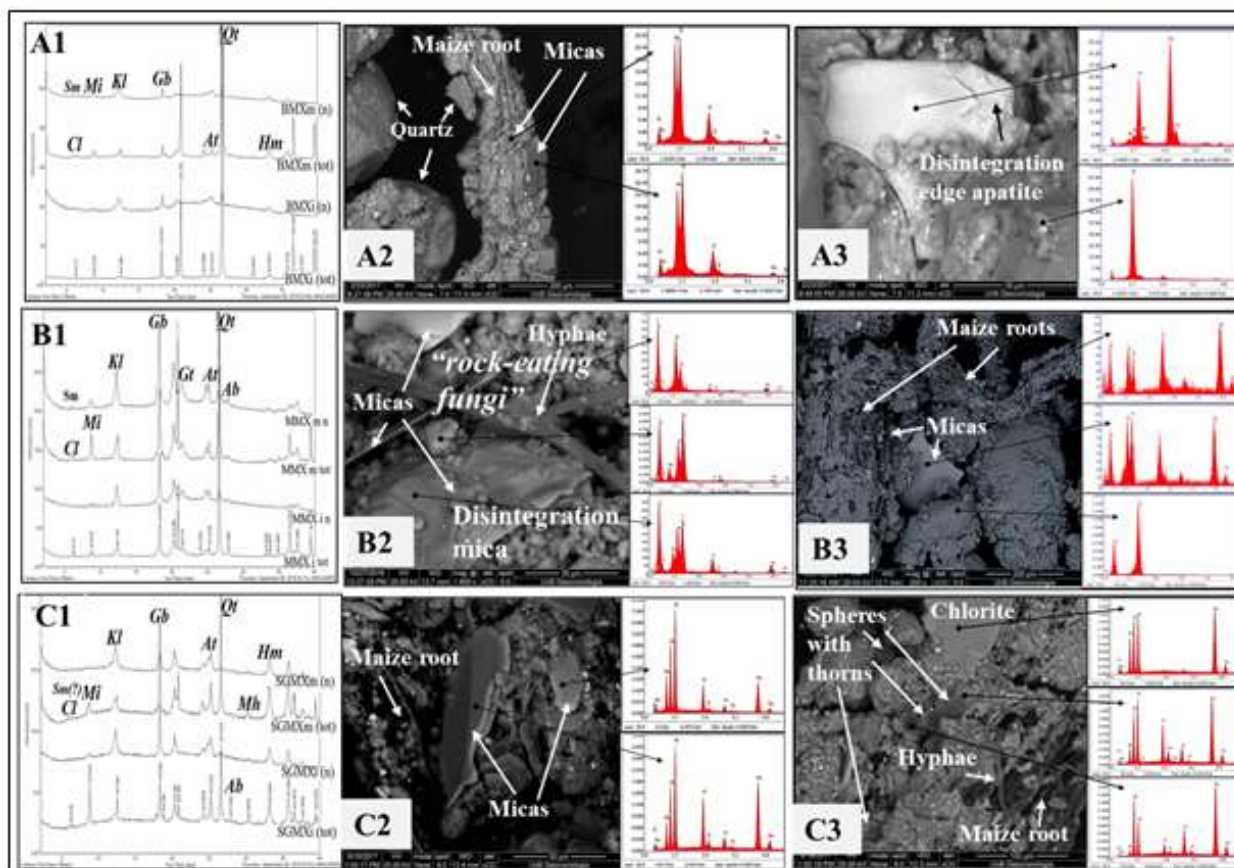


Fig 5. Characterization of Bauru (A), Montividiu (B) and Serra Geral (C) soils amended with Micaschist rock dust, with X-ray diffractograms (A1, B1, C1) of the whole sample (tot) and clay fraction (n) before sowing (i) and during maize blooming (m). Scanning electron microscopy images of the maize rhizosphere show micas and chlorite adhered to the rhizoplane (A2 and C2) and soil aggregates (B3 and C3); apatite adhered to the rhizoplane (A3), process of rock-eating fungi in mica disintegrating (B2), fungal hyphae and putative ornamented spores (C3).

In addition to the micas' 10\AA peak reported in the maize rhizosphere, a broad and low peak in 14\AA appears in the diffractograms of the whole samples in the three soils. In the clay fraction, these peaks of 10\AA and 14\AA are evident in the Bauru and Montividiu soils, but not in the Serra Geral soil, probably due to the larger size particles identified in its whole sample. In addition, the high clay content of the Serra Geral soil, emphasized by the intensity of the gibbsite peak (4.85\AA), can suppress reflections of very low intensities at 10\AA and 14\AA .

Regarding the clay fractions of the Bauru and Montividiu soils, the 14Å peak observed following treatment with ethylene glycol changed to ~16Å, indicative of smectite. The smectite was also unreported in the non-cultivated soils and the rock dust, and was attributed to the weathering of micas, chlorites or albite during the maize's development. The maintenance of 7Å and 14Å reflections after sample heating confirmed the presence of chlorite. The albite remained evident in the whole sample and only within the clay fraction of the Montividiu soil.

Figure 5 (A2, B2, B3, C2 and C3), which was treated with Micaschist, shows that micas (muscovite and biotite) adhered to the rhizoplane of the three soils. In Figure 5 A3, a crystal of apatite with euhedral behavior attributed to Micaschist rock, which was identified in the petrographic analysis, is not indicated in XRD. The chemical composition of particles (Al, Fe, Si, K and P) adhered to the hypha (Figure 5 B2) and structures identified as fungal ornamented spores (Fe, Si, Al, K, Ti and Mg) in Figure 5 C3 were similar to the minerals in the surrounding area, suggesting the bioweathering of chlorite and mica and especially biotite 42 days after the germination of maize. The transformation of micas and chlorites into smectites or vermiculites occurs with exposure to organic acids, resulting in the oxidation of Fe ++ and the direct extraction of K + and Mg + by microorganisms and plants (Wilson, 2004). In addition to the direct action of root exudates and microorganisms on mineral structures, Kodama et al. (1983) reported the dissolution of chlorite and biotite, between 30 and 35 days, by the action of fulvic acid in open systems. Thus, the presence of smectite only in samples of the maize rhizosphere can be attributed to the influence of organic factors during the development of maize plants.

3.3.2 *Verdinho rock dust*

Considering the diffractograms of soils treated with the Verdinho rock dust, its effects were reported only in the whole sample of the Bauru soil by an incipient smectite peak (Figures 6 A1, B1 and C1). After the maize cultivation, the smectite peak (14Å) became evident in the

whole sample of the Bauru and Montividiu soil, while remaining incipient in the Serra Geral. Another incipient peak at 10Å (mica) was observed only in the rhizosphere clay fraction of Montividiu soil.

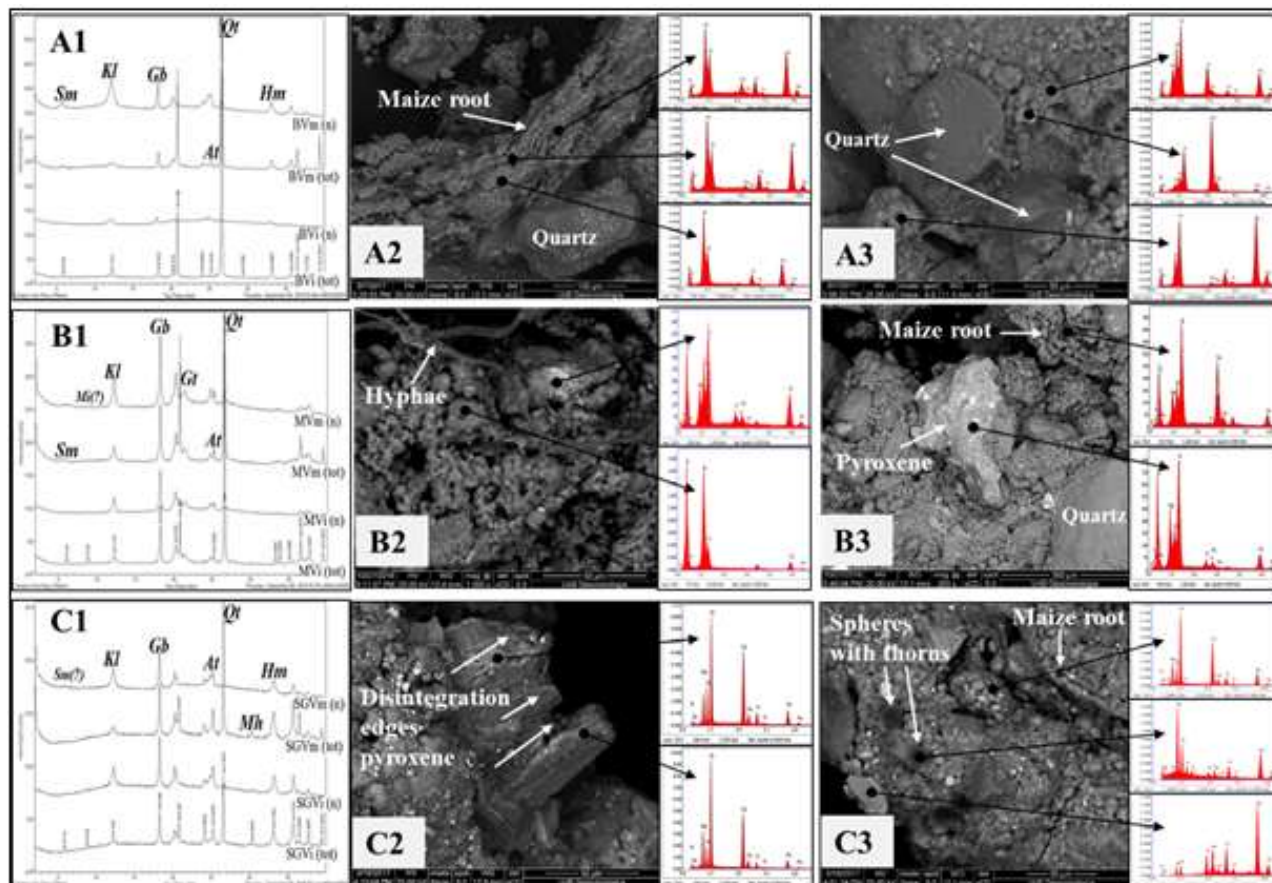


Fig 6. Characterization of Bauru (A), Montividiu (B) and Serra Geral (C) soils treated with Verdinho rock dust, with X-ray diffractograms (A1, B1, C1) of the whole sample (tot) and clay fraction (n) before sowing (i) and maize blooming (m). Scanning electron microscopy imaging of the maize rhizosphere shows fungal hyphae (B1) and putative ornamented spores (C3) - the fragmentation of minerals (C2) and the contribution of the rock in the composition of the particles (Ca, Mg, K) adhered to the root.

The micrometric images of the three soils treated with the Verdinho rock dust show some rock minerals in the maize rhizosphere, especially mica (phlogopite - Si, Al, Fe, Mg and K) (Figure 6 A3 and B2) and pyroxene (augite – Si, Fe, Mg, Ca, Al and traces of other elements) (Figure 6 B3 and C2) indicated by both mineral habit and chemical composition. The organic

structures identified as maize root, hyphae and apparent fungal spores with aculeate ornaments (Figure 6 A2, B2 and C3) had a chemical composition that was similar to that of the adjacent minerals, also suggesting bioweathering, as demonstrated by Rasmann and Turlings (2016). The bio-thermochemistry of biotite, phlogopite, muscovite and feldspar, which started by acidification on the particle surface, modifies the pH and, consequently, affects the solubilization and uptake of nutrients (Webley et al., 1963, Banfield, 1997; van Schöll et al., 2008). Calcium was present on the surface of most organic structures, followed by magnesium and potassium, which are essential for plant nutrition, possibly released from the alteration of calcite, pyroxene and mica.

3.3.3 *Kamafugito rock dust*

The Bauru, Montividiu and Serra Geral soil samples treated with the Kamafugito rock dust, under the XRD analysis, show their respective whole sample and the clay fractions, as *in natura* samples (Figures 7 A1, B1 and C1). Further, the only modification in the rhizospheric soil was the presence of an incipient peak in 14Å (smectite) in the clay fraction of the Bauru soil.

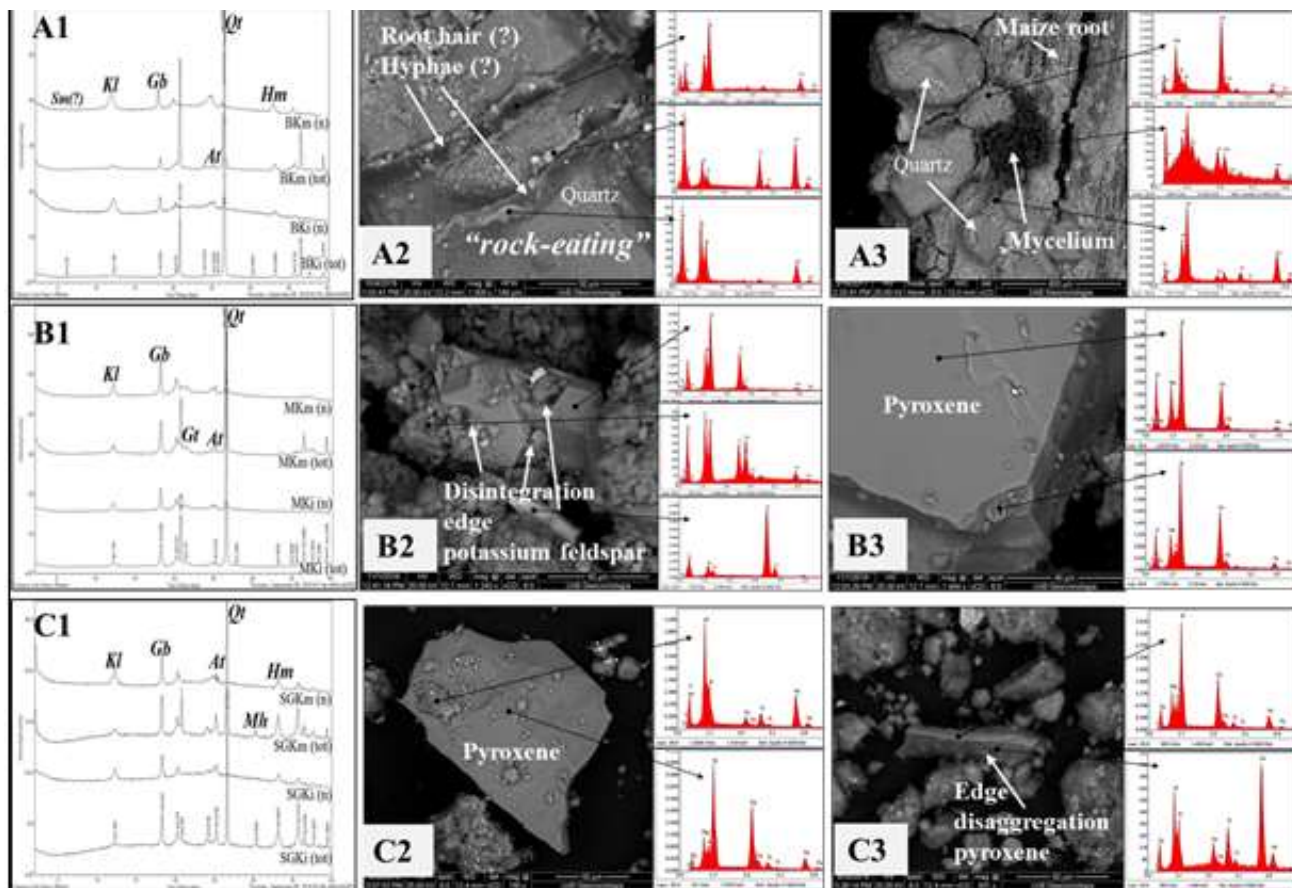


Fig 7. Characterization of Bauru (A), Montividiu (B) and Serra Geral (C) soils treated with Kamafugito rock dust, with X-ray diffractograms (A1, B1, C1) of the whole sample (tot) and clay fraction (n) before sowing (i) and during maize blooming (m). Scanning electron microscopy images evidence the rock-eating process in the organic structure involving quartz grain (A2), fungal hyphae (A3), and the minerals of the rock dust by the K-feldspar (B2) and pyroxene (B3, C2 and C3).

Micromorphological images (Figure 7 A2) suggest fungal hyphae coiled in the quartz grain. The siliceous composition of this structure was understood as evidence of rock-eating fungi, and Al, Si, Fe and Ti microparticles on its surface suggesting biodeterioration, biomineralization and bioprecipitation (Gadd, 2010). In Figure 7 A3, the mycelium also had a chemical composition (Si, Al, Fe, Ti, Mg, Ca and K) that was similar to the surrounding particles, as well as phosphorus. Crystals composed of Si, Al and K (K-feldspar) (Figure 7 B2)

and Si, Al, Fe, Ca and Mg (pyroxene) (Figure 7 B3, C2 and C3) showed fragmented edges. Hoffland et al. (2003) previously reported the disintegration of K-feldspar in nutrient-poor ecosystems, influenced by rhizosphere symbiotic and saprophyte fungi. Pyroxene crystals and associated particles, by their turn, indicated the disintegration and dissolution of minerals occurring at room temperature and a pH between 4 and 6 (Wilson, 2004).

3.4 Implications for regional agricultural activity

This is the first report through MEV/EDS that assesses the mineral alteration of rock dust available in Brazil's Center-West Region, which is responsible for a considerable portion of the country's yields of grains and fiber. This work explored the potential use of Micaschist, Verdinho and Kamafugito rock dust available in Goiás State, Brazil, to amend three distinct Oxisols that originated from the Bauru group, the undifferentiated Detrital Deposits and the Serra Geral Formation basalts, and the mineralogical changes that were influenced by the maize rhizosphere.

In the three *in natura* soils, the XRD analysis and the SEM/EDS imaging of the rhizospheric soil showed that their original mineral composition did not change during the maize blooming stage. These complimentary methods demonstrated that loose soil grains formed aggregates that were associated with the maize's fine roots, root hairs and fungal hyphae, in which the SEM/EDS images indicated rock-building and rock-eating processes. The soil structure and the aggregate composition were influenced by the soil texture and composition, with the prevalence of quartz sand grains in the Bauru soil, smaller particles in the Serra Geral soil, and both in the Montividiu soil. Such benefits in soil aggregation are, therefore, also expected within field conditions in which maize is the main cash crop after soybeans and provides a source of straw in no-tillage systems.

XRD analysis indicated minor influences of rock dusts to soils added at 0.25% (w/w) in the bulk soil mineral composition. However, in the rhizospheric soil, this influence was evidenced as demonstrated in the diffractograms and SEM/EDS imaging, with differences according to the soils and the rock dust treatments. The micromorphology images showed that rock dust minerals adhere to the maize rhizoplane and their presence in the rhizosphere soil aggregates was indicated in all soils. The physical-chemical action and the exudation of organic acids by roots and soil fungi favor the aggregation of the mineral matrix and the changes of mineral structures with a consequent release of nutrients (Burford et al., 2003; Gregory, 2006; Rasmann and Turlings, 2016).

The rhizosphere diffractograms of the Bauru and Montividiu soils treated with Micascist showed the presence of smectite, a mineral that is absent in these rock dust. This result indicates the biotransformation of rock dust minerals (micas, chlorite or albite) into smectite, as well as the release of potassium from mica, which is required as a macronutrient by all cropped plants. The chemical weathering was demonstrated by the availability of ions (evaluated by SEM/EDS on the surface of the structures) and mainly by the formation of smectite. The establishment of this mineral from micas is probably a result of the structural breakdown and consequent release of K, Mg and Fe oxidation. When originating from chlorite and pyroxenes, smectite results from iron oxidation and release of Mg, Ca and Si. The smectite formed by the weathering of feldspar occurs by the release of K and part of the Si. In the soil, the smectite favors the increase of the cation exchange capacity, along with the retention of water (Wilson, 2004), which are fundamental aspects in sustainable agriculture. In this way, the weathering of minerals from rock dust has a straight effect on the physical-chemical attributes of the soil and may favor the regional agroecological and conventional production systems.

Micromorphology assessments also showed the root-mineral-microorganism interface after the addition of Verdinho and Kamafugito rocks to the three soils, identifying the surface

borders of phlogopite, pyroxene, disintegrating K-feldspar. In contrast with microimages of rock dust samples before the addition of soil that showed intact minerals, their borders in the rhizosphere environment showed physical weathering, while the chemical composition of surfaces indicate a higher availability of Mg, Ca, K, Na, P ions, among others. These results support the utilization of Micaschist, Verdinho and Kamafigito rock dusts as nutrient sources and soil conditioners to amend the Oxisols from the Bauru group, undifferentiated Detrital Deposits and Serra Geral Formation.

In the rhizospheric environment, fungal structures of different sizes and shapes, such as aseptate hyphae, were observed emerging from root hairs or growing between soil aggregates and putative fungal spores with aculeate ornaments on its surface. Such structures are similar to a coccoid spore's cell with obtuse protuberances, as described by Riquelme et al. (2015). The chemical composition of such organic structures, which is similar to the surrounding minerals, suggests biodeterioration, biomineralization and bioprecipitation processes, and the necessity of a wider description of such aspects. Therefore, beyond the goals reached by this study, we raise some questions for new studies regarding the adoption of rock dust on agricultural systems. Future research will be necessary to describe how microbial communities affect the bioweathering process at the field scale, after the addition of rock dust, and its consequences on sustainable agriculture. In addition, our outcomes and the positive results described by Leonardos et al. (2000), Van Straaten (2006), and Theodoro and Leonardos (2006) regarding stonemeal technologies will probably encourage their adoption by farmers, demanding the characterization of new arrangements or rock dusts, cropped plants and others distinct soils in which scientific-based results will be the fundamental to support technical advances.

4. Conclusions

- 1- SEM/EDS images show minerals of rock dust added at 0.25% (w/w) attached to maize roots and soil aggregates and bioweathering of quartz particles.
- 2- Diffractograms and SEM/EDS evidence the mineral transformation of minerals of rock dust added to the soils, on maize rhizosphere.
- 3- Fungal structures growing in the maize rhizosphere have surface chemical composition similar to the surrounding minerals.

Acknowledgments

Authors are grateful to MCTI/CNPq/CT-Mineral, for research grant 406783/2013-6, and doctorate scholarship to Cláudia A. Görden.

References

- Allison, F. E. 1968. Soil aggregation—some facts and fallacies as seen by a microbiologist. *Soil Sci.*, 106, 136-143.
- Banfield, J. F. 1997. Geomicrobiology: Interactions between microbes and minerals. *Rev. Mineral.* 35, 448.
- Bizão, A. A. 2014. Agrominerais silicatados como fornecedores de potássio e outros nutrientes para soja e milho em latossolo Vermelho-Amarelo. 61f. Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_5/2018-01-04-11-54-47Antonio%20Alexandre%20Biz%C3%A3o.pdf (accessed 14 September 2018).

Burford, E. P., Fomina, M., & Gadd, G. M. 2003. Fungal involvement in bioweathering and biotransformation of rocks and minerals. *Mineralogical Mag.* 67, 1127-1155. <https://doi.org/10.1180/0026461036760154>

Brady, N. C.; Weil, R. R. 1974. *The nature and property of soil*. New York State College of Agriculture and life science. New York.

Campbell, R., Greaves, M. P. 1990. Anatomy and community structure of the rhizosphere. In: Lynch, J. M. (Ed). *The Rhizosphere.*, John Wiley. New York. 11-34. <https://eurekamag.com/research/002/027/002027781.php> (accessed 22 August 2018).

Dartora, J., Marini, D., Gonçalves, E., Guimarães, V. F. 2016. Co-inoculation of *Azospirillum brasilense* and *Herbaspirillum seropedicae* in maize. *Rev. Bras. Eng. Agr. Amb.* 20, 545-550. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p545-550>

Dedavid, B. A., Gomes, C. I., Machado, G. 2007. *Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores*. EdiPUCRS.

Dessaux, Y., Grandclément, C., Faure, D. 2016. Engineering the rhizosphere. *Trends Plant. Sci.* 21, 266-278. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.01.002>

Dotaniya, M. L.; Meena, V. D. 2015. Rhizosphere effect on nutrient availability in soil and its uptake by plants: a review. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sci.* 85, 1-12. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40011-013-0297-0> (accessed 29 August 2018).

Dunbabin, V. M., Postma, J. A., Schnepf, A., Pagès, L., Javaux, M., Wu, L., ...Diggle, A. J. 2013. Modeling root-soil interactions using three-dimensional models of root growth,

architecture and function. *Plant Soil*. 372, 93-124. [https://doi.org/10.1007/s11104-013-1769-](https://doi.org/10.1007/s11104-013-1769-y)

[y](#)

Ferreira, J. M., Moreira, R. M. P., e Hidalgo, J. A. F. 2009. Capacidade combinatória e heterose em populações de milho crioulo. *Cienc. Rural*. 39. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33113639004> (accessed 14 August 2018).

Fomina, M., Burford, E. P., Hillier, S., Kierans, M., Gadd, G. M. 2010. Rock-building fungi. *Geomicrobiology J.* 27, 624-629. <https://doi.org/10.1080/01490451003702974>

Gadd, G. M. 2010. Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology*, v. 156, n. 3, p. 609-643. [https://doi.org/10.1099/mic.0.037143-](https://doi.org/10.1099/mic.0.037143-0)

[0](#)

Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Org. por Moreira, M. L. O., Moreton, L. C., Araújo, V. A. D., Lacerda Filho, J. V. D., Costa, H. F. 2008. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC - FUNMINERAL, Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/10512> (accessed 23 August 2018).

Gomes, C. B. 1984. Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à Geologia. Editora Edgar Blücher LTDA. São Paulo. 218.

Görgen, C. A.; Bizão, A. A.; Ragagnin, V. A.; Martins, E. S.; Batista, N. T. F.; Silva, F. S.; Hack, E. 2011. Arranjo Produtivo Local de base mineral no Sudoeste Goiano: uso de rochas regionais na agricultura. In: Fernandes F. R. C.; Enríquez M. A. R. da S.; Alamino R. de C. J. (Eds). Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2, 45-68. <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/1177/1/Arranjo%20Produtivo%20Local%20de%20base.pdf> (accessed 25 August 2018).

Gregory, P. J. 2006. Roots, rhizosphere and soil: the route to a better understanding of soil science? *Eur. J. Soil Sci.* 7, 2-12, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.00778.x>

Hoffland, E.; Giesler, R., Jongmans, A. G., van Breemen, N. 2003. Feldspar tunneling by fungi along natural productivity gradients. *Ecosystems*, 6, 739-746, <https://doi.org/10.1007/s10021-003-0191-3>

Houlden, A., Timms-Wilson, T. M., Day, M. J., Bailey, M. J. 2008. Influence of plant developmental stage on microbial community structure and activity in the rhizosphere of three field crops. *FEMS Microbiology Ecol.* 65, 193-201. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00535.x>

Huang, X. F., Chaparro, J. M., Reardon, K. F., Zhang, R., Shen, Q., Vivanco, J. M. 2014. Rhizosphere interactions: root exudates, microbes, and microbial communities 1. *Botany*, 92, 267-275. <https://doi.org/10.1139/cjb-2013-0225>

Jastrow, J. D.; Miller, R. M.; Lussenhop, J. 1998. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie1. *Soil Biol. Biochem.* 30, 905-916. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00207-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00207-1)

Jongmans, A. G., Van Breemen, N., Lundström, U., Van Hees, P. A. W., Finlay, R. D., Srinivasan, M., Olsson, M. 1997. Rock-eating fungi. *Nature*. 389, 682. <https://doi.org/10.1038/39493>

Junqueira-Brod, T. C., Roig, H. L., Gaspar, J. C., Brod, J. A., & Meneses, P. R. 2002. A Província Alcalina de Goiás e a extensão do seu vulcanismo kamafugítico. *Rev. Bras. Geoci.* 32, 559-566. <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/viewFile/9853/9825> (accessed 22 August 2018).

Kodama, H.; Schnitzer, M. t; Jaakkimainen, M. 1983. Chlorite and biotite weathering by fulvic acid solutions in closed and open systems. *Can. J. Soil. Sci.* 63, 619-629. <https://doi.org/10.4141/cjss83-062>

Leonardos, O. H., Theodoro, S. H., & Assad, M. L. 2000. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 56, 3-9. <https://doi.org/10.1023/A:1009855409700>

Luster, J., Göttlein, A., Nowack, B., Sarret, G. 2009. Sampling, defining, characterizing and modeling the rhizosphere - the soil science tool box. *Plant Soil*, 321, 457-482. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9781-3>.

Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O. 2006. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2ª edição. Lavras: Editora UFLA, 720.

Oburger, E.; Schmidt, H. 2016. New methods to unravel rhizosphere processes. *Trends Plant. Sci.* 21, 243-255. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.12.005>

Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., Van Der Putten, W. H. 2013. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nat. Rev. Microbiol.* 11, 789. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3109>

Ramos, C. G., de Mello, A. G., & Kautzmann, R. M. 2014. A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application. *Environ. Nanotech. Monit. Manag.* 1, 30-35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enmm.2014.03.002>

Rasmann, S., Turlings, T. C. 2016. Root signals that mediate mutualistic interactions in the rhizosphere. *Current Opinion in Plant Biol.* 32: 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.06.017>

Richter, D. D. B., Oh, N. H., Fimmen, R., Jackson, J. 2007. The rhizosphere and soil formation. In: *The Rhizosphere* (179). <https://doi.org/10.1016/B978-012088775-0/50010-0>

Schorr, M. R. W. 2017. Atributos da arquitetura radicular como indicadores na seleção de plantas de trigo submetidas à deficiência de fósforo e toxidez por alumínio. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/11802> (accessed 25 August 2018).

Riquelme, C., Marshall Hathaway, J. J., Enes Dapkevicius, M. D. L., Miller, A. Z., Kooser, A., Northup, D. E., ... Cheeptham, N. (2015). Actinobacterial diversity in volcanic caves and associated geomicrobiological interactions. *Front. Microbiol.* 6, 1342. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01342>

Silva Neto, L. D. F. D., Inda Junior, A. V., Bayer, C., Dick, D. P., Tinin, A. T. 2008. Óxidos de ferro em latossolos tropicais e subtropicais brasileiros em plantio direto. *Rev. Bras. Cienc Solo. Viçosa.* 32, 1873-1881. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/79914> (accessed 25 August 2018).

Theodoro, S. H., & Leonardos, O. H. 2006. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.* 78, 721-730. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652006000400008>

Tkacz, A., Cheema, J., Chandra, G., Grant, A., Poole, P. S. 2015. Stability and succession of the rhizosphere microbiota depends upon plant type and soil composition. *The ISME Journal*, 9, 2349. <https://doi.org/10.1038/ismej.2015.41>

Uroz, S., Calvaruso, C., Turpault, M. P., Frey-Klett, P. 2009. Mineral weathering by bacteria: ecology, actors and mechanisms. *Trends Microbiol.* 17, 378-387. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2009.05.004>

Van Schöll, L.; Kuyper, T. W., Smits, M. M., Landeweert, R., Hoffland, E., Van Breemen, N. 2008. Rock-eating mycorrhizas: their role in plant nutrition and biogeochemical cycles. *Plant Soil*, 303, 35-47. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9513-0>

Van Straaten, P. 2006. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *An. Acad. Bras. Cienc.* 78, 731-747. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652006000400009>

Webley D. M, Henderson M. E. F., Taylor I. F. 1963. The microbiology of rocks and weathered stones. *J. Soil Sci.* 14: 102–112.

White, A. F. 1995. Chemical weathering rates of silicate minerals in soils. *Rev. Mineral. Geochem.*, 31, 407-461.

Wilson, M. J. 2004. Weathering of the primary rock-forming minerals: processes, products and rates. *Clay Miner.* 39, 233-266. <https://doi.org/10.1180/0009855043930133>

You, Y., Wang, J., Huang, X., Tang, Z., Liu, S., Sun, O. J. 2014, Relating microbial community structure to functioning in forest soil organic carbon transformation and turnover. *Ecol. Evol.* 4, 633-647. <https://doi.org/10.1002/ece3.969>

CAPÍTULO 4

4.1 Artigo 3 – EM PREPARAÇÃO - Micromorfologia e mineralogia da rizosfera da soja cultivada em solos do sudoeste de Goiás originados de basalto e rochas sedimentares, remineralizados com rochas alcalinas e Micaxisto – Revista do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Micromorfologia e mineralogia da rizosfera da soja cultivada em solos do sudoeste de Goiás originados de basalto e rochas sedimentares, remineralizados com rochas alcalinas e Micaxisto

Claudia Adriana Görgen⁽¹⁾, Edi Mendes Guimarães⁽¹⁾ and Murillo Lobo Junior⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC - Ala Central CEP 70.910-900 - Brasília DF, CEP 70919-970 - gorgenclaudia@gmail.com, rxedi@unb.br ⁽²⁾ Embrapa Arroz e Feijão - Rodovia GO-462 km 12, Santo Antônio de Goiás GO, CEP: 75375-000. murillo.lope@embrapa.br

RESUMO - As raízes das plantas têm a função de dar suporte e proporcionar a absorção de água e nutrientes, condicionada pelas diversas características de cada solo e de cada planta. O propósito deste trabalho foi identificar estruturas orgânicas e inorgânicas da rizosfera da soja, bem como sua composição mineral e química, cultivada em solos *in natura* e com adição de rochas. Foram selecionados solos do Sudoeste Goiano evoluídos das unidades litoestratigráficas Grupo Bauru, Depósitos Detríticos indifenciados e Formação Serra Geral denominados respectivamente Bauru, Montividiu e Serra Geral. Foram preparadas misturas de cada um destes solos com cada uma das rochas alcalinas - Verdinho e Kamafugito - e com Micaxisto do Grupo Araxá na dose de 5 toneladas por hectare. O ensaio em vasos, conduzido na casa de vegetação da Embrapa Arroz e Feijão, foi implantado em triplicata com imediato cultivo de milho e soja, em sucessão. Amostras dos solos *in natura* e da rizosfera da soja, coletadas no período de florescimento, foram analisadas por Difração de Raios-X, para identificação da composição mineral. Todos os solos *in natura* e a rizosfera desenvolvida sobre eles são constituídos por diferentes proporções dos mesmos minerais: quartzo, caolinita, gibbsita, anatásio, hematita ou goethita. As rizosferas desenvolvidas nas misturas com as rochas mantêm composição mineral dos solos, acrescida eventualmente de minerais das rochas ou de suas alterações. A micromorfologia e a composição química da rizosfera da soja foram determinadas por Microscopia Eletrônica de Varredura com Espectroscopia por Energia Dispersiva,

identificando-se o silício, o alumínio, o ferro e o titânio nos solos *in natura*. Nas rizosferas desenvolvidas nas misturas, além dos elementos dos solos *in natura*, os agregados de partículas e as superfícies das estruturas radiculares contêm também elementos derivados das rochas, tais como cálcio, magnésio, potássio, fósforo, cobalto, molibdênio, manganês, sódio, enxofre, cloro e flúor.

1. INTRODUÇÃO

Na região sudoeste de Goiás e nordeste do Mato Grosso do Sul a agricultura constitui a principal atividade econômica. As características naturais dos solos, do clima e do relevo da região, e a técnica da agricultura de precisão com o uso de fertilizantes solúveis tem garantido a produtividade agrícola. Entretanto, na busca de sustentabilidade, têm sido aplicadas diversas práticas de manejo da fertilidade do solo, como o sistema de plantio direto (SPD) e a remineralização. O SPD possibilita aumento de produtividade diminuindo a necessidade de aplicação de corretivos e fertilizantes, contribuindo também na retenção e disponibilidade de água, formação de agregados, aumento da atividade biológica e potencialização do controle biológico, e ainda recicla nutrientes (Kluthcouski et al., 2000; Carvalho et al., 2004; Carneiro et al., 2004; Alleoni et al., 2005; Görgen et al., 2010, 2011(a)). A remineralização – adição ao solo de pós de rochas, cujos minerais contêm macro e micronutrientes liberados pelo intemperismo – tem sido intensamente estudada como tecnologia regional (Van Straaten, 2006, Leonardos et al., 2000; Görgen et al., 2011(b); Bizão, 2014).

Nesta região, as atividades agrícolas se desenvolvem sobre solos originados de rochas sedimentares siliciclásticas e em ampla extensão de rochas basálticas. Estes solos, originados de distintos litotipos e classificados como Latossolos, apresentam diferentes características texturais e químicas, ocasionando também diferentes respostas a remineralizadores, corretivos e condicionadores de solo, refletidas na produtividade (Brait, 2008; Görgen et al., 2011(b))

As propriedades físicas e químicas do solo são condicionadas pelas interações dinâmicas entre as raízes, micróbios, minerais, água, ar, substâncias orgânicas e os compostos inorgânicos amorfos que ocorrem na rizosfera (Huang et al., 2014; Houlden et al., 2008). Esta compreende a zona de solo influenciada pelo sistema radicular e microrganismos associados, desde a superfície das estruturas radiculares até uma distância entre 1 a 3 mm (Moreira e Siqueira, 2006), incluindo todos os materiais orgânicos e inorgânicos. Assim, a caracterização da rizosfera contribui para a compreensão dos fatores condicionantes dos solos do Sudoeste Goiano.

Como as raízes das plantas crescem através do solo liberando compostos solúveis em água (aminoácidos, açúcares e ácidos orgânicos) que fornecem alimento para os microrganismos, altos níveis de exsudatos na rizosfera atraem um grande número de microrganismos.

A quantidade e a qualidade dos compostos orgânicos exsudatos são determinadas pela espécie da planta, genótipo, estágio de desenvolvimento, fatores ambientais incluindo pH, temperatura e o grau de especificidade dos microrganismos associados (Huang et al., 2014).

Segundo Broeckling et al. (2008), o tipo de solo (gênese e evolução) e a espécie cultivada, em diferentes estágios fenológicos, determinam a composição e função das comunidades microbianas da rizosfera.

Como consequência do ciclo de desenvolvimento das plantas, uma série de exsudatos são secretadas pelas raízes no solo provocando mudanças nas propriedades físicas e químicas (Walker et al., 2003). Entre os fatores químicos mais alterados, pode-se citar o pH (extrusão de H^+ ou HCO_3^-), exsudatos radiculares, absorção de nutrientes e fixação biológica de N. De modo geral o pH rizosférico pode diferir uma a duas unidades do pH do solo adjacente. Quando a absorção de cátions excede a de ânions, ocorre a extrusão líquida de H^+ , enquanto na maior absorção de ânions ocorre extrusão líquida de HCO_3^- (Moreira e Siqueira, 2006). Desta forma, modificações químicas e físicas do solo, motivadas pela adição de calcários, macro e micronutrientes solúveis e minerais (aluminossilicatos, silicatos ferro-magnesianos e minerais acessórios), podem alterar a composição e o padrão de exsudatos radiculares afetando a população e atividade das comunidades microbianas. Quantidades expressivas destes compostos podem ser liberadas pela cultura de milho, trigo e cevada chegando a 1.250, 700 e 300 m^3 /hectare/ano, respectivamente (Moreira e Siqueira, 2006).

O efeito da aplicação fungicidas e inseticidas em sementes de soja e milho sobre as comunidades microbianas do solo e endofíticas no tecido vegetal das plantas foi pesquisado por Nettles *et al.* (2016) em lavouras no sistema de plantio direto na Pensilvânia (USA) nas safras 2013 e 2014. A quantificação e qualificação das comunidades microbianas foi realizada por extração de DNA. Os resultados comprovaram a redução significativa da comunidade de fungos e bactérias no solo para ambas as culturas, bem como fungos endofíticos nas folhas da cultura da soja. A redução da comunidade microbiana nos solo e tecido vegetal (endofíticos) consequentemente reduziu a mineralização e transformação de nutrientes, a assimilação de P e N em especial, o sequestro de carbono e a supressão de doenças.

O reconhecimento e compreensão da origem dos solos, bem como de rizosfera desenvolvida em cada um deles contribui para a adequação de manejos da fertilidade. Para o

caso específico do Sudoeste Goiano, este trabalho se insere no projeto “Validação, geração e desenvolvimento de metodologias e protocolos analíticos para caracterização de rochas silicáticas, solos e biointemperismo como subsídio a mapeamentos agrogeológicos - Chamada MCTI/CNPq/CT-Mineral 51/2013”. Foram objetivos deste trabalho: 1. Identificar a composição mineral e estruturas orgânicas da rizosfera de soja cultivada em diferentes solos *in natura* e com adição de rochas; 2. Identificar a composição química da superfície das estruturas orgânicas e inorgânicas da rizosfera da soja

Assim, foram estudadas as rizosferas de soja desenvolvidas nos ensaios em casa de vegetação sobre solos *in natura* de diferentes origens, bem como nas misturas com rochas alcalinas e micaxisto.

1.1 Contexto Agrogeológico

O Sudoeste Goiano é enquadrado Köpen no clima do tipo Awa, mega-mesotérmico: tropical úmido de savana com verão chuvoso e inverno seco. A precipitação média anual entre 1200 mm a 1600 mm (outubro a abril) com médias mensais entre 80 mm e 350 mm, enquanto entre maio e setembro varia de 0 mm a 80 mm (Mariano, 2005). A temperatura média do mês mais frio (julho) flutua em torno de 18,2 °C, e a do mês mais quente (outubro) chega a 24,4 °C e amplitude térmica média de 6,2 °C.

Na região, lavouras de soja, milho, algodão, cana de açúcar, braquiária, sorgo, banana, entre outras, têm sido remineralizadas pela aplicação de rochas moídas suprimindo a demanda de nutrientes para produção em grande escala com lucratividade (Görgen *et al.*, 2012, Hack *et al.*, 2012, Bizão *et al.*, 2013).

Para o presente trabalho, foram selecionados solos de cultivo com soja e milho (culturas de maior impacto econômico), originados de arenitos do Grupo Bauru, de ritmitos das Coberturas Detríticas indiferenciadas e de basalto da Formação Serra Geral, denominados respectivamente solo Bauru, solo Montividiu e solo Serra Geral (Figura 1).

Nos municípios de Montividiu, Caiapônia, Santo Antônio da Barra e Rio Verde, ocorrem rochas ígneas alcalinas e ultramáficas das formações Santo Antônio da Barra e Verdinho (Junqueira Brod *et al.* 2008), da qual foram coletadas as amostras Kamafugito.e Verdinho, respectivamente.

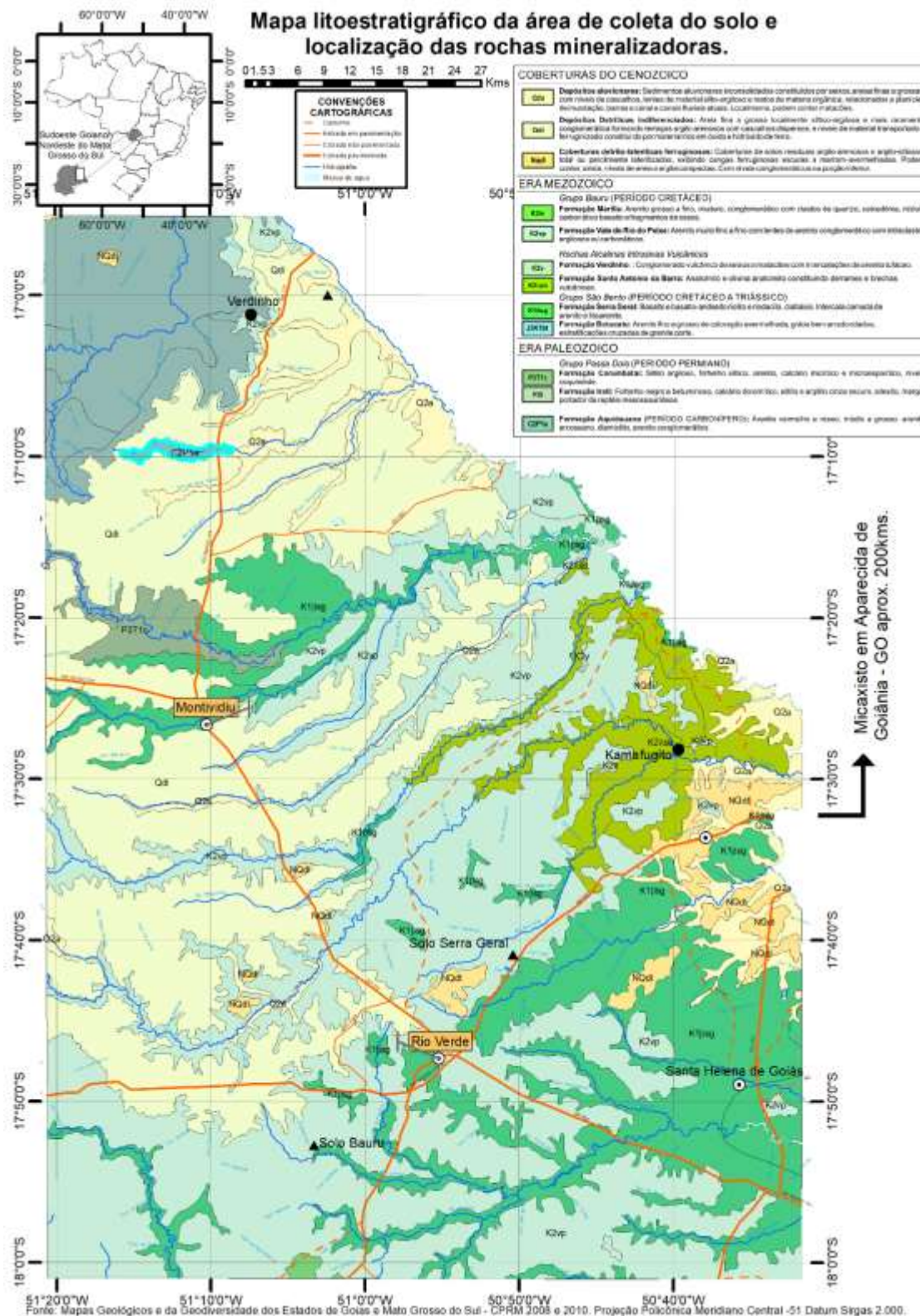


Figura 1: Mapa Litoestratigráfico da área de coleta dos solos e localização das rochas remineralizadoras. Confeccionado por Amanda de Freitas Bolsista e Maria Angélica Barreto, bolsista e integrante do Projeto “Validação ...” respectivamente. Fonte: SIG-Goiás, (2009) e <http://www.seplan.mt.gov.br>.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Seleção de solos e rochas

Para este trabalho, foram coletados e caracterizados solos do Sudoeste Goiano, bem como, das rochas remineralizadoras desta região e do município de Aparecida de Goiânia (Tabela 1).

Tabela 1: Identificação e localização das amostras dos solos coletados no Sudoeste Goiano, bem como das rochas remineralizadoras.

IDENTIFICAÇÃO	Coordenadas	Altitude	Município
Solo Serra Geral	-17.681.944 -50.840.333	761 m	Rio Verde
Solo Bauru	-17.879258 -51.055072	735 m	Rio Verde
Solo Montividiu	-17.000761 -51.040.289	835 m	Montividiu
Rocha Verdinho	-17.021792 -51.120058	565 m	Caiapônia
Rocha Kamafugito	-17.470522 -50.650661	552 m	Santo Antônio da Barra
Micaxisto	-16.768508 -49.212133	728 m	Aparecida de Goiânia

Os perfis dos solos foram descritos e classificados segundo Dos Santos (2013), em trincheiras com um metro de seção por dois metros de profundidade (Figura 2 e Tabela 2). Em cada um dos diferentes horizontes de cada perfil, foram coletadas amostras deformadas para determinações mineralógicas e físico-químicas, além de amostras indeformadas (em anéis concêntricos) para avaliar retenção de água, porosidade, condutividade e densidade.

Cerca de 200 kg, da camada 0-20 cm, de cada solo foram coletadas e transportadas até a Embrapa Arroz e Feijão para caracterização física e ensaios em vasos em ambiente controlado (casa de vegetação).



Figura 2: Trincheiras dos solos Bauru (B), Montividiu (M) e Serra Geral (SG).

Tabela 2: Descrição morfológica dos perfis dos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral, SW - GO.

Bauru	Montividiu	Serra Geral
LATOSSOLO VERMELHO - LV	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO -LVA	LATOSSOLO VERMELHO - LV
Vegetação natural Cerradão	Vegetação natural Cerrado	Vegetação natural Cerrado/Mata Atlântica
<p>A1- 0-15 cm. Vermelho escuro (10R3/3 seco); textura arenosa; estrutura forte granular média e grande e blocos subangulares; porosidade textural e biológica; cerosidade fraca e pouca; consistência macia, não plástica, ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.</p> <p>A2 - 15-50 cm: Vermelho escuro (10R3/3 seco), textura arenosa; estrutura forte granular média e grande e blocos subangulares; porosidade pequena; cerosidade fraca; consistência macia, não plástica, ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.</p> <p>AB - 50-100 cm: Vermelho escuro (7,5 R3/3 seco); textura arenosa; estrutura forte granular média e grande e blocos subangulares; porosidade grande; Cerosidade fraca; consistência macia, não plástica, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.</p> <p>Bw - 100+ cm. Vermelho escuro (7,5R3/3 seco); textura arenosa; estrutura forte granular média e grande; porosidade grande; cerosidade fraca; consistência macia, não plástica; ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.</p>	<p>A1 (A antrópico) – 0-10 cm Bruno claro acinzentado (10YR6/3 seco); argilo- arenoso; estrutura forte granular média e grande; porosidade grande; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual.</p> <p>A2 – 10- 30cm. Marrom amarelado (10YR5/6 seco); argilo arenoso; estrutura forte, granular média e grande e grumosa muito pequena com concreções milimétricas; porosidade grande; cerosidade fraca; consistência seca ligeiramente dura com concreções extremamente duras; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.</p> <p>AB - 30 – 70 cm: Marrom levemente amarelado (10YR6/4 seco); argilo arenoso; estrutura forte granular média e grande com blocos subangulares; porosidade grande; cerosidade fraca; consistência ligeiramente dura com concreções ferruginosas extremamente duras; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.</p> <p>Bw - 70 – 120 cm: Marrom leve claro (7,5YR6/4 seco); argilo arenoso cascalhento; forte granular grande blocos subangulares; porosidade grande; cerosidade moderada, consistência seca dura com concreções ferruginosas extremamente duras; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. Transição gradual e plana.</p> <p>C - 120+ cm. Vermelho amarelado (5YR5/6 seco) amarelo com veios de quartzo, concreções avermelhadas; argilo arenoso cascalhento; forte granular médio e grande com blocos subangulares menores que o horizonte anterior; porosidade grande; cerosidade moderada; consistência seca ligeiramente dura com concreções extremamente duras; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.</p>	<p>A1 - 0-30 cm Vermelho Escuro (7,5R3/3 seco); argiloso; estrutura forte granular média e grande com blocos subangulares; porosidade grande; cerosidade moderada; consistência seca ligeiramente dura; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.</p> <p>A2 - 30-60 cm - Vermelho Escuro (7,5R3/3 seco); argiloso; estrutura forte granular média e grande com blocos subangulares; porosidade grande; cerosidade moderada; consistência seca ligeiramente dura; molhada ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana.</p> <p>AB - 60 -110 cm –Vermelho Escuro (7,5R3/3 seco); argiloso; estrutura forte granular média e grande com blocos subangulares; porosidade grande; cerosidade forte; consistência seca ligeiramente dura; molhado ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.</p> <p>Bw - 110+ cm - Vermelho Escuro (7,5R3/3 seco); argiloso, estrutura forte granular média e grande com blocos subangulares; porosidade grande; cerosidade forte consistência seca macia; molhado plástica e pegajosa; transição difusa e plana.</p>

2.2 Etapas de implantação e condução do ensaio

O ensaio foi implantado com triplo propósito de 1) identificar a comunidade biológica da rizosfera (ainda em realização), 2) registrar as estruturas orgânicas e minerais da rizosfera; e, 3) verificar a influência da tecnologia da rochagem sobre características químicas e morfológicas dos diferentes solos.

Seguindo a recomendação da dose de cinco toneladas por hectare para a rocha Micaxisto (Bizão, 2014), a mesma dose foi mantida para todas as rochas. Considerando que a camada de 0-20 cm de solo em um hectare corresponde a 2 milhões de kg a dose de 5 mil kg por hectare

significa 0,25 % (massa/massa). Para manter esta proporção, foi preparada a mistura de 50 gramas de cada rocha para 12 kg de cada solo, homogeneizada em betoneira.

A adição de cada rocha em cada solo foi realizada em 22 de agosto de 2016. A implantação dos substratos em vasos ocorreu em 29 de agosto de 2016 com a imediata semeadura de milho. No dia 10 de outubro (milho em pleno florescimento) foi coletada amostra de solo dos vasos. A semeadura da soja foi realizada em 18 de novembro de 2016 e a coleta da rizosfera se deu em 06 de janeiro de 2017 (Figura3). O ensaio do cultivo de milho e soja, em sequência, foi implantado e conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Fitopatologia na Embrapa Arroz e Feijão, em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições.



Figura 3: Esquema do ensaio para análise da rizosfera de soja.

Considerando que a rizosfera da soja se desenvolveu em sequência ao cultivo do milho em vasos, o ensaio seguiu as etapas:

- (i) Solos *in natura* e misturados às rochas foram acondicionados em vasos com capacidade de 4 kg e imediatamente irrigados.
- (ii) A semeadura do milho – MC10 (Milho Crioulo 10), variedade convencional obtida pela seleção massal por agricultores durante 10 anos (Ferreira et al 2008) – foi realizada em 26 de julho de 2016, uma semana após o acondicionamento dos substratos nos vasos. Foram colocadas 3 sementes por vaso. Duas semanas após a germinação foi realizado desbaste, de forma que apenas uma planta se desenvolvesse por vaso.
- (iii) No desenvolvimento do milho não foi realizada adubação de cobertura com nitrogênio, nem aplicação de inseticidas e fungicidas. A ausência destes tratamentos culturais deve-se à avaliação microbiológica do ambiente rizosférico. Manteve-se irrigação diária.
- (iv) As plantas de milho foram arrancadas 42 dias após a emergência e coletadas amostras da rizosfera para análises físico-químicas, mineralógicas e micromorfológicas..

- (v) Imediatamente após a retirada das plantas de milho, sementes de soja - linhagem BRAS 09-0035 - pré-germinadas foram cuidadosamente depositadas aos vasos. Estas sementes não foram inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio evitando mascarar a identificação das comunidades microbianas dos tratamentos solos e rochas.
- (vi) Foram depositadas cinco sementes por vaso. Duas semanas após a semeadura foi realizado desbaste, permitindo que apenas três plantas por vaso se desenvolvessem, tendo sido mantidos os mesmos tratamentos culturais adotados para o milho: não adubação complementar, ou aplicação de fungicidas ou inseticidas.
- (vii) Por ocasião do pleno florescimento da soja (41 dias após a semeadura), quando a planta atinge seu ponto máximo de atividade, no estágio reprodutivo R2, foram coletadas amostras do sistema rizosférico da soja.
- (viii) Considerando o abundante sistema radicular da soja, preenchendo inteiramente vasos, foi assumido que todo o substrato corresponde à rizosfera, compreendendo rizoplano de raízes finas (diâmetro aproximado de 1 mm) e a rizosfera. Foram coletadas 50 g de amostras a 10 cm de profundidade para análises mineralógicas e micromorfológicas.

2.3 Características da soja (*Glycine max (L.) Merril*) cultivada

A soja cultivada - linhagem BRAS09-0035- apresenta as seguintes características:

- a) Grupo de maturidade: 8.6; b) Ciclo médio: 139 dias; c) Tipo de crescimento: Indeterminado;
- d) Cor da flor: branca; e) População de plantas: 220 mil por hectare; f) Massa de 100 grãos: 16,4 g; g) Exigência em fertilidade do solo: médio. h) Época de semeadura recomendada: de 1/10 a 20/11; i) Altura média: 85 cm; j) Resistente a *Cercospora sojina*, Cancro da Haste, *Heterodera glycines* e *Fitoftora*; k) Resistência média a *Meloidogyne incognita*.

2.4 Caracterização dos solos *in natura*, das rochas, das misturas e da rizosfera

Os solos *in natura*, as misturas dos solos com as rochas anteriormente ao cultivo foram caracterizadas quanto à composição mineral por DRX, à composição química pelo método de análise da solução do solo (Donagema et al., 2011); e à granulometria pelo método do densímetro. Além da determinação destas características, na rizosfera da soja, foram identificadas também a micromorfologia e os elementos aderidos às estruturas orgânicas, pelas análises por MEV/EDS.

2.4.1 Determinação da composição mineral

A composição mineral das rochas foi determinada inicialmente por microscopia ótica em lâminas petrográficas confeccionadas no Laboratório de Laminação (IG/UnB) e analisadas em microscópio petrográfico ZEISS acoplado a uma câmera fotográfica digital no Laboratório de Difração de Raios-X (LARIX-IG/UnB).

A identificação dos minerais constituintes da matriz das rochas, de cada solo, das respectivas misturas e da rizosfera foi realizada por difração de raios-X. As análises difratométricas foram realizadas no Laboratório de raios-X da Universidade de Brasília em difratômetro RIGAKU - Ultima IV, operando com tubo de cobre e filtro de níquel, sob 35 Kw e 15 mA, com passo 0,05°, velocidade 5°/min, intervalo de varredura da amostra total 0,2-80° e da fração argila 0-40°.

A amostra total foi analisada após a desagregação do material em frações menores que 64 µm e montagem sobre lâmina de vidro, pressionando o material sobre o orifício até ser fixado. A fração argila foi obtida utilizando 7,5 g da TFSA dispersa em 150 ml de água destilada, disposto em tubos de ensaio e centrifugado por 7 minutos a 750 RPM. O sobrenadante foi então centrifugado por 30 minutos a 3000 RPM. Para análise do precipitado (fração argila) de cada amostra, foram preparadas lâminas de argila pela técnica do esfregaço e secas ao ar. Para identificação de argilominerais expansivos, as lâminas foram analisadas após solvatação com etileno glicol e glicerol, em dessecador vácuo glicol por 12 horas. Finalmente, as amostras foram analisadas após aquecimento a 490°C por 4 horas.

A identificação dos minerais foi realizada com auxílio do *software* JADE 9,4 da MDI e pesquisa no banco de dados do International Centre for Diffraction Data (www.icdd.com/). O Programa JADE indicou também as porcentagens de intensidade de cada uma das reflexões registrada nos difratogramas, em relação à intensidade máxima, correspondente à 100%. Para cada mineral foi selecionada uma de suas reflexões, cuja porcentagem foi tomada como parâmetro de comparação entre amostra total e fração argila de cada amostra, bem como entre as diferentes amostras. Destaca-se que os percentuais foram utilizados para comparação das variações entre os solos, as misturas iniciais e a rizosfera, mas não correspondem à análise quantitativa nem semi-quantitativa da composição mineral.

2.4.2 Micromorfologia e composição química de partículas e estruturas

Análises para caracterização morfológica da rizosfera – forma, tamanho e textura das partículas – foram realizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectrômetro de Energia Dispersiva (*Energy Dispersive Spectrometer* - EDS) que permitiu

também a identificação de feições indicativas de reações de dissolução e/ou neoformação nas superfícies minerais e a determinação da constituição elementar (Dedavid et al, 2007).

As imagens foram obtidas em MEV marca FEI QUANTA 450 no Laboratório de Geochronologia e Geologia Isotópica do Instituto de Geociências/UnB. Para as análises das amostras selecionadas, alíquotas de cerca de 1 g de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), foram fixadas sobre lâminas de vidro, as quais após metalização com carbono foram analisadas em baixo vácuo. Para obtenção das imagens por elétrons retroespalhados (*backscattered electrons* – BSE) utilizou-se a aceleração de voltagem de 25 kV e distância de trabalho aproximada de 11 mm. Foram confeccionadas 72 lâminas, tendo sido obtidas de cada uma cerca de 4 e 20 imagens de estruturas orgânicas e inorgânicas, também analisadas por EDS possibilitando identificar a composição química da superfície de partículas diversas.

2.4.3 Composição química

A composição química dos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral e das rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito foi determinada por Fluorescência de Raios-X. Os óxidos maiores foram determinados pelas análises de pastilhas confeccionadas pela fusão de 1g de amostra com 9 g de tetraborato de lítio, após secagem em estufa a 105°C por 12 horas. As análises foram realizadas no Laboratório de Geocronologia (IG/UnB), em equipamento Rigaku ZSX Primus II. Perda por incineração (LOI) foi calculada pela diferença de peso da amostra antes e após a ignição a 1000°C..

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição mineral das rochas e solos

As análises petrográficas das rochas mostram seus constituintes, inclusive os minerais acessórios, bem como a textura (Figura 4). A composição mineral da matriz das rochas e dos solos é identificada por DRX, enquanto sua micromorfologia e composição química de partículas. são evidenciadas pelas análises por MEV/EDS.

A Tabela 3 mostra a composição mineral, determinada por DRX, da amostra total (tot) e da fração argila (n) dos solos *in natura* e das rochas, indicando também as porcentagens das intensidades das reflexões características de cada constituinte, bem como as composições químicas (ideais e aproximadas) dos minerais identificados.

Tabela 3: Minerais identificados por DRX, fórmula química ideal (exceto * = composição aproximada), porcentagens de intensidades de reflexão dos solos e das rochas. Tot: amostra total, n: fração argila. (?): constituinte não confirmado.

Minerais	Composição química	Reflexões <i>d</i> (Å)	Bauru		Montvidiu		Serra Geral		Micaxisto		Verdinho		Kamafugito	
			Tot	n	tot	n	tot	n	tot	n	tot	n	tot	n
			%											
Caulinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	7,1	0,3	64,4	4,4	38,4	9,8	46						
Gibbsita	Al(OH) ₃	4,85	1,0	100	18	100	69,8	100						
Quartzo	SiO ₂	3,34	100	57	100	13,4	100	3,7	100	68,9	?	?		
Anatasio	TiO ₂	3,52	0,1	33,5	21	16,6	31,8	32,3						
Hematita	Fe ₂ O ₃	2,69	0,7	46,3			35,2	30,6			7,1	5,2		
Goethita	FeO(OH)	4,18			3,8	11,3								
Maghemita	Fe _{2,67} O ₄	2,96					5,6	4,7						
Micas:														
- muscovita	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	10							99	100	7,8	9,1	?	10,4
- Biotita	*KMgFeAlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	10												
- Flogopita	*KMgFeSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	10												
Clorita	*MgFeAlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₄	14							15,5	14				
Feldspatos:														
- Potássico	KAlSi ₃ O ₈	3,24												
- Albita	NaAlSi ₃ O ₈	3,18							36,5	30	5,7	2	14,6	17,4
Piroxênio: Augita	*MgFeCaAlSi ₂ O ₆	2,98									32	6,9	100	53,7
Esmectitas	*NaCaKMgFeAlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	14-15,0									44,5	100	8,3	100
Vermiculita	*MgFeAlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	14-15,0											?	?
Serpentina:														
Crisotilo	*Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	7,1											?	21,1
Calcita	CaCO ₃	3,02											100	36,4

Dentre os minerais constituintes das rochas predominam os filossilicatos de estrutura 2:1, identificados como micas e clorita no Micaxisto (Figura A3), enquanto esmectita é constituinte principal do Verdinho e do Kamafugito. Além dos filossilicatos, no Micaxisto são identificados o quartzo como constituinte maior e a albita como constituinte menor, bem como minerais acessórios: apatita, granada, ilmenita. As rochas alcalinas são constituídas por distintas proporções de piroxênio, feldspato potássico e minerais opacos (identificados por DRX como hematita e maguemita) dispersos na matriz esmectítica, contendo ainda calcita em poros e fraturas.

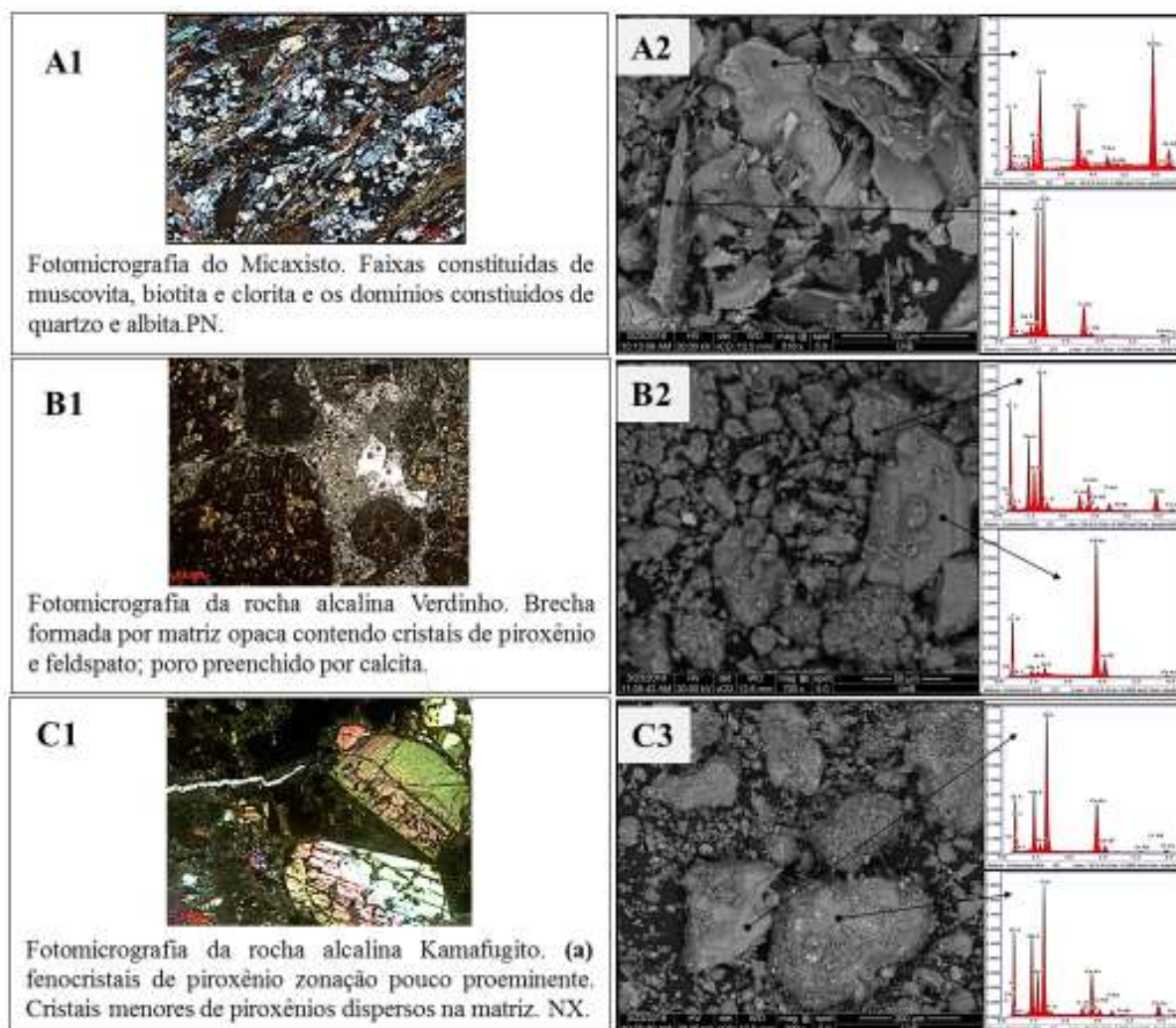


Figura 4: Fotomicrografias, imagens por MEV e composição química de partículas: rochas Micaxisto (A1 e A2); Verdinho (B1 e B2); Kamafugito (C1 e C2).

3.2 Atributos físico-químicos e composição geoquímica de solos e rochas.

Os atributos físicos-químicos dos solos *in natura* e das rochas determinados pelas análises agrônômicas convencionais são apresentados nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Textura do solo Bauru, Montividiu e Serra Geral e granulometria das rochas Verdinho e Kamafugito e Micaxisto.

Textura	Bauru	Montividiu	Serra Geral	Granulometria rochas	Verdinho	Kamafugito	Micaxisto
				>2,00 mm	1,43 %	0,46 %	14,41 %
Areia	80	47,5	27,5	<2,00 >0,84mm	46,57 %	43,53 %	4,17 %
Silte	2,5	2,5	2,5	<0,84 >0,30 mm	12,69 %	15,84 %	3,87 %
Argila	17,5	50	70	<0,30 mm	39,31 %	40,17 %	77,55 %

Tabela 5: Atributos químicos de solos e rochas remineralizadoras. ⁽¹⁾ V: Saturação por bases

	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Δ pH	PCZ	CTC	Ca	Mg	K	Na	V ⁽¹⁾	P (mehl)
	s/u			Cmol dm ⁻³					%	mg dm ⁻³	
Bauru	6,94	6,33	-0,61	5,72	5,83	3,29	1,11	0,11	0,001	77,36	8,71
Montividiu	5,62	4,78	-0,84	3,94	7,96	2,23	0,7	0,35	0,014	41,21	17,18
Serra Geral	5,71	5,14	-0,57	4,57	8,56	2,96	0,96	0,24	0,011	48,6	19,5
Micaxisto	8,9	7,4	-1,5	5,9	10,4	7,49	0,41	1,64	0,396	91,7	363,5
Verdinho	8,8	7,6	-1,2	6,4	43,3	36,95	4,85	0,46	0,686	97,6	68,4
Kamafugito	9,3	7,5	-1,8	5,7	35,9	26,04	6,4	2,55	0,777	97,5	464,5

A composição química dos solos *in natura* e das rochas, dada em porcentagem dos óxidos maiores, determinada por FRX, constam da tabela 6.

Tabela 6: Composição química dada em porcentagem de óxidos maiores dos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral e das rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LOI	Total
Bauru	78,33	4,29	0,22	5,69	0,14	0,25	0,01	1,57	0,04	0,04	3,62	94,22
Montividiu	49,52	21,52	0,11	7,92	0,08	0,22	0,10	2,04	0,10	0,01	15,56	97,17
Serra Geral	27,93	19,56	0,51	25,15	0,21	0,21	0,04	8,51	0,30	0,16	14,16	96,75
Micaxisto	56,62	15,87	4,49	9,30	1,80	2,25	3,60	0,95	0,19	0,07	1,80	96,94
Verdinho	32,55	7,650	11,85	13,18	16,06	0,19	2,57	3,79	0,81	0,22	11,10	99,97
Kamafugito	40,36	8,015	12,98	12,65	14,82	0,43	2,26	3,20	0,51	0,19	4,55	99,96

3.4 Características texturais e químicas da rizosfera da soja cultivada em solo *in natura* e com adição das rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito

Análises por MEV/EDS mostram a composição química de grãos, palhetas e partículas, em contato direto com a superfície das raízes (rizoplano), e aderidos aos agregados associados às raízes (rizosfera), em contato indireto. A rizosfera da soja desenvolvida nos solos *in natura*

e nas misturas com pós de rochas é formada por agregados de partículas associados a estruturas orgânicas, contendo elementos característicos dos solos: Si, Al, Fe, Ti, compatíveis com a composição mineral: quartzo, caulinita, gibbsita, anatásio, hematita ou goethita. Em rizosferas desenvolvidas nas misturas, minerais das rochas estão aderidos ao rizoplano e aos agregados, enquanto elementos provenientes destes minerais são identificados nas estruturas orgânicas. Assim, a contribuição do Micaxisto se manifesta como palhetas aderidas a raízes, tendo K, Ca, Mg, P.

3.3.1 Solo Bauru

A Figura 5 mostra a composição química de grãos e partículas no rizoplano ou rizosfera da cultura da soja. No solo Bauru *in natura* (Figura 5 A) predomina silício, alumínio, ferro e titânio, coerente com a composição mineral, quartzo, caulinita, gibbsita, anatásio, hematita ou goethita. A composição química da rizosfera do solo Bauru com adição de Micaxisto (Figura 5 B) mostra além de Si, Al, Fe e Ti os elementos K, Ca, Mg, P. Quando adicionada a rocha Verdinho ao rizoplano ficam aderidos grãos de quartzo e ainda minerais da rocha (Figuras 5 C). Observa-se estruturas cuja composição química pode apresentar Si, Al, Fe, Ti, Ca, Mg, K, P, Mn e Co. A Figura 5 D mostra nódulos de bactérias fixadoras de nitrogênio. Sobre a superfície do nódulo foram detectados grãos de quartzo e partículas constituídas de Si, Al, Fe, Mg, K, Ca, P e Ti. Na superfície da estrutura do nódulo denominada epiderme, sem a “cobertura mineral” a composição química mostra molibdênio e enxofre além daqueles presentes na superfície mineral.

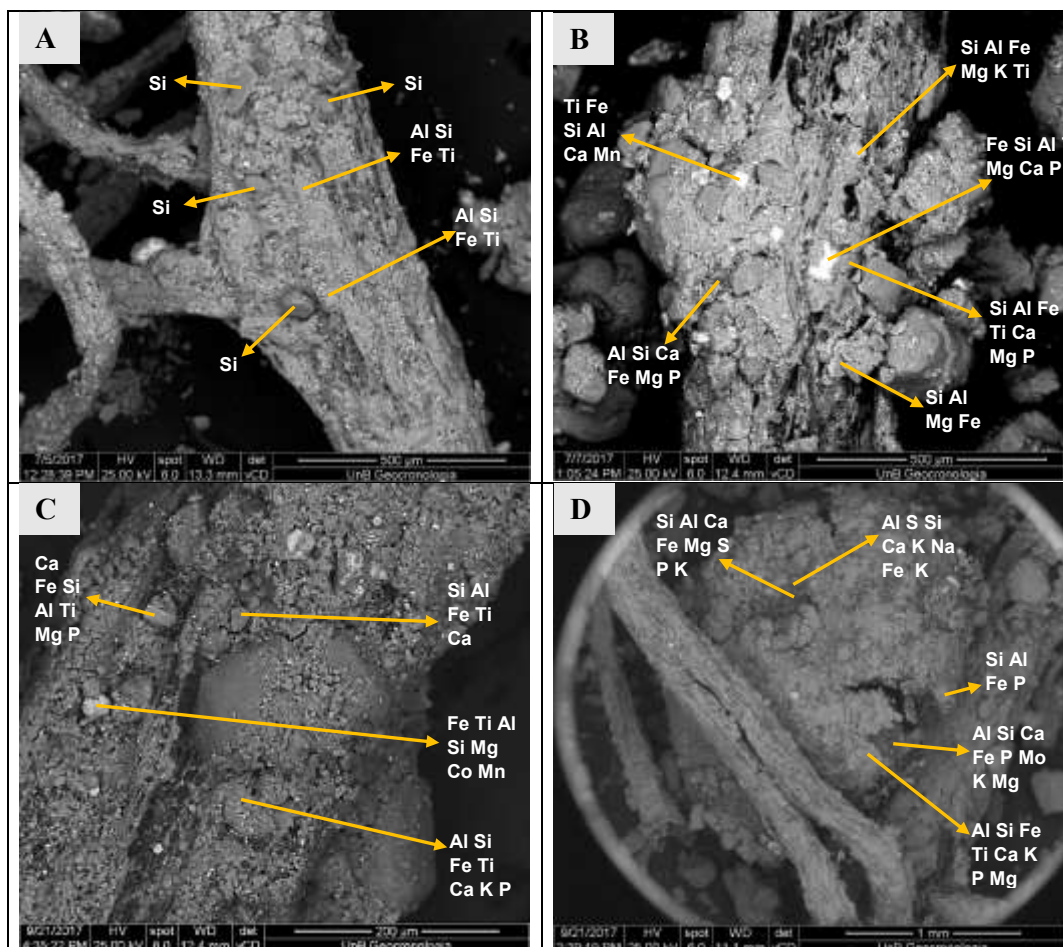


Figura 5: Rizosfera da soja cultivada em solo Bauru *in natura* (A). Solo Bauru com adição da rocha Micaxisto (B). Solo Bauru com adição da rocha Verdinho (C). Solo Bauru com adição da rocha Kamafugito (D).

3.3.2 Solo Montividiu

A Figura 6 mostra imagens micrométricas da rizosfera da soja em solo Montividiu *in natura* e com adição de rochas. No solo *in natura* a composição química da rizosfera mostra Si, Al, Fe, Ti conforme a composição mineral do solo quartzo, caulinita, gibbsita, goethita e anatásio. Com adição de Micaxisto, a imagem mostra micas, aderidas ao rizoplano, de composição química (Si, Al, Mg, Fe e K) além de albita (?) (Si, Al, Ca e Na). O elemento fósforo está presente em apenas um ponto analisado por EDS. Na rizosfera da soja cultivada em solo Montividiu com adição da rocha Verdinho, além dos elementos do solo, são constatados Ca, K, Mg e Mo. enquanto o elemento fósforo foi detectado na maioria dos pontos analisados por EDS. No solo tratado com Kamafugito na superfície das raízes encontram-se os elementos P, K, Ca, Mg, Mo, S, Na e Cl.

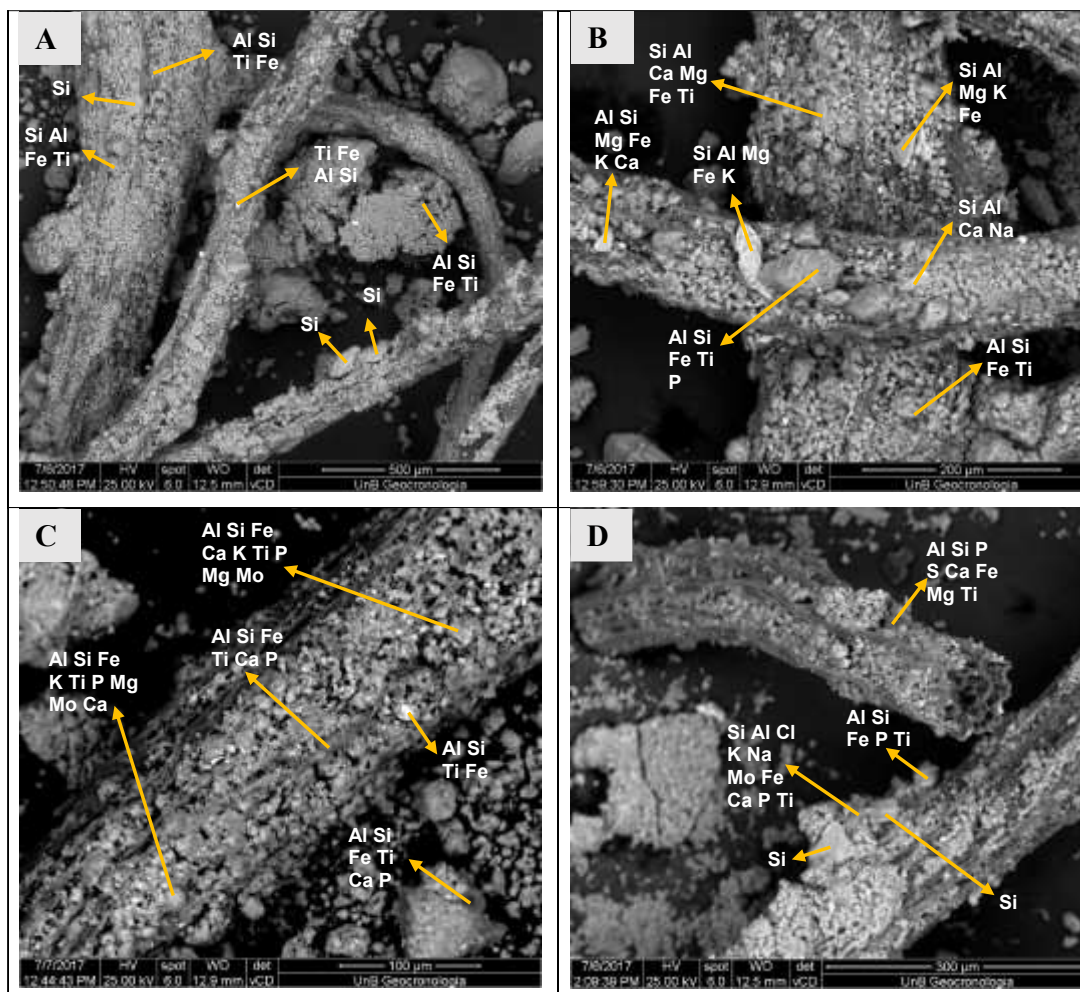


Figura 6: Rizosfera da cultura da soja cultivada em solo Montividiu *in natura* (A). Solo Bauru com adição da rocha Micaxisto (B). Solo Bauru com adição da rocha Verdinho (C). Solo Bauru com adição da rocha Kamafugito (D).

3.3.3 Solo Serra Geral

No solo Serra Geral a composição química no rizoplano mostra Si, Al, Fe e Ti de acordo com a composição dos grãos de quartzo e partículas formando agregados da rizosfera (Figura 7). Com adição de Micaxisto no rizoplano da soja partículas e (“mineral” (?)) de composição mineral Si, Al, Fe, Ti, Ca, Mg, K, P, S e Na. Na adição da rocha Verdinho é visto uma “muscovita(?)” com composição química Si, Al e K. Possivelmente esta composição deve-se a Si e Al no plano de clivagem ao longo da folha tetraédrica e K intercamada. As bordas do mineral, desagregadas, apresentam composição química Si, Al, Fe, K, Mg, Ca, P, Ti e Na, no rizoplano é detectado além destes elementos citados, o enxofre. Com adição de Kamafugito além dos elementos do próprio solo Serra Geral Si, Al, Fe e Ti foi detectado K, Ca e P nas partículas aderidas às raízes da soja.

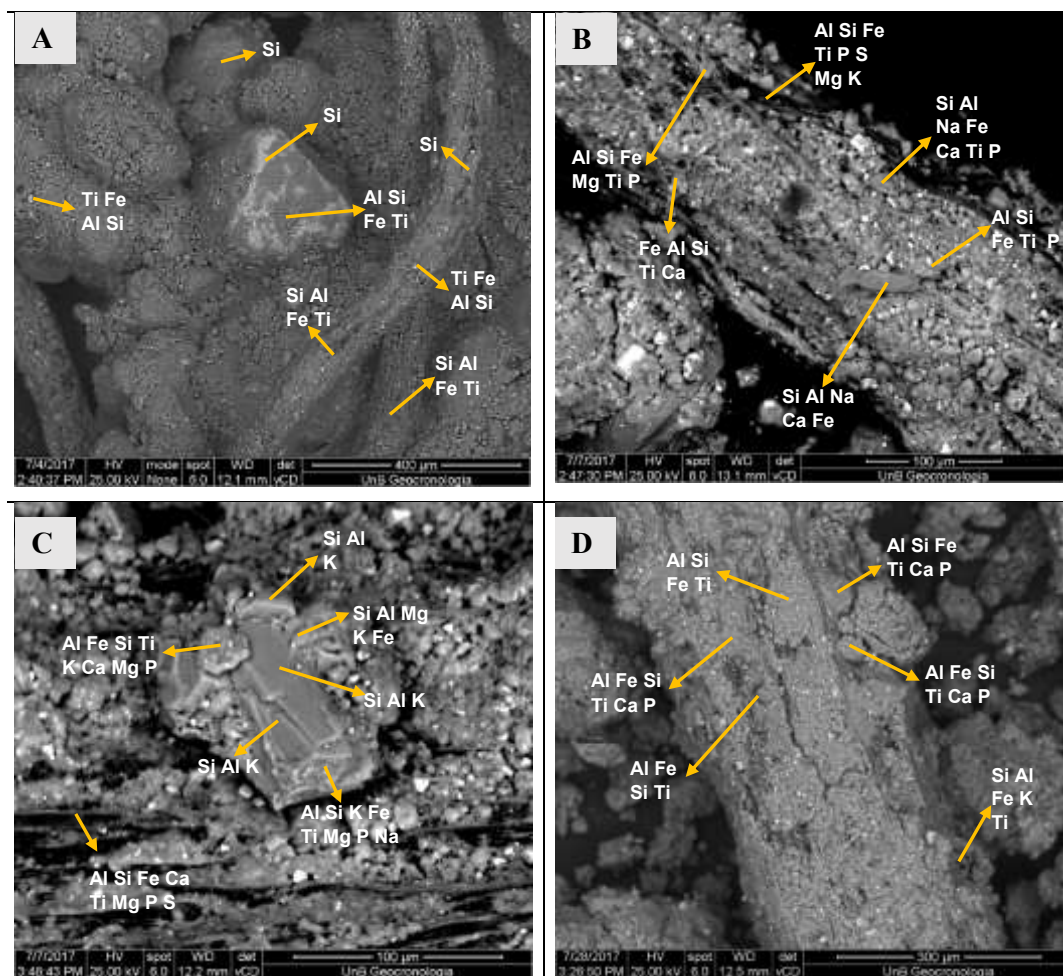


Figura 7: Rizosfera da cultura da soja cultivada em solo Serra Geral *in natura* (A). Solo Bauru com adição da rocha Micaxisto (B). Solo Bauru com adição da rocha Verdinho (C). Solo Bauru com adição da rocha Kamafugito (D).

Segundo Faquin (2005) para que o íon seja absorvido é necessário que ocorra o estabelecimento do contato íon/raiz. O encontro dos íons com a raiz pode envolver três processos diferentes (Figura 5) sendo: a) Difusão: Ocorre quando o restabelecimento de um determinado íon pelo solo é menor que a quantidade absorvida pelas raízes ocorre uma redução na sua concentração nas proximidades da superfície radicular estabelecendo-se um gradiente de concentração ao longo do qual o íon se move; b) Fluxo de massa: ocorre quando água absorvida pelas plantas flui ao longo de um gradiente de potencial hídrico, arrastando consigo os nutrientes dissolvidos no solução do solo para próximo da superfície radicular onde ficam disponíveis para a absorção; c) Interceptação radicular: Ocorre quando as raízes, ao crescerem

explorando o solo em todas as direções, entram em contato direto com os nutrientes a serem absorvidos.

A figura 8 mostra uma analogia entre o desenho esquemático da raiz (Taiz e Zeiger, 2010) e as figuras obtidas por MEV. Observa-se que, diferentemente dos adubos solúveis, os minerais constituintes das rochas, ficam aderidos ao rizoplane. O tamanho do sistema radicular é muito importante para a absorção de elementos que entram em contato com a raiz por difusão (fósforo e potássio) e interceptação (cálcio) (Peres, 2000).

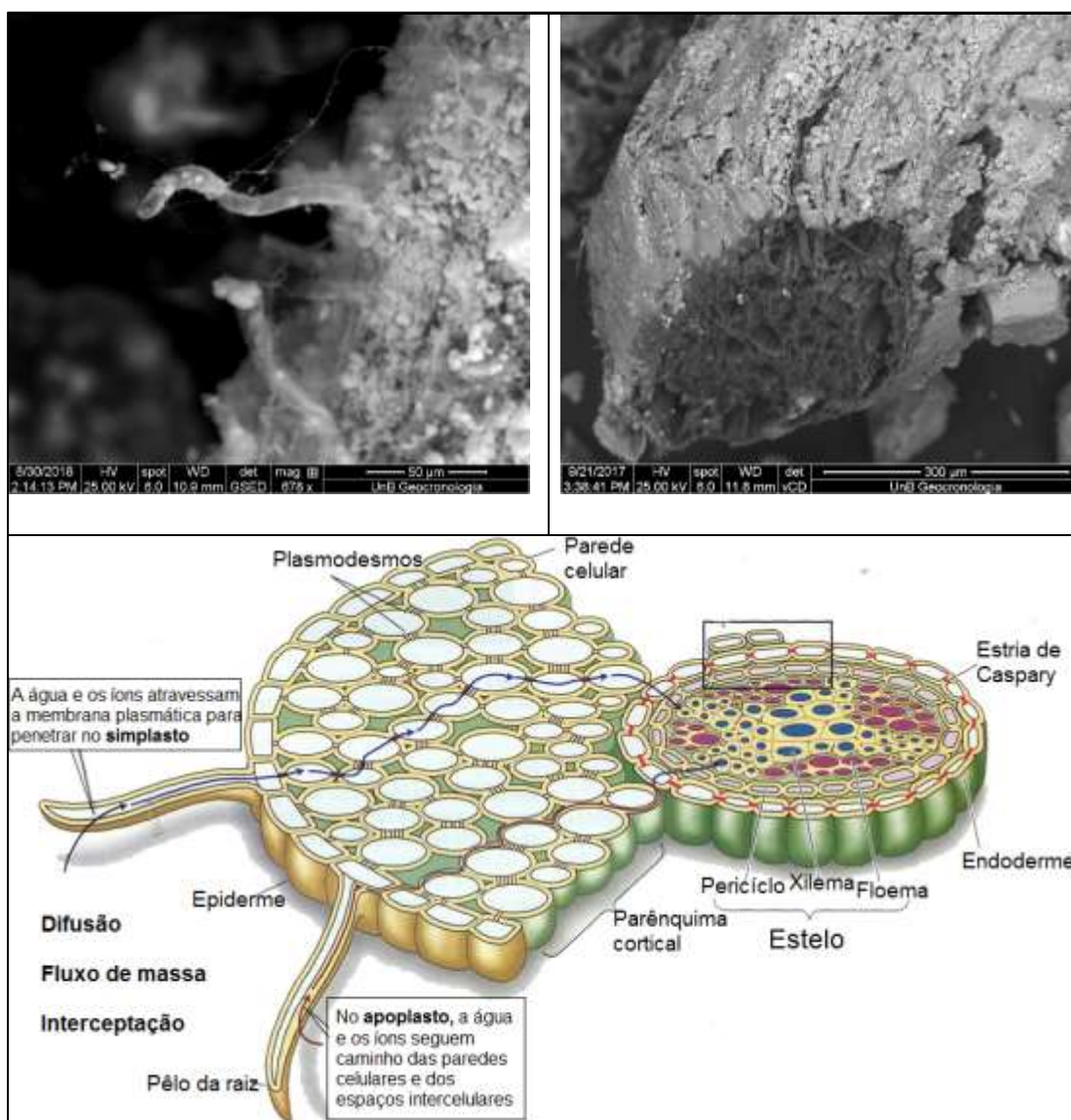


Figura 8: Vias de passagem de nutrientes - simplasto e apoplasto - e absorção de água pela raiz (Taiz e Zeiger, 2010). Os nutrientes chegam até a raiz por difusão, interceptação radicular e fluxo de massa. (Peres, 2000).

O movimento radial dos nutrientes nas raízes pode dar-se nos espaços intercelulares e poros das paredes celulares (apoplasto), ou no interior das células (simplasto). Embora as paredes celulares sejam porosas, permitindo a passagem dos íons, possuem cargas negativas que adsorvem cátions por atração eletrostática (Taiz e Zeiger, 2010). As plantas diferem consideravelmente na capacidade de troca de cátions (CTC_r) nas suas raízes: 10-30 meg/100 g de raiz seca no caso das monocotiledôneas e 20-90 no caso das dicotiledôneas (Foloni et al., 2006). Embora a CTC não seja um passo essencial na passagem dos íons através da membrana plasmática para o citoplasma, a mesma apresenta um efeito indireto que é o aumento da concentração de cátions no apoplasto. Como resultado, uma correlação positiva tem sido observada entre a CTC de raízes e a absorção de Ca e K em diferentes espécies de plantas (Foloni et al., 2006).

.....

Dentre as preocupações agrônômicas da dissolução de aluminossilicatos destaca-se a liberação de alumínio na solução do solo. Neste caso, é necessário conhecimento básico sobre dois parâmetros técnicos específicos, sendo: i. composição mineraloquímica da rocha e, ii. mecanismos de equilíbrio na relação planta-solo. Caso o teor de alumínio atinja limites intoleráveis pela planta, a presença de Ca e Mg de minerais presentes na rocha, são liberados próximo a raiz reduzindo a toxidez (Kinraide, 1997). Processos reversíveis são ativados pela planta aumentando a produção de ácidos orgânicos (Delhaize e Ryan, 1995). Além disso, fungos micorrízicos são hábeis inativadores de Al^{3+} pela formação de biofilmes (Van Breemen et al., 2000). Considerando a importância deste elemento no manejo integrado de doenças faz-se necessário entender que a presença do alumínio (em concentrações não tóxicas) na solução do solo, e sua absorção pelas plantas, induz mecanismos de defesa à fungos patogênicos do solo. A estratégia de defesa é a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) em forma de superóxido ($O_2^{\bullet-}$) e peróxido (H_2O_2) pelas raízes impedindo a infecção de fungos como *Fusarium*, *Sclerotinia*, *Alternária* e *Pythium* (Yang et al., 2007; Torres, 2010; Satapathy et al., 2012).

Referências

- Alleoni, L. R. F., Cambri, M. A., & Caires, E. F. (2005). Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(6), 923-934.
- Bizão, A.A.; Hack, E.; Batista, N.T.F.; Górgen, C.A.; Ragagnin, V.A.; Martins, E.S.; Moraes, L.F.; Marques, A.L.G.; Carvalho, R.S.; Assis, L.B. 2013. Avaliação econômica do uso da rochagem em lavoura comercial no Sudoeste Goiano. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, II, 2013, Poços de Caldas, MG, Anais..., p. 57-58.

- Bizão, A. A. 2014. Agrominerais silicatados como fornecedores de potássio e outros nutrientes para soja e milho em latossolo Vermelho-Amarelo. 61f. Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgecursos/uploads/anexos_5/2018-01-04-11-54-47Antonio%20Alexandre%20Biz%C3%A3o.pdf (accessed 14 September 2018).
- Brait, M. A. H. 2008. Interação silício e fósforo na adsorção desses elementos em diferentes solos de cerrado. Universidade Federal de Goiás, Jataí, Goiás, v. 99. Disponível em: <https://posagronomia.jatai.ufg.br/up/217/o/Marny.pdf> (accessed 05 September 2018).
- Broeckling, C. D., Broz, A. K., Bergelson, J., Manter, D. K., & Vivanco, J. M. (2008). Root exudates regulate soil fungal community composition and diversity. *Applied and environmental microbiology*, 74(3), 738-744.
- Carneiro, R. G., de Carvalho Mendes, I., Lovato, P. E., Carvalho, A. M., & Vivaldi, L. J. (2004). Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(7), 661-669.
- Carvalho, M. A. C. D., Athayde, M. L. F., Soratto, R. P., Alves, M. C., & Arf, O. (2004). Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1141-1148.
- Dedavid, B. A., Gomes, C. I., & Machado, G. (2007). Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. EdIPUCRS.
- Delhaize, E., & Ryan, P. R. (1995). Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant physiology*, 107(2), 315.
- Donagema, G. K., De Campos, D. B., Calderano, S. B., Teixeira, W. G., Viana, J. M. 2011. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E). <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/990374/1/ManualdeMtdosdeAnilisedeSolo.pdf> (accessed 04 August 2018).
- Foloni, J. S. S., Lima, S. L. D., & Büll, L. T. (2006). Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 49-57.
- Faquin, V. (2005). Nutrição mineral de plantas. Disponível em: http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf. Acesso em 17 de outubro de 2018.
- Görgen, C. A., da Silveira Neto, A. N., Carneiro, L. C., Ragagnin, V., & Junior, M. L. (2010). Controle do mofo-branco com palhada e *Trichoderma harzianum* 1306 em soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(12), 1583-1590.
- Görgen, C. A., Civardi, E. A., Ragagnin, V. A., da Silveira Neto, A. N., Carneiro, L. C., & Junior, M. L. (2011). Redução do inóculo inicial de *Sclerotinia sclerotiorum* em soja cultivada após uso do sistema Santa Fé. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(10), 1102-1108.(a)
- Görgen, C. A.; Bizão, A. A.; Ragagnin, V. A.; Martins, E. S.; Batista, N. T. F.; Silva, F. S.; Hack, E. 2011. Arranjo Produtivo Local de base mineral no Sudoeste Goiano: uso de rochas regionais na agricultura. In: Francisco Rego Chaves Fernandes; Maria Amélia Rodrigues da Silva Enríquez; Renata de Carvalho Jimenez Alamino. (Org.). Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, v. 2, p. 45-68.(b)
- Görgen, C. A.; Martins, E. S.; Morais, L. F.; Marques, A. L. G.; Ragagnin, V. A.; Bizão, A. A.; Carvalho, R. S.; Hack, E.; Batista, N. T. F.; Assis, L. B. Desenvolvimento e Divulgação da Tecnologia de Utilização de Rejeitos de Mineração de Brita como Fonte de Nutrientes em Lavoura Comercial de Soja e Milho no Sudoeste Goiano. In: PRÊMIO MELHORES PRÁTICAS-REDE APL MINERAL, 2012. Salvador. BA. Apresentação de posters.
- Hack, E.; Görgen, C. A.; Martins, E. S.; Bizão, A. A.; Marques, A. L. G.; Ragagnin, V. A.; Carvalho, R. S.; Batista, N. T. F.; Morais, L. F.; Lima, B. C.; Assis, L. B. Produção de banana orgânica a partir de rejeitos de mineração de brita como fontes de nutrientes minerais e fertiprotetores. In: PRÊMIO MELHORES PRÁTICAS-REDE APL MINERAL, 2012. Salvador. BA. Apresentação de posters.
- Houlden, A., Timms-Wilson, T.M., Day, M.J., and Bailey, M.J. 2008. Influence of plant developmental stage on microbial community structure and activity in the rhizosphere of three field crops. *FEMS Microbiol. Ecol.* 65(2): 193–201.

- Huang, X. F., Chaparro, J. M., Reardon, K. F., Zhang, R., Shen, Q., & Vivanco, J. M. 2014. Rhizosphere interactions: root exudates, microbes, and microbial communities 1. *Botany*, 92(4), 267-275.
- Junqueira-Brod, T. C., Roig, H. L., Gaspar, J. C., Brod, J. A., & Meneses, P. R. (2008). A Província Alcalina de Goiás e a extensão do seu vulcanismo kamafugítico. *Brazilian Journal of Geology*, 32(4), 559-566.
- Kinraide, T. B. (1991). Identity of the rhizotoxic aluminium species. In *Plant-soil interactions at low pH* (pp. 717-728). Springer, Dordrecht.
- Kluthcouski, J., Fancelli, A. L., Dourado-Neto, D., Ribeiro, C. M., & Ferraro, L. A. (2000). Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. *Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Leonardos, O. H., Theodoro, S. H., & Assad, M. L. 2000. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 56, 3-9. <https://doi.org/10.1023/A:1009855409700>
- Mariano, Z. de F. 2005. A Importância da variável climática na produtividade da soja no Sudoeste de Goiás. 251 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2005. https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/104376/mariano_zf_dr_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed 08 August 2018)
- Mesquita, M. D. G. B. D., Moraes, S. O. 2004. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Cienc. Rural*. Disponível em <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33134352> (accessed 06 August 2018).
- Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. Editora UFLA, Lavras-MG, 2 ed., 2006.
- Nettles, R., Watkins, J., Ricks, K., Boyer, M., Licht, M., Atwood, L. W., ... & Koide, R. T. (2016). Influence of pesticide seed treatments on rhizosphere fungal and bacterial communities and leaf fungal endophyte communities in maize and soybean. *Applied Soil Ecology*, 102, 61-69.
- Peres, L. E. P., Kerbauy, G. B. (2000). Controle hormonal do desenvolvimento das raízes. *Revista Universa*, 8(1).
- Satapathy, P., Achary, V. M. M., & Panda, B. B. (2012). Aluminum-induced abiotic stress counteracts Fusarium infection in *Cajanus cajan* (L.) Millsp. *Journal of plant interactions*, 7(2), 121-128.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* 5th Ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Torres, M. A. (2010). ROS in biotic interactions. *Physiologia Plantarum*, 138(4), 414-429.
- van Breemen, N., Lundström, U. S., & Jongmans, A. G. (2000). Do plants drive podzolization via rock-eating mycorrhizal fungi?. *Geoderma*, 94(2-4), 163-171.
- Van Straaten, P. 2006. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *An. Acad. Bras. Cienc.* 78, 731-747. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652006000400009>
- Walker, T. S., Bais, H. P., Grotewold, E., Vivanco, J. M. (2003). Root exudation and rhizosphere biology. *Plant physiology*, 132(1), 44-51.

CAPÍTULO 5

5.1 Resumo expandido – Geoquímica de um Latossolo Vermelho cultivado sob efeito da aplicação de Micaxisto, Jataí - Goiás. Congresso Brasileiro de Geoquímica – Brasília-Distrito Federal, 2015.



Geoquímica de um Latossolo Vermelho cultivado sob efeito da aplicação de Micaxisto, Jataí - Goiás.

Claudia A. GÖRGEN¹, Edi M. GUIMARÃES², Adriana M. C. HORBE², Jeremie GARNIER², Murillo LOBO JUNIOR³, Eder de S. MARTINS⁴, Andrea L. GÖRGEN⁵, Antonio A. BIZÃO⁵, Nayra T. F. BATISTA⁵, Eduardo HACK⁵, Ederson A. CIVARDI⁶.

1- Doutoranda no Programa de Pós Graduação em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências Universidade de Brasília gorgenclaudia@gmail.com; 2- Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. rxedi@unb.br; ahorbe@unb.br; garnier.geol@gmail.com 3- Embrapa Arroz e Feijão. murillo.lopez@embrapa.br. 3- Embrapa Cerrados. eder.martins@embrapa.br. 4- Sociedade Ecológica de Jataí. andrealuizagorgen@gmail.com; aabizao@gmail.com; agrodudas@hotmail.com; nayrathais88@gmail.com. 6- Programa de Pós Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Goiás- Campus Jataí. civardi.eac@gmail.com.

Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar modificações geoquímicas do horizonte A de um Latossolo Vermelho três meses após a aplicação de micaxisto com cultivo de soja. Produtos da moagem de brita do micaxisto da mesma origem mas com diferente granulometria foram aplicados na lavoura na dose de 5 ton ha⁻¹ em setembro de 2010. A semeadura de soja ocorreu em outubro com faixas adubadas (N-P-K) e sem adubação. Análises de solo coletados em dezembro de 2010 demonstraram modificações no pH, CTC (pH 7 e efetiva), saturação por bases e matéria orgânica em função da granulometria do pó de micaxisto quando aplicado isoladamente, bem como, na interação com a adubação.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, pó de micaxisto, adubação (NPK).

Abstract

The objective of this paper is to present geochemical modifications of the horizon of an Oxisol three months after the application of mica schist with soy cultivation. Gravel grinding products of mica schist from the same source but with different grain size were applied in farming at a dose of 5 ton ha⁻¹ in September 2010. The soybean seeding occurred in October with tracks fertilized (NPK) and without fertilization. Soil analysis collected in December 2010 showed changes in pH, CEC (pH 7 and effective), base saturation and organic matter as a function of particle size of the mica powder when applied alone and in interaction with fertilization.

Keywords: Soil fertility, mica powder, fertilizer (NPK).

1. INTRODUÇÃO

Conhecimentos agrogeológicos possibilitam intervenções adequadas nos parâmetros de fertilidade dos solos (Raij, 1969). Para isso, descrições pedológicas considerando a rocha mãe, o tempo, o clima, relevo e organismos vivos, bem como, os minerais constituintes são fundamentais (Hilgard, 1860 *in* Amundson, 2003; Kellogg, 1974). A taxa de liberação de nutrientes para as plantas, o (des)equilíbrio da solução do solo, a eficácia agronômica da aplicação de corretivos, fertilizantes e remineralizadores envolvem processos geoquímicos na liberação de nutrientes, a uma velocidade adequada, para expressão do potencial genético da cultura (Harley e Gilkes, 2000; Brasil, 2013; Takaya et al, 2014).

O objetivo deste trabalho é apresentar parâmetros geoquímicos no horizonte A de um Latossolo Vermelho 3 meses após a aplicação de micaxisto e com cultivo da soja.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A lavoura está localizada no município de Jataí (GO), no Sudoeste Goiano, nas coordenadas -17°52'35" e -51°36'50". O solo deriva do contato entre a Formação Serra Geral, pertencente ao Grupo São Bento e Formação Adamantina, do Grupo Bauru. O clima (Awa) mega-mesotérmico: tropical úmido de savana com verão chuvoso e inverno seco. A vegetação natural apresentava Cerrado ecótono.

2.1.1 Caracterização do solo

Anterior a aplicação dos tratamentos foi classificado como Latossolo Vermelho Franco Argiloso apresentando os horizontes A: 0-20 cm; AB: 20-50 cm; BA: 50-80 cm e BW: 80-180 cm. No horizontes A os constituintes minerais são quartzo, caulinita, gibbsita, hematita, goethita, anatásio e maghemita. Os índices k_i ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) é 0,87 e k_r ($\text{SiO}_2/[\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3]$) de 0,54. O pH (CaCl_2) de 5,68. O teor de Al trocável ficou abaixo do limite de detecção e H^+ de 23 ppm. A matéria orgânica de 2,53% e apresenta correlação de 93% com a CTC. Na saturação de bases 65% das cargas negativas são ocupadas por Ca, Mg, K em comparação aquelas ocupados por H e Al.

2.1.1 Caracterização da rocha

A rocha micaxisto está localizada em Aparecida de Goiânia (GO), Microrregião de Goiânia na porção Centro-Sul de Goiás, nas coordenadas -16°04'35" e -49°12'28". Geologicamente representa o Grupo Araxá Unidade B inserida na zona interna da Faixa Brasília pertencente à Província Tocantins (Almeida et al., 1977).

A rocha é um micaxisto de granulação fina a média, tonalidade cinza claro. A homogeneidade da foliação é interrompida por veios e/ou segregações de quartzo, que se mostram dobrados e/ou rompidos. Esta rocha é constituída por quartzo, plagioclásio (albita), filossilicatos (muscovita, biotita e clorita), granada e minerais acessórios (epídoto, turmalina, ilmenita e magnetita, calcopirita, pirita e pirrotita). O pH de abrasão da rocha de 9,28

Na Pedreira Araguaia são produzidos dois produtos aplicáveis ao uso agrícola: 1) o pó de micaxisto que apresenta ampla distribuição granulométrica, sendo que a fração inferior a 0,3 mm corresponde a 25% do total em massa; 2) finos de micaxisto recuperados das bacias de decantação da água da lavagem da produção da areia lavada, contendo 80% do total em massa na fração menor que 0,3 mm. Estes produtos tem composição química similar (Tab.1). Tabela 1 – Composição química do Finos de micaxisto e Pó de micaxisto e % em peso.

Óxidos (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	PF	Total
FMX	57,75	17,14	8,97	3,21	2,28	4,76	1,81	0,06	0,21	0,88	0,024	2,5	99,59
PMX	62,31	16,11	7,51	2,46	2,71	3,45	2,01	0,13	0,19	0,89	0,018	2,0	99,79

2.2 Implantação do ensaio e execução do ensaio

Os tratamentos foram: 1) Testemunha branca (sem adubação e sem rocha); 2) Adubação padrão (260 kg ha⁻¹ de NPK (00-32-00) na semeadura da soja e 140 kg ha⁻¹ de KCl) em cobertura; 3) Pó de micaxisto (sem adubação); 4) Pó de micaxisto + adubação; 5) Finos de micaxisto (sem adubação); 6) Finos de micaxisto + adubação. Em setembro de 2010, foram adicionadas ao solo 5 t ha⁻¹ de finos de micaxisto e pó de micaxisto em faixas de 22 × 398 m, em superfície. Em outubro foi realizada a semeadura da soja (*Glycine max*) “Anta 82” com adubação. Este procedimento foi realizado com três repetições. Noventa dias após a aplicação dos tratamentos, amostras de solo (0-20 cm) foram coletadas coincidindo com o pleno florescimento da soja (R2). Nessas amostras foram analisadas pH, H, Al, CTC, matéria orgânica e saturação por bases (Embrapa, 1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Há correlação inversamente proporcional do pH com H⁺ (acidez ativa) em todos os tratamentos (Figura 1). Há correlação entre a CTC e a matéria orgânica exceto para o tratamento Finos de micaxisto + adubação. A adição da adubação padrão reduziu o pH, a CTC (pH 7 e efetiva), a matéria orgânica e a saturação de bases quando comparada a Testemunha Branca. O teor de Al trocável permaneceu abaixo do limite de detecção.

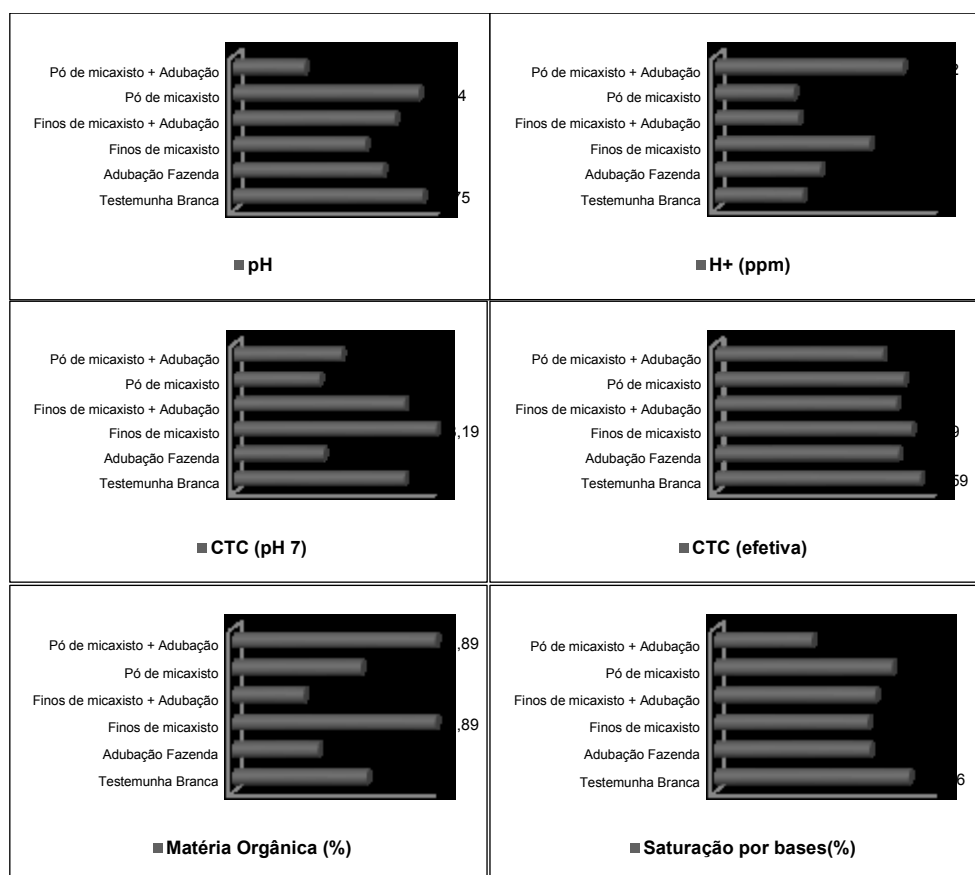


Figura 1 – Valores médios do pH, H⁺, CTC (pH 7), CTC efetiva, matéria orgânica e saturação de bases em função dos tratamentos.

Apesar da idêntica característica geoquímica e mineralógica do Finos de micaxisto e do Pó de micaxisto, quando aplicados isoladamente, o Pó de micaxisto resultou no aumento de pH e saturação por bases, mas reduziu a CTC e a matéria orgânica, este fato que deve estar relacionado a granulometria.

Quando comparados as parcelas com adição de pó e finos de micaxisto sem adubação com relação a Testemunha branca, o solo com Finos de micaxisto apresentou menor pH, CTC (efetiva) e saturação por bases, maior CTC (pH 7) e matéria orgânica. Já as parcelas com Pó de micaxisto foram semelhantes a Testemunha branca no pH e matéria orgânica e inferiores na CTC e saturação por bases. Porém, o teor de matéria orgânica foi semelhante em ambas. A Adubação padrão quando associada ao Pó de micaxisto diminuiu o pH, a saturação de bases e a CTC efetiva, porém aumentou a matéria orgânica e a CTC (pH 7). Quando associada ao Finos de micaxisto, a Adubação padrão aumenta o pH e a saturação por bases e reduz a matéria orgânica e a CTC (pH 7 e efetiva). Corroborando com Lápido-Loureiro *et al.* (2009) esses dados preliminares indicam que a adubação padrão (NPK) interferiu negativamente nos parâmetros da fertilidade deste solo. A granulometria do micaxisto modifica o comportamento geoquímico tanto quando aplicado sozinho quanto associado à

adubação. Contrariando dados anteriores o micaxisto modifica a CTC do solo em 90 dias (Resende *et al*, 2010).

5. Referências

- Amundson, R. 2003. Soil formation. Treatise on geochemistry, 5, 1-35.
- Almeida F.F.M.de, Hasui Y., Brito N. B.B.de, Fuck R.A. 1977. As províncias estruturais brasileiras. In: SBG, Simp. Geol. NE, 8, Campina Grande, . Atas..., Campina Grande, p. 363-391.
- BRASIL - Lei nº 12.890, de 10 de Dezembro de 2013. Inclui os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado a agricultura. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília-DF, 11 de Dezembro de 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro. 353p.
- Gomes, H. 2008. Cerrado: extinção ou patrimônio nacional. GOMES, H. Universo do Cerrado, 1.
- Harley, A. D.; Gilkes, R. J. 2000 Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 56, n. 1, p. 11-36.
- Kellogg, Charles E. Soil genesis, classification, and cartography: 1924–1974. Geoderma, v. 12, n. 4, p. 347-362.
- LAPIDO LOUREIRO, F.E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (eds.) (2009). Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/PETROBRAS, 656 p.
- Raij, Bernardo van. 1969. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. Bragantia, v. 28, n. unico, p. 85-112.
- Resende, Á. V. D., Machado, C. T. T., Martins, É. D. S., Sena, M. C. D., Nascimento, M. T. D., Silva, L. D. C. R., & Linhares, N. W. 2010. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. *Revista Espaço e Geografia*.
- Takaya, Yasuhiko; Hatta, Tamao; Matsukura, Yukinori. 2014. Differential roles of plagioclase and biotite in the early stage weathering of granite: a solid-sided approach combining laboratory experiment and surface analysis. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 58, n. 2, p. 233-249.

5.2 Resumo expandido - Modificações químicas em solo arenoso remineralizado com rochas alcalinas cultivado com soja. Congresso Brasileiro de Geoquímica – Búzios – Rio de Janeiro, 2017.



MODIFICAÇÕES QUÍMICAS EM SOLO ARENOSO REMINERALIZADO COM ROCHAS ALCALINAS CULTIVADO COM SOJA

Claudia A. Górgen¹ (D), Edi M. Guimarães¹, Murillo L. Junior²

¹-Universidade de Brasília - UnB, Brasília – DF, gorgenclaudia@gmail.com

²- Embrapa Arroz e Feijão - CNPAF, Santo Antônio de Goiás - GO.

Resumo: O efeito da adição de pó de rocha nos parâmetros químicos dos solos difere em função do tipo de solo, da cultura e do sistema de cultivo, considerando a mesma condição climática. Este trabalho foi realizado para identificar as modificações químicas ocasionadas no solo arenoso cultivado com soja (*Glycine max* (L) Merrill)

com adição de pó de rochas alcalinas. Plantas de soja linhagem BRAS09-0035 foram cultivadas em vasos sob condições controladas durante 41 dias em solo *in natura* e tratado com pó das rochas Verdinho e Kamafugito nas doses crescentes (2,5, 5 e 7,5 toneladas por hectare). Análises químicas do solo no pleno florescimento da soja indicaram modificações do pH CaCl₂, capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%), Ca, Mg e K. Estas variações podem ser atribuídas à composição mineral dos remineralizadores e suas interações com água e a rizosfera.

Palavras-chave: *Ambiente rizosférico; Remineralização; Rochas alcalinas; Grupo Bauru; Fertilidade do solo.*

CHEMICAL MODIFICATIONS IN SAND SOIL REMINERALIZED WITH CARBONATYTIC ROCKS CULTIVATED WITH SOYBEAN

Abstract: Chemical modifications (pH, CTC, V%, Ca, Mg and K) were identified in sandy soil cultivated with soybean by the addition of alkaline rocks, with different mineral composition, in increasing doses.

Keywords: *Rhizospheric environment; Remineralization; Alkaline rocks; Group Bauru, Soil Fertility.*

Introdução

A técnica de remineralização do solo consiste na adição de materiais de origem mineral que tenham sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que alterem os índices de fertilidade do solo. Alterações nos índices da fertilidade ocorrem então por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, pela promoção da melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo (Brasil, 2014).

Melhorias das propriedades químicas dos solos pela adição de rochas e minerais foram comprovadas em diversos estudos (Leonardos et al. 2000; Van Straaten 2006; Martins e Theodoro 2010). No entanto, avaliações técnicas indicam que diferentes rochas e suas associações minerais apresentam reações químicas distintas quando aplicadas no mesmo tipo de solo sob efeito biológico da mesma cultura e sistema de cultivo (Theodoro et al. 2013; Carvalho 2013; da Silva Souza 2014). Segundo Bizão et al. 2013, além da validação técnica, a lucratividade da tecnologia é condicionada por aspectos regionais, particularmente do custo do frete, sendo mais adequada a utilização de rochas localizadas próximas a atividade agrícola.

A região Sudoeste de Goiás apresenta aspecto agrogeológico diferenciado. Aliado a atividade agrícola consolidada, importante vetor econômico do estado (Görgen et al. 2011), existe um dos maiores complexos de rochas ultrapostássicas do mundo denominado Província Alcalina de Goiás (Brodd et al. 2005). Desta forma, a proposta deste trabalho foi verificar o efeito da adição das rochas alcalinas Verdinho e Kamafugito nas modificações químicas de um solo arenoso cultivado com soja.

Experimental

Para este trabalho foram selecionadas e coletadas amostras de solo e de rochas do Sudoeste Goiano, para utilização em experimento desenvolvido em casa de vegetação na Estação Experimental da Universidade de Brasília.

O solo utilizado neste estudo correspondente à camada superficial (0-20 cm) do Latossolo Vermelho originado a partir da rocha sedimentar arenosa do Grupo Bauru, coletado no município de Rio Verde–Goiás a 735 metros de altitude nas coordenadas -17.879258 S e -51.055072 W.

A composição mineral da amostra de solo definida por difração de raios-X (DRX) indicou quartzo como constituinte maior, seguido de gibbsita e hematita como constituintes menores, e a caulinita como elemento traço. Na fração argila, quartzo não aparece e os constituintes maiores são gibbsita, caulinita e hematita. Anatásio é o constituinte menor.

As rochas alcalinas utilizadas como tratamentos correspondem a uma brecha vulcânica e um Kamafugito, denominadas respectivamente “Verdinho” e “Kamafugito”. Amostras de Kamafugito foram coletadas no município de Santo Antônio da Barra a 552 metros de altitude

nas coordenadas -17.470522 S e -50.650661 W. Resultados de DRX e petrografia indicaram augita, ortoclásio, hematita, vermiculita, mica e esmectita (nontronita).

As amostras de Verdinho foram coletadas no município de Caiapônia nas coordenadas -17.021792 S e -51.120058 W, a 565 metros de altitude. Constituição mineral deste material obtida por DRX e petrografia indica calcita, esmectita/vermiculita e piroxênio (augita) quartzo, hematita, maguemita, mica e faialita. O solo e ambas as rochas alcalinas foram caracterizadas pelo método de extração com padrão de análise de solo (Tabela 1), sendo a textura do solo e a granulometria das rochas indicadas na Tabela 2.

Tabela 1: Caracterização química do solo e das rochas alcalinas utilizadas neste estudo.

	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	CTC	Ca	Mg	K	V
				cmolc dm ⁻³			%
Solo Bauru	6,94	6,33	4,51	3,29	1,11	0,11	77,4
Rocha Verdinho	8,8	7,6	43,3	36,9	4,8	0,46	97,6
Rocha Kamafugito	9,3	7,5	35,9	26,0	6,4	2,55	97,5

Tabela 2: Textura do solo Bauru e granulometria das rochas Verdinho e Kamafugito

Textura Solo Bauru	%	Granulometria rochas	Verdinho	Kamafugito
		>2,00 mm	1,43 %	0,46 %
Areia	80	<2,00 >0,84mm	46,57 %	43,53 %
Silte	2,5	<0,84 >0,30 mm	12,69 %	15,84 %
Argila	17,5	<0,30 mm	39,31 %	40,17 %

Implantação e condução do ensaio

O ensaio foi implantado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os tratamentos compreenderam o cultivo da soja no solo Bauru *in natura* e com adição de rochas. As rochas Verdinho e Kamafugito foram adicionadas individualmente ao solo nas doses equivalentes a 2,5, 5,0 e 7,5 toneladas por hectare. Após a homogeneização, as misturas foram acondicionadas em vasos com capacidade de 4 kg, em 22/01/2016, para semeadura da soja linhagem BRAS09-0035 em 29/01/16. O cultivo ocorreu em ambiente protegido com temperatura em torno de 25°C e umidade de aproximadamente 50%. Amostras de solo associado à rizosfera foram coletadas no estágio de pleno florescimento – R2 (41 dias após a semeadura). Foi considerado solo associado à rizosfera aquela porção de solo distante no máximo 2 cm das raízes secundárias e terciárias. Análises químicas das amostras do solo foram realizadas no Laboratório de solos Laborfort – Cambira – PR com determinação do pH CaCl₂, capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%), Ca, Mg e K. Os resultados foram submetidos à análise de regressão e correlação ($p < 0,05$) com auxílio do software Statistica 10.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos (Fig.1) indicam que as modificações nos parâmetros químicos (pH (CaCl₂), CTC e V%) e no teor dos elementos trocáveis (Ca, Mg e K) ocorrem em função da rocha adicionada e suas doses.

De forma geral a rocha Verdinho influenciou positivamente todos os parâmetros avaliados com exceção do Mg cuja correlação foi negativa. Já a rocha Kamafugito apresentou influência positiva no V% e K, mas negativa para pH, não influenciando a CTC nem os teores de Cálcio e Magnésio.

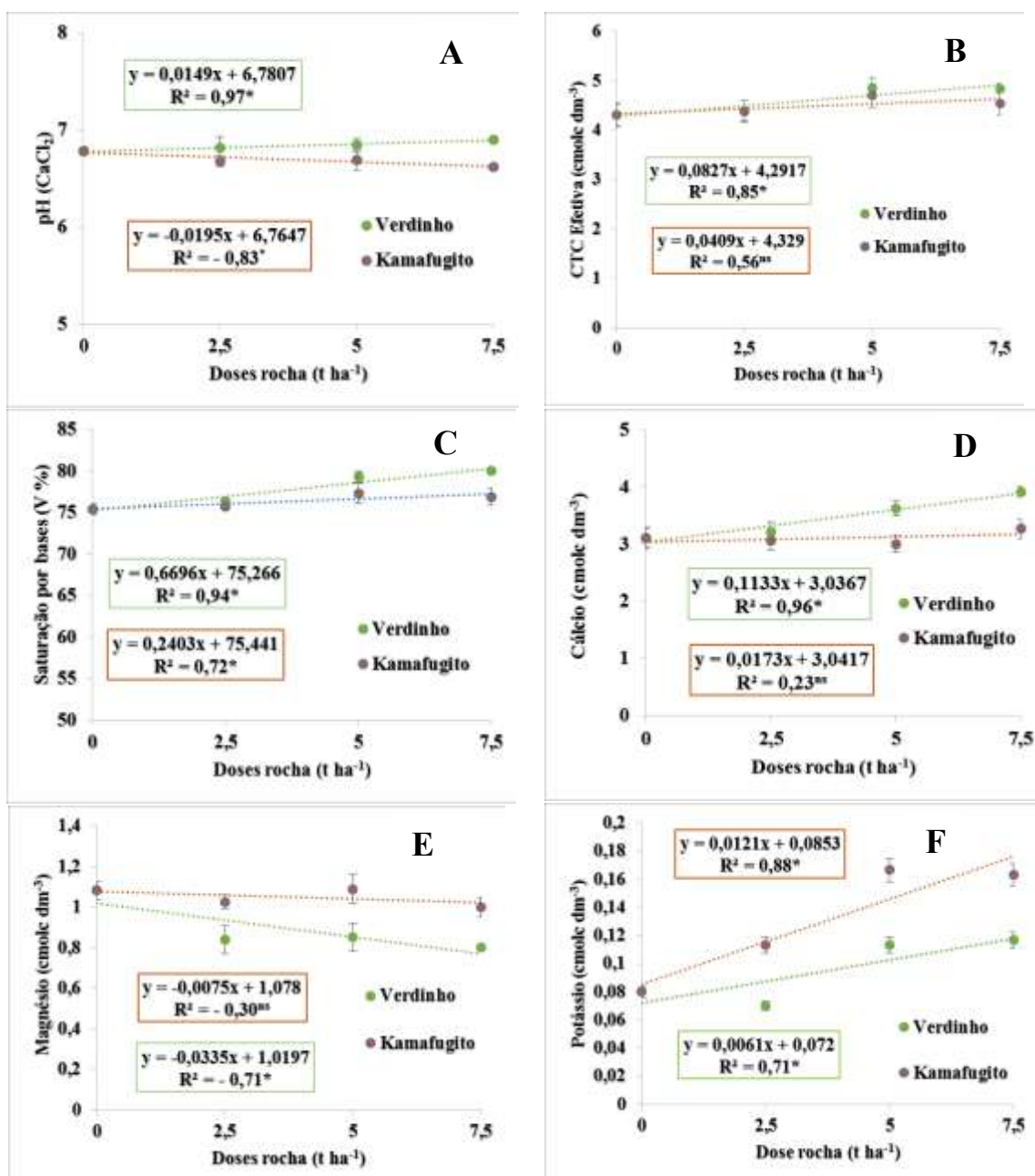


Figura 1: Gráficos de regressão para parâmetros químicos de solo arenoso remineralizado com rochas alcalinas (Verdinho e Kamafugito) nas doses de 0, 2,5, 5 e 7,5 toneladas por hectare, 41 dias após semeadura de soja. (A) pH (CaCl₂). (B) CTC Efetiva. (C) Saturação por bases. (D) Cálcio. (E) Magnésio. (F) Potássio.

A dissolução da calcita presente na rocha Verdinho explica o aumento do Ca e consequentemente do pH e da saturação por bases. No caso da rocha Kamafugito o que pode explicar a influência negativa no pH são: a) lenta dissolução da mineral augita (piroxênio) que contém Ca e b) ao aumento da liberação do K do ortoclásio e da mica. A liberação de potássio também influenciou positivamente na saturação de bases.

A CTC é diretamente influenciada pela presença de esmectita/vermiculita nas rochas, ocorrendo em maior quantidade em Verdinho, o que explica os resultados obtidos para este parâmetro.

A diminuição dos valores de Mg nos tratamentos tanto com Verdinho quanto com Kamafugito pode ser atribuído à sua absorção pelos minerais esmectita e vermiculita.

Estes resultados corroboram com McGahan et al. (2014) demonstrando que as interações entre minerais-água-rizosfera condicionam as propriedades do solo.

Conclusões

Os resultados obtidos mostram que:

- 1) Considerando que o mesmo solo *in natura* e a mesma espécie vegetal foram tratados com diferentes rochas, as variações nos resultados dos diversos tratamentos podem ser atribuídas à composição mineral dos remineralizadores e suas interações.
- 2) as características do solo variam conforme o tipo e a dosagem da rocha adicionada;
- 3) a composição mineral da rocha remineralizadora condiciona as características do solo durante o desenvolvimento da soja;
- 4) para a compreensão da interação entre mineral-solo-planta outras observações e análises estão em andamento.

Agradecimentos

À Deus Todo Poderoso e Misericordioso. Ao projeto Validação, geração e desenvolvimento de metodologias e protocolos analíticos para caracterização de rochas silicáticas, solos e biointemperismo como subsídio a mapeamentos agrogeológicos - Chamada MCTI/CNPq/CT-Mineral 51/2013. À Embrapa Cerrados pela semente de soja e à Embrapa Arroz e Feijão. À equipe de técnicos e estagiários do Laboratório DRX da UnB.

Referências Bibliográficas

- Brasil, 2014 - MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 2004. Decreto Federal nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 15 jan. 2004. Acesso em 12 de maio de 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2004-2006/2004/Decreto/D4954.htm
- Brod, J. A., Barbosa, E. S. R., Junqueira-Brod, T. C., Gaspar, J. C., Diniz-Pinto, H. S., Sgarbi, P. B. A., & Petrinovic, I. A. 2005. The Late-Cretaceous Goiás Alkaline Province (GAP), Central Brazil. Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Plataform. *Edusp/Fapesp*, 261-316.
- Carvalho, A.M.X. 2013. Rochagem: um novo desafio para o manejo sustentável da fertilidade do solo: Sustentabilidade e inovação no campo. Minas Gerais, 234p.
- Görgen, C. A.; Bizão, A. A.; Ragagnin, V. A.; Martins, E. S.; Batista, N. T. F.; Silva, F. S.; Hack, E. 2011. Arranjo Produtivo Local de base mineral no Sudoeste Goiano: uso de rochas regionais na agricultura. In: Francisco Rego Chaves Fernandes; Maria Amélia Rodrigues da Silva Enríquez; Renata de Carvalho Jimenez Alamino. (Org.). Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, v. 2, p. 45-68.
- Leonardos, O. H.; Theodoro, S. C. H.; Assad, ML 2000. Remineralização para uma agricultura sustentável: Uma perspectiva tropical do ponto de vista brasileiro *Nutrient Ciclismo em Agroecossistemas*, Dordrecht, v.56, p.3-9,.
- Martins, E. S.; Theodoro, S. H. I 2010. Congresso Brasileiro de Rochagem. Anais... Planaltina- DF, Embrapa Cerrados, 322p.
- McGahan, D. G., Southard, R. J., & Zasoski, R. J. 2014. Rhizosphere effects on soil solution composition and mineral stability. *Geoderma*, 226, 340-347.
- Souza, Fred Newton da Silva. 2014. O potencial de agrominerais silicáticos como fonte de nutrientes na agricultura tropical. 2014. xii, 107 f., il. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília.
- Theodoro, S. H., Leonardos, O. H., Rego, K. G., de Paula Medeiros, F., Talini, N. L., dos Santos, F., & Oliveira, N. 2013. Efeito do uso da técnica de rochagem associada à adubação orgânica em solos tropicais. In II Congresso Brasileiro de Rochagem (p. 32).
- Van Straaten, P. 2006. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(4), 731-747.

CAPÍTULO 6

6. Ensaio Embrionários sobre o comportamento de solos, rochas e plantas na tecnologia da rochagem

Os trabalhos realizados no Sudoeste Goiano, no Acordo de Cooperação Técnica entre a EMBRAPA CERRADOS e a Sociedade Ecológica de Jataí (SEJA), conforme Mapa Litoestratigráfico (Figura 1) despertaram a necessidade de compreensão de alguns comportamentos físico-químicos e minerais dos solos e rochas, bem como, fisiológicos das plantas. Observou-se durante os ensaios em áreas comerciais de soja, milho, cana-de-açúcar, braquiária, algodão, entre outras, que haviam modificações do período (ou data) de expressão fisiológica das plantas nos estágios de florescimento e colheita. Também foram observadas diferentes respostas de produtividade da mesma rocha adicionada a solos de diferente material de origem. Neste sentido, o Projeto “Validação, geração e desenvolvimento de metodologias e protocolos analíticos para caracterização de rochas silicáticas, solos e biointemperismo como subsídio a mapeamentos agrogeológicos - Chamada MCTI/CNPq/CT-Mineral 51/2013” foi concebido para elucidar alguns destes comportamentos.

Durante o desenvolvimento desta TESE, foram estabelecidos ensaios iniciais visando orientar novos conceitos na interface geologia- agronomia-biologia. Reitera-se neste caso, que uma das características da interdisciplinaridade é a incorporação de conceitos e o “jeito de olhar” de cada cientista.

Para efeito demonstrativo, foram realizados em casa de vegetação da Universidade de Brasília, cultivos de soja - em épocas distintas- em vasos preenchidos com os solos Bauru, Montividiu e Serra Geral *in natura* e com adição de cada uma das rochas Micaxisto Verdinho e Kamafugito na dose de 5 ton ha⁻¹. Foram avaliados:

- a. Comportamento da soja sob *stress* hídrico;
- b. Comportamento da soja na expressão fenológica com e sem *stress* hídrico;
- c. Comportamento da soja na expressão produtiva (componentes de produção) sob efeito de *stress* hídrico.

Para demonstração de possíveis modificações nos minerais das rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito *in natura*, sem contato direto com as raízes da soja, foram montados ensaios em rizotrons. Além das modificações nos minerais, as plântulas de soja foram avaliadas quanto ao sistema radicular (área total, área superficial, diâmetro, volume de raiz, cruzamentos, pontas e forquilha), a massa de raiz e da parte aérea.

Para demonstração de dissolução mineral, foi montado um ensaio de Lixiviação. Foram avaliados pH, condutividade e liberação de íons na solução, com e sem cultivo de soja, em vasos preenchidos com as rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito *in natura*, os solos Bauru, Montividiu e Serra Geral *in natura* e com adição de cada uma das rochas em cada um dos solos, na dose de 5 ton ha⁻¹.

6.1 Ensaio em vasos – cultivos de soja, em épocas distintas, em vasos preenchidos com os solos Bauru, Montividiu e Serra Geral *in natura* e com adição de cada uma das rochas Micaxisto Verdinho e Kamafugito na dose de 5 ton ha⁻¹.

Os tratamentos (Tabela 1) compreenderam a mistura de 5 toneladas por hectare de cada rocha (Micaxisto, Verdinho e Kamafugito) em cada solo (Bauru, Montividiu e Serra Geral) cultivados com soja.

A implantação dos substratos em vasos ocorreu em 22 de janeiro de 2016 e 22 de janeiro de 2017. A semeadura da soja foi realizada em 29 de janeiro de 2016 e 29 de janeiro de 2017, em ambos os ensaios, apenas 7 dias após a incubação.

Tabela 1: Discriminação dos tratamentos

	Bauru	Montividiu	Serra Geral
Micaxisto	BMX	MMX	SGMX
Verdinho	BV	MV	SGV
Kamafugito	BK	MK	SGK

Durante o ciclo de desenvolvimento da soja (cultivada em 2016) foram realizadas avaliações relativas a capacidade de retenção de água pelos diferentes tratamentos. A resposta das plantas em relação ao déficit hídrico, foi avaliada visualmente monitorando o ponto de murcha e sua pronta resposta fisiológica à irrigação conforme apresentado no item 6.1.1.

Os estágios de desenvolvimento foram monitorados. No item 6.1.2 são apresentados os diferentes estágios fenológicos (na data de 11 de março de 2016 (42 dias após a semeadura) e 11 de março de 2017 (41 dias após a semeadura)) nos ensaios realizados com e sem stress hídrico. O ponto de colheita, ou maturação plena da soja cultivada em diferentes substratos foi avaliado apenas no ensaio realizado com stress.

Da mesma forma, os componentes de produção apresentados no item 6.1.3 são relativos apenas aos ensaio com stress hídrico.

Foram coletadas e analisadas amostras de solo por ocasião do florescimento e da colheita da soja cultivada nos solos *in natura* e com adição de rochas (ambos com stress hídrico). Os resultados foram analisados no programa Statistica 10 pelo teste Tukey (5%) e estão apresentados no item 6.1.4.

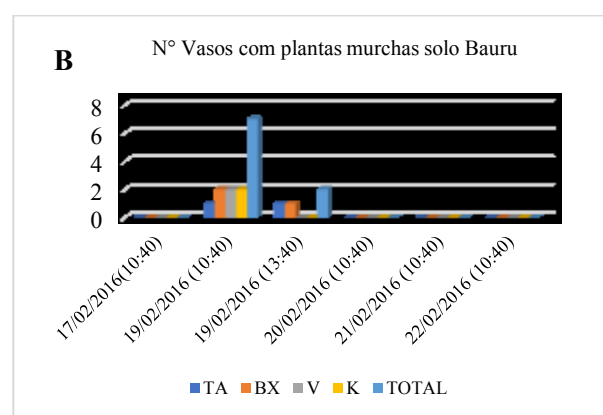
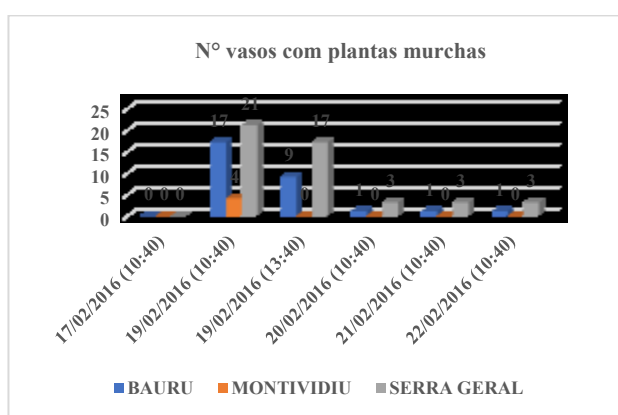
6.1.1 Capacidade de retenção de água no solo e ponto de murcha

O conhecimento das inter-relações entre a água, o solo e a planta, em diferentes condições atmosféricas, é essencial para uma eficiente produção agrícola. A água necessária ao crescimento vegetal encontra-se principalmente no solo. Desta forma, o solo se apresenta como um grande reservatório e fornecedor de água para as plantas via sistema radicular. O comportamento da água no solo depende fundamentalmente de suas propriedades físicas e a estrutura do solo pode ser modificada pelo manejo (adição de matéria orgânica ou condicionadores de solo). Neste sentido, na data de 17 de fevereiro de 2016 plantas de soja sob efeito de diferentes substratos, passaram a ser avaliadas em função do momento de irrigação durante 5 dias.

As plantas foram irrigadas no dia 17 de fevereiro de 2016 (às 10:40 h) permanecendo sem irrigação durante 24 horas. Observou-se que, decorridas 24 horas, as plantas reagiram de forma diferente tanto para os solos como para os tratamentos (Figura 2 A, B, C e D).

A Figura 2 A apresenta a diferença entre os solos. Neste caso, o solo Montividiu foi o que apresentou menor quantidade plantas murchas, quando comparado aos solos Bauru e Serra Geral. Ainda no solo Montividiu (Fig. 2 C) plantas murchas apresentaram rápida recuperação (3 horas após a irrigação de salvamento). Também, as plantas do solo Serra Geral apresentaram menor capacidade de recuperação das atividades fisiológicas, respondendo tardiamente à irrigação.

No solo Serra Geral (Fig. 2 D) os tratamentos *in natura* e Kamafugito reagiram de forma semelhante com maior número de plantas murchas por período mais prolongado. Sendo os tratamentos Micaxisto e Verdinho responderam mais rápido à irrigação.



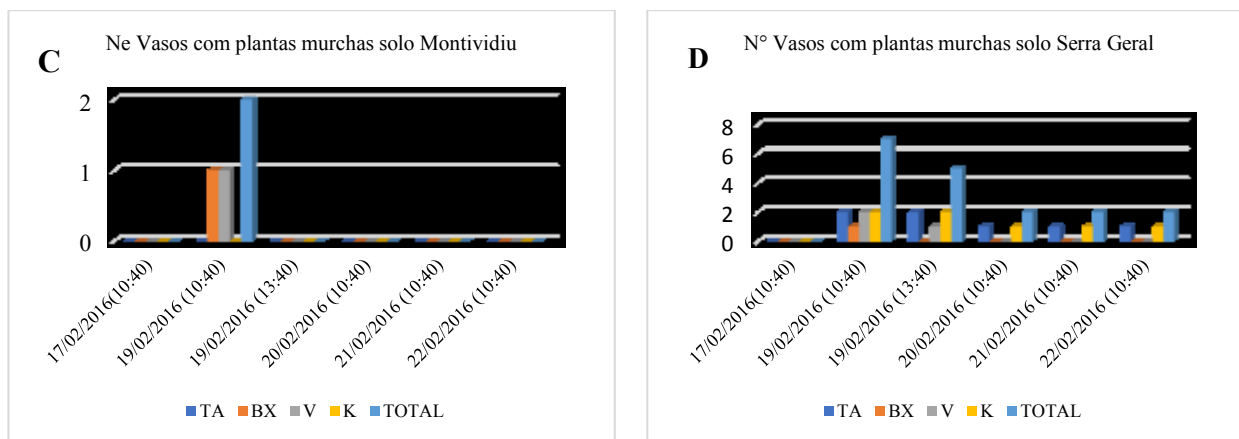


Figura 2: Plantas de soja murchas cultivadas nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral *in natura* e com adição de rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito, em fevereiro de 2016. (A) Comparativo entre os três solos; (B) solo Bauru; (C) solo Montividiu e (D) solo Serra Geral.

6.1.2. Avaliação do ciclo de desenvolvimento da soja

A partir de diferentes substratos foram avaliados os estádios de desenvolvimento - de acordo com a Tabela 2 - da soja culminando com as épocas de colheita no ensaio de 2016 com stress. Os estágios fenológicos (Figura 3 e Tabela 3), bem como, os tratamentos colhidos no momento em que atingiram o ponto de colheita (Tabela 4). No ensaio realizado em 2017 foi realizado apenas a avaliação do estágio fisiológico em março (Figura 3). De maneira geral, as plantas apresentaram diferente comportamento nos estádios de desenvolvimento em função dos solos e seus tratamentos bem como do stress.

Tabela 2: Estágios de desenvolvimento da cultura da soja.

DESCRIÇÃO DOS ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO DA SOJA (adaptado de FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. Crop Science, n.2, p. 929-931, 1971)

ESTÁDIOS VEGETATIVOS
 V1 - Folha completamente desenvolvida no unifoliar
 V2 - Folha completamente desenvolvida no primeiro nó acima do nó unifoliar
 V3 - Três nós no caule principal, começando com o nó unifoliar
 Vn - N nós no caule principal, começando com o nó unifoliar

ESTÁDIOS REPRODUTIVOS
FLORAÇÃO
 R1 - Uma flor em qualquer nó
 R2 - Flor em um dos quatro últimos nós da haste principal, com folha completamente desenvolvida.

DESENVOLVIMENTO DE VAGENS
 R3 - Vagem com 0,5cm em um dos quatro últimos nós da haste principal, com folha completamente desenvolvida
 R4 - Vagem com 2cm em um dos quatro últimos nós da haste principal, com folha completamente desenvolvida

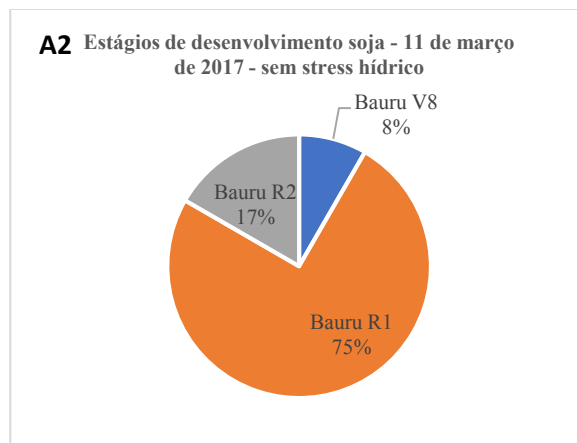
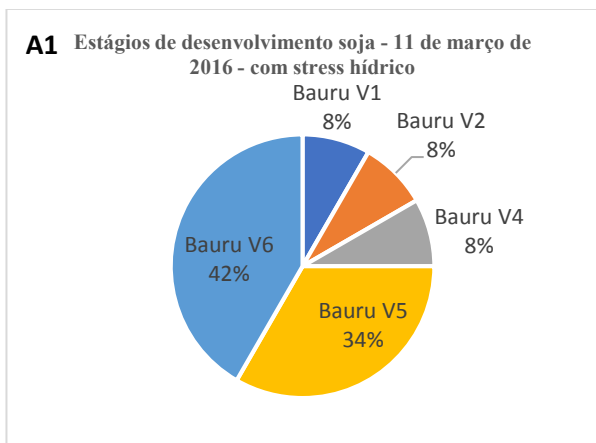
ENCHIMENTO DE GRÃOS
 R5 - Grãos começando a se desenvolver (0,3cm) em um dos quatro últimos nós da haste principal, com folha desenvolvida
 R6 - Vagens contendo grãos verdes completamente desenvolvidos em um dos quatro últimos nós da haste principal, com folha completamente desenvolvida

MATURAÇÃO
 R7 - Vagens amarelado; 50% das folhas amarelas
 R8 - 95% das vagens com cor marrom. Maturação

Estádios de desenvolvimento da cultura da soja.
 Adaptado de Fehr & Caviness (1977).

Estádios vegetativos
 VE - Emergência
 VC - Cotilédone
 V1 - Primeiro nó
 V2 - Segundo nó
 V3 - Terceiro nó
 *
 *
 V(n) - enésimo nó

Estádios reprodutivos
 R1 - Início do florescimento
 R2 - Pleno florescimento
 R3 - Início da formação das vagens
 R4 - Plena formação de vagens
 R5 - Início do enchimento das sementes
 R6 - Pleno enchimento das vagens
 R7 - Início da maturação
 R8 - Maturação plena



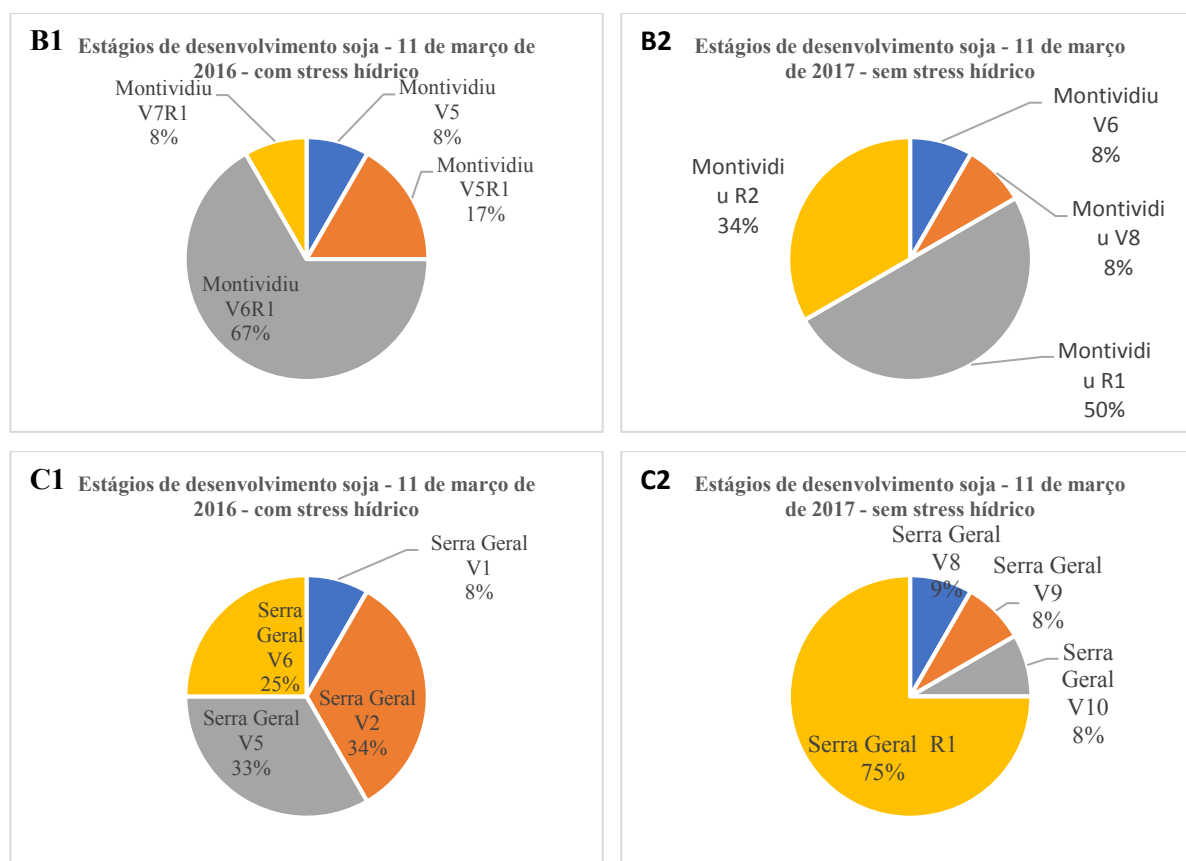


Figura 3: Estádios de desenvolvimento da soja cultivada em duas épocas - 29 de janeiro de 2016 e 29 de janeiro de 2017 e avaliados em 11 de fevereiro de cada ano. (A1) e (A2) solo Bauru. (B1) e (B2) solo Montividiu. (C1) e (C2) solo Serra Geral.

Tabela 3: Estágio fenológico das plantas de soja em ensaios cultivados em duas épocas, com e sem stress hídrico.

Solos	Estágio Fenológico	Tratamentos									
11 de março de 2016 - com stress	Bauru	V1	Kamafugito								
		V2	Micaxisto								
		V4	Kamafugito								
		V5	in natura	Verdinho	Kamafugito						
		V6	in natura	in natura	Micaxisto	Micaxisto	Verdinho				
		V5	Kamafugito								
Montividiu		V5R1	Verdinho								
		V6R1	In natura	in natura	in natura	Micaxisto	Micaxisto	Micaxisto	Verdinho	Kamafugito	
		V7R1	Kamafugito								
		V1	Kamafugito								
Serra Geral		V2	in natura	Micaxisto	Kamafugito	Kamafugito					
		V5	in natura	Micaxisto	Micaxisto	Verdinho					
		V6	in natura	Verdinho	Verdinho						
		V8	Micaxisto								
Bauru		R1	in natura	in natura	in natura	Micaxisto	Verdinho	Verdinho	Kamafugito	Kamafugito	Kamafugito
		R2	Micaxisto		Verdinho						
11 de março de 2017 - sem stress	Montividiu		in natura								
			in natura								
		R1	Micaxisto	Micaxisto	Verdinho	Verdinho	Kamafugito	Kamafugito			
		R2	in natura	Micaxisto	Verdinho	Kamafugito					
Serra Geral		V8	in natura								
		V9	Verdinho								
		V10	in natura								
		R1	in natura,	Micaxisto	Micaxisto	Micaxisto	Verdinho	Verdinho	Kamafugito	Kamafugito	Kamafugito

Observou-se, no ensaio realizado em 2016 com stress, que no solo Montividiu as plantas atingiram o estágio reprodutivo em período mais curto que nos solos Bauru e Serra Geral, o que pode ser verificado também na época de colheita Tabela 3 quando 100% das plantas atingiram o ponto de colheita entre 6 e 16 de maio.

No caso dos solos Bauru e Serra Geral, a resposta do comportamento fisiológico para os estágios vegetativo e reprodutivo foi semelhante. Porém, este comportamento não se manteve para as épocas de colheita quando as plantas cultivadas no solo Serra Geral atingiram o ponto de colheita mais tarde.

Tabela 4: Datas de colheita da soja semeada em 29 de janeiro de 2016, com a identificação dos tratamentos para cada solo. *In natura*, Micaxisto 5 ton ha⁻¹, Verdinho 5 ton ha⁻¹, Kamafugito 2,5 ton ha⁻¹

Solos	Datas	Tratamentos				
Bauru	06/mai	-				
	10/mai	Verdinho	Verdinho	Kamafugito		
	13/mai	<i>in natura</i>				
	16/mai	Micaxisto	Micaxisto	Verdinho	Kamafugito	Kamafugito
	18/mai	<i>in natura</i>				
	21/mai	<i>in natura</i>				
	25/mai	Micaxisto				
Montividiu	06/mai	<i>in natura</i>	Verdinho	Verdinho		
	10/mai	<i>in natura</i>	Micaxisto	Micaxisto	Kamafugito	Kamafugito
	13/mai	Verdinho	Kamafugito			
	16/mai	<i>in natura</i>	Micaxisto			
	18/mai	-				
	21/mai	-				
	25/mai	-				
Serra Geral	06/mai	<i>in natura</i>	Micaxisto	Kamafugito		
	10/mai	-				
	13/mai	-				
	16/mai	Verdinho	Kamafugito			
	18/mai	<i>in natura</i>	Micaxisto	Micaxisto	Verdinho	
	21/mai	<i>in natura</i>	Kamafugito			
	25/mai	Verdinho				

6.1.3 Avaliação dos componentes de produção

Por ocasião da colheita foram mensurados a altura das plantas (do colo até o ápice), o número de nós, o número de vagens, o número de grãos e a massa de cem grãos. Os resultados estão apresentados na Figura 4. Dentre os componentes de produção, o número de nós e a massa de grãos são fundamentais. O número de nós está associado ao número de vagens, ou seja, quanto maior o número de nós, maior a emissão de flores e conseqüentemente de vagens. A massa de grãos expressa a capacidade da planta na bioassimilação e acumulação de elementos

destinados a perpetuação da espécie. Do ponto de vista do agricultor quanto maior a massa de grãos maior a produtividade por hectare e conseqüentemente maior o lucro na comercialização.

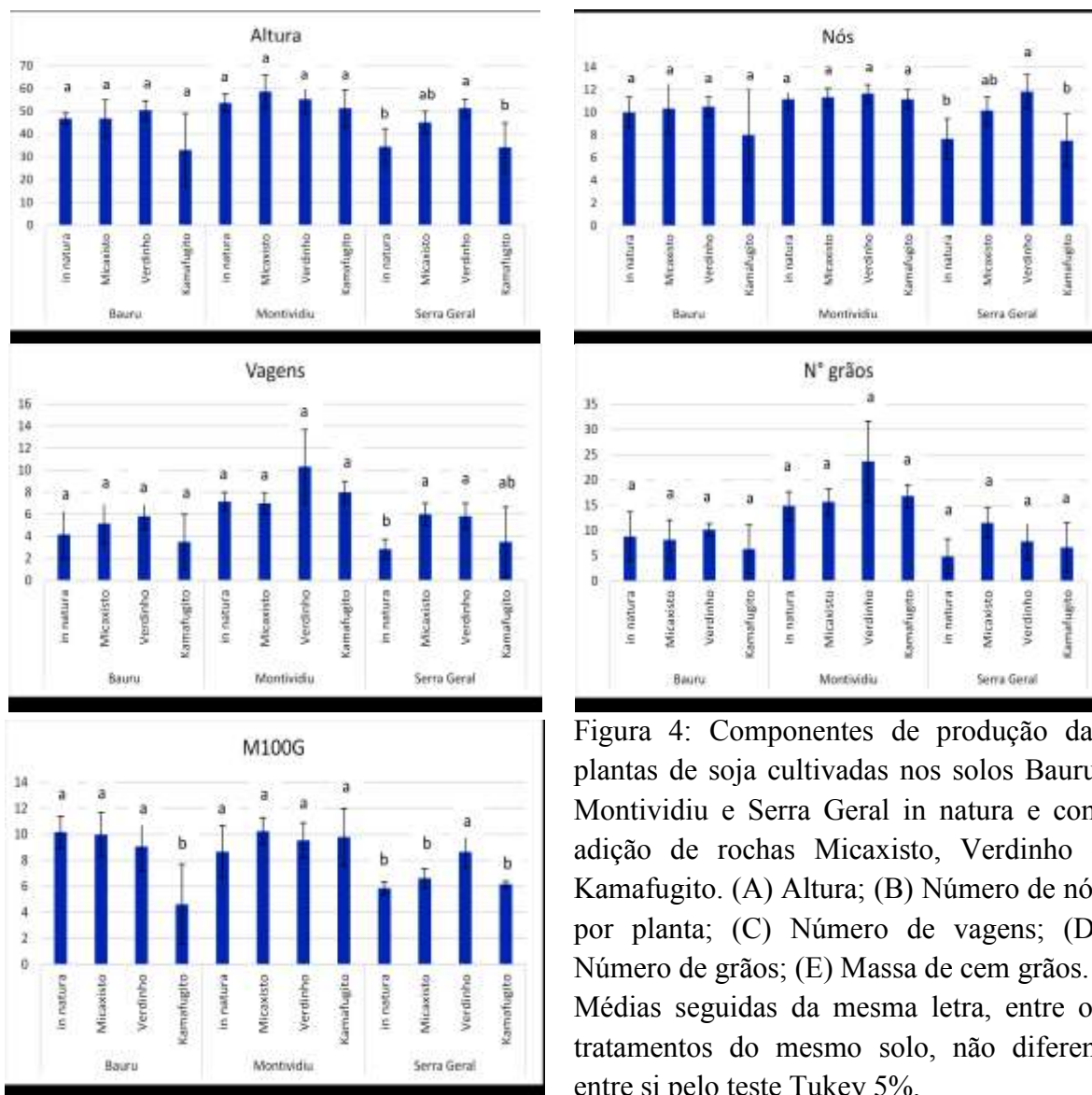


Figura 4: Componentes de produção das plantas de soja cultivadas nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral in natura e com adição de rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito. (A) Altura; (B) Número de nós por planta; (C) Número de vagens; (D) Número de grãos; (E) Massa de cem grãos. Médias seguidas da mesma letra, entre os tratamentos do mesmo solo, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%.

6.1.4 Análise estatística dos atributos químicos.

Tabela 5: Análise estatística dos teores de cálcio, magnésio, potássio, sódio, soma de bases, CTC e saturação por bases no florescimento e na colheita da soja (analisadas no Laboratório Laborfort - Paraná).

	Trat.	Cálcio (cmol.dm^{-3})	Trat.	Magnésio (cmol.dm^{-3})	Trat.	Potássio (cmol.dm^{-3})	Trat.	Sódio (cmol.dm^{-3})	Trat.	Soma de bases	Trat	CTC (pH 7)	Trat.	Saturação por bases (%)
Bauru - florescimento	BVF	3,89 a	BKF	1,09 a	BMXF	0,52 a	BKF	0,054 a	BVF	4,90 a	BVF	6,12 a	BVF	79,26 a
	BKF	3,45 ab	BTAF	1,08 a	BKF	0,16 b	BVF	0,046 a	BKF	4,75 a	BKF	6,08 a	BKF	77,31 ab
	BTAF	3,14 b	BMXF	0,97 ab	BVF	0,11 bc	BMXF	0,04 a	BMXF	4,57 a	BMXF	5,94 a	BMXF	76,22 ab
	BMXF	3,03 b	BVF	0,85 b	BTAF	0,08 c	BTAF	0,03 a	BTAF	4,34 a	BTAF	5,70 a	BTAF	75,45 b
Bauru - colheita	BVC	3,61 a	BTAC	1,00 a	BMXC	0,42 a	BKC	0,05 a	BVC	4,51 a	BMXC	5,68 a	BVC	78,62 a
	BTAC	3,10 b	BKC	0,97 a	BKC	0,17 b	BVC	0,05 a	BMXC	4,38 a	BVC	5,67 a	BKC	77,29 ab
	BKC	3,00 b	BMXC	0,93 a	BVC	0,10 c	BMXC	0,04 a	BTAC	4,22 a	BTAC	5,54 a	BMXC	76,37 ab
	BMXC	2,99 b	BVC	0,73 b	BTAC	0,07 c	BTAC	0,03 a	BKC	4,20 a	BKC	5,36 a	BTAC	75,44 b
Montividiu- florescimento	MVF	3,98 a	MKF	0,63 a	MMXF	0,46 a	MTAF	0,06 a	MVF	4,82 a	MKF	8,66 a	MVF	57,89 a
	MKF	2,42 b	MVF	0,61 ab	MKF	0,29 b	MVF	0,55 a	MKF	3,39 b	MVF	8,24 a	MKF	38,61 b
	MTAF	2,08 c	MTAF	0,55 ab	MVF	0,18 c	MKF	0,05 a	MMXF	2,91 c	MMXF	8,20 a	MMXF	34,91 bc
	MMXF	1,91 c	MMXF	0,48 c	MTAF	0,18 c	MMXF	0,04 a	MTAF	2,88 c	MTAF	8,20 a	MTAF	34,39 c
Montividiu - colheita	MVC	3,84 a	MKC	0,62 a	MMXC	0,40 a	MKC	0,06 a	MVC	4,55 a	MKC	8,04 a	MVC	64,00 a
	MKC	2,50 b	MVC	0,51 b	MKC	0,22 b	MVC	0,06 a	MKC	3,42 b	MTAC	7,40 a	MKC	41,76 b
	MTAC	1,91 c	MTAC	0,46 b	MVC	0,14 c	MMXC	0,05 a	MMXC	2,73 c	MMXC	7,16 a	MMXC	37,34 c
	MMXC	1,83 c	MMXC	0,44 b	MTAC	0,13 c	MTAC	0,05 a	MTAC	2,56 c	MVC	7,02 a	MTAC	33,95 c
Serra Geral	SGVF	5,10 a	SGKF	1,11 a	SGMXF	0,33 a	SGKF	0,052 a	SGVF	6,38 a	SGVF	9,02 a	SGVF	70,21 a
	SGKF	3,38 b	SGMXF	1,09 a	SGKF	0,26 ab	SGVF	0,048 ab	SGMXF	4,84 b	SGKF	8,88 ab	SGMXF	54,93 b
	SGMXF	3,37 b	SGVF	1,04 a	SGVF	0,19 ab	SGTAF	0,039 ab	SGKF	4,81 b	SGMXF	8,75 ab	SGKF	53,57 b
	SGTAF	3,02 b	SGTAF	0,95 a	SGTAF	0,18 b	SGMXF	0,037 b	SGTAF	4,18 b	SGTAF	8,39 b	SGTAF	49,41 b
Serra Geral - colheita	SGVC	6,36 a	SGKC	1,23 a	SGMXC	0,53 a	SGVC	0,06 a	SGVC	7,81 a	SGVC	9,85 a	SGVC	78,22 a
	SGKC	3,69 b	SGVC	1,20 a	SGKC	0,27 b	SGKC	0,05 a	SGKC	5,26 b	SGKC	8,44 a	SGKC	61,63 b
	SGTAC	3,17 b	SGMXC	1,08 a	SGTAC	0,19 b	SGMXC	0,05 a	SGMXC	4,82 b	SGMXC	7,89 a	SGMXC	60,43 b
	SGMXC	3,15 b	SGTAC	1,00 a	SGVC	0,18 b	SGTAC	0,05 a	SGTAC	4,42 b	SGTAC	7,73 a	SGTAC	56,51 b

Tabela 6: Análise estatística dos teores de pH(CaCl₂), pH (H₂O), pH (SMP), H⁺, e matéria orgânica no florescimento e na colheita da soja (analisadas no Laboratório Laborfort - Paraná).

	Trat.	pH (CaCl ₂)	Trat.	pH (H ₂ O)	Trat.	pH (SMP)	Trat.	H ⁺	Trat	M.O
Bauru - florescimento	BVF	6,84 a	BVF	7,47 a	BVF	7,14 a	BMXF	1,41 a	BMXF	1,64 a
	BTAF	6,78 a	BTAF	7,28 ab	BKF	7,07 a	BTAF	1,40 a	BVF	1,57 a
	BMXF	6,73 a	BMXF	7,25 b	BTAF	7,05 a	BKF	1,37 a	BTAF	1,56 a
	BKF	6,69 a	BKF	7,12 b	BMXF	7,04 a	BVF	1,27 a	BKF	1,49 a
Bauru - colheita	BVC	6,86 a	BVC	7,38 a	BVC	7,18 a	BTAC	1,36 a	BVC	1,58 a
	BKC	6,67 ab	BKC	7,20 a	BKC	7,18 a	BMXC	1,34 a	BMXC	1,57 a
	BMXC	6,65 ab	BTAC	7,18 a	BMXC	7,09 a	BKC	1,21 b	BTAC	1,57 a
	BTAC	6,58 b	BMXC	7,18 a	BTAC	7,08 a	BVC	1,21 b	BKC	1,50 a
Montvidiu - florescimento	MVF	5,50 a	MVF	5,95 a	MVF	6,19 a	MTAF	5,38 a	MKF	3,16 a
	MKF	4,83 b	MKF	5,40 b	MKF	5,78 b	MMXF	5,34 a	MTAF	3,03 a
	MTAF	4,71 b	MTAF	5,22 b	MMXF	5,78 b	MKF	5,32 a	MVF	2,96 a
	MMXF	4,69 b	MMXF	5,19 b	MTAF	5,77 b	MVF	3,47 b	MMXF	2,81 a
Montvidiu - colheita	MVC	5,71 a	MVC	6,35 a	MVC	6,49 a	MTAC	4,89 a	MKC	3,20 a
	MKC	4,78 b	MKC	5,31 b	MMXC	5,94 b	MKC	4,68 a	MTAC	3,04 a
	MMXC	4,74 b	MMXC	5,15 b	MKC	5,90 b	MMXC	4,49 a	MMXC	2,99 a
	MTAC	4,70 b	MTAC	5,13 b	MTAC	5,86 b	MVC	2,52 b	MVC	2,88 a
Serra Geral	SGVF	6,07 a	SGVF	6,58 a	SGVF	6,43 a	SGTAF	4,24 a	SGTAF	3,11 a
	SGMXF	5,44 b	SGMXF	6,02 b	SGMXF	6,06 b	SGKF	4,12 a	SGKF	3,09 a
	SGKF	5,37 b	SGKF	5,89 b	SGKF	6,02 b	SGMXF	3,94 a	SGMXF	2,74 a
	SGTAF	5,27 b	SGTAF	5,81 b	SGTAF	5,99 b	SGVF	2,69 b	SGVF	2,67 a
Serra Geral - colheita	SGVC	6,39 a	SGVC	6,87 a	SGVC	6,67 a	SGTAC	3,36 a	SGKC	2,91 a
	SGMXC	5,54 b	SGMXC	6,03 b	SGMXC	6,28 b	SGKC	3,23 a	SGMXC	2,90 a
	SGKC	5,51 b	SGKC	6,00 b	SGKC	6,25 b	SGMXC	3,12 a	SGVC	2,85 a
	SGTAC	5,45 b	SGTAC	5,97 b	SGTAC	6,21 b	SGVC	2,10 b	SGTAC	2,85 a

Tabela 7: Análise estatística dos teores de fósforo (Mehlich), fósforo (resina), fósforo (remanescente), silício e ferro no florescimento e na colheita da soja (analisadas no Laboratório Laborfort - Paraná).

	Tratamentos	Fósforo (Meh) (mg dm ⁻³)	Tratamentos	Fósforo (res) (mg dm ⁻³)	Tratamentos	Fósforo (rem) (mg dm ⁻³)	Tratamentos	Silício (mg dm ⁻³)	Tratamentos	Ferro (mg dm ⁻³)
Bauru - florescimen to	BVF	315,89 a	BVF	78,92 a	BTAF	30,51 a	BKF	7,18 a	BMXF	222,00 a
	BKF	167,38 ab	BKF	66,27 ab	BKF	29,35 a	BMXF	6,55 ab	BTAF	69,00 b
	BMXF	132,89 ab	BMXF	45,14 b	BVF	28,79 a	BVF	6,16 b	BVF	53,18 b
	BTAF	80,91 b	BTAF	43,94 b	BMXF	27,16 a	BTAF	6,11 b	BKF	39,78 b
Bauru- colheita	BKC	74,21 a	BVC	226,84 a	BMXC	32,74 a	BTAC	6,30 a	BMXC	139,66 a
	BVC	72,51 a	BKC	75,27 a	BTAC	32,52 a	BMXC	6,23 a	BVC	47,39 b
	BTAC	67,10 a	BMXC	61,33 a	BKC	32,48 a	BKC	5,52 a	BTAC	44,48 b
	BMXC	64,24 a	BTAC	58,99 a	BVC	29,45 a	BVC	5,47 a	BKC	35,84 b
Montvidiu florescimen to	MKF	15,52 a	MVF	37,38 a	MMXF	13,90 a	MKF	19,97 a	MMXF	104,02 a
	MVF	14,83 a	MTAF	33,69 a	MTAF	13,52 a	MVF	17,68 ab	MVF	42,52 b
	MMXF	8,33 b	MKF	23,76 a	MVF	12,84 a	MMXF	16,76 b	MTAF	27,18 b
	MTAF	8,06 b	MMXF	13,22 a	MKF	12,05 a	MTAF	16,22 b	MKF	26,82 b
Montvidiu - colheita	MKC	12,28 a	MVC	26,97 a	MMXC	17,35 a	MKC	13,73 a	MMXC	86,42 a
	MVC	10,53 ab	MKC	20,94 ab	MTAC	15,89 a	MMXC	12,51 a	MVC	61,61 ab
	MTAC	6,67 bc	MTAC	17,97 bc	MKC	15,76 a	MTAC	12,25 a	MKC	34,03 b
	MMXC	6,25 c	MMXC	14,04 c	MVC	14,28 a	MVC	11,81 a	MTAC	32,23 b
Serra Geral- florescimen to	SGVF	28,43 a	SGVF	70,10 a	SGMXF	14,20 a	SGKF	13,54 a	SGMXF	59,01 a
	SGMXF	18,53 b	SGKF	49,97 b	SGKF	13,60 a	SGMXF	13,00 a	SGVF	38,34 b
	SGKF	15,87 b	SGMXF	44,13 b	SGTAF	12,84 a	SGTAF	11,96 a	SGTAF	29,13 b
	SGTAF	14,63 b	SGTAF	36,22 b	SGVF	11,95 a	SGVF	11,54 a	SGKF	26,78 b
Serra Geral - colheita	SGVC	21,28 a	SGKC	54,58 a	SGMXC	18,18 a	SGKC	11,81333	SGMXC	64,10 a
	SGKC	18,65 a	SGVC	53,66 a	SGTAC	15,09 b	SGMXC	9,98667	SGTAC	32,42 b
	SGTAC	14,21 a	SGTAC	38,28 b	SGKC	14,58 bc	SGTAC	9,49667	SGVC	31,76 b
	SGMXC	14,13 a	SGMXC	36,51 b	SGVC	12,55 c	SGVC	7,48000	SGKC	24,63 b

6.2 Ensaio em rizotrons – rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito em contato indireto com o sistema radicular da soja

Os rizotrons possibilitam verificar possíveis modificações no substrato, sem contato direto entre o sistema radicular e as rochas, ocasionadas apenas pelos exudatos das raízes.

O ensaio em rizotrons foi realizado com as rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito. Seis gramas de cada rocha foram acondicionados em rizotrons individuais com três repetições. Sobre a malha de nylon foram semeadas três sementes de soja por rizotron. Foi utilizada água destilada para que não houvesse interferência na composição química nos substratos avaliados. Os rizotrons permaneceram sobre uma bancada no Laboratório de Difractometria de raios-X da Universidade de Brasília durante 21 dias. O ensaio foi realizado em triplicata.

Na Tabela 8 estão descritas as datas de implantação de cada ensaio, bem como a umidade e temperatura máxima e mínima do ambiente interno (junto às sementes e plântulas de soja) e externo (sobre a bancada) dos rizotrons. As variações de temperatura e umidade do ambiente externo e interno dos rizotrons foram monitoradas com termo higrômetro.

Tabela 8: Datas de implantação e tempo de duração, temperatura e umidade do ambiente externo e interno do ensaio em rizotrons.

		Externo		Interno	
		Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Ensaio 1	05 a 29 de fevereiro de 2016	29,4°C	25,3 °C	29,9°C	25,9°C
		66%	54%	76%	54%
Ensaio 2	02 a 22 de março de 2016	29,4°C	25,3 °C	29,9°C	25,9°C
		66%	54%	76%	54%
Ensaio 3	29 de março a 19 de abril de 2016	29,4°C	24,8°C	28°C	24,9°C
		64%	43%	77%	43%

As plântulas de soja foram avaliadas quanto ao sistema radicular (área total, área superficial, diâmetro, volume de raiz, cruzamentos, pontas e forquilhas), a massa de raiz e da parte aérea.

Após 21 dias de semeadura, o sistema radicular das plântulas de soja foi avaliado no laboratório de Agrofisiologia da Embrapa Arroz e Feijão (Santo Antônio de Goiás- GO) da seguinte forma: as raízes limpas são dispostas em bandejas de vidro de 24cm x 36cm, com água, para a obtenção de imagens fotográficas. Para isso, utilizou-se uma câmera Canon Xt DS126071, a uma distância de 39 cm da bandeja, obtendo-se imagens com resolução de 72 dpi. Para a análise da morfologia do sistema radicular (comprimento total, área superficial, diâmetro

médio e número de pontas) utilizou-se o sistema WinRHIZO 2012b (Régent Instr. Inc.) (Bauhus e Christian.,1999; Bouma et al., 2000). Em seguida as amostras de raízes foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar a 60° C por 48 h, para determinação da massa de matéria seca.

A Figura 5 apresenta o aspecto das plântulas 7 dias após a sementeira.

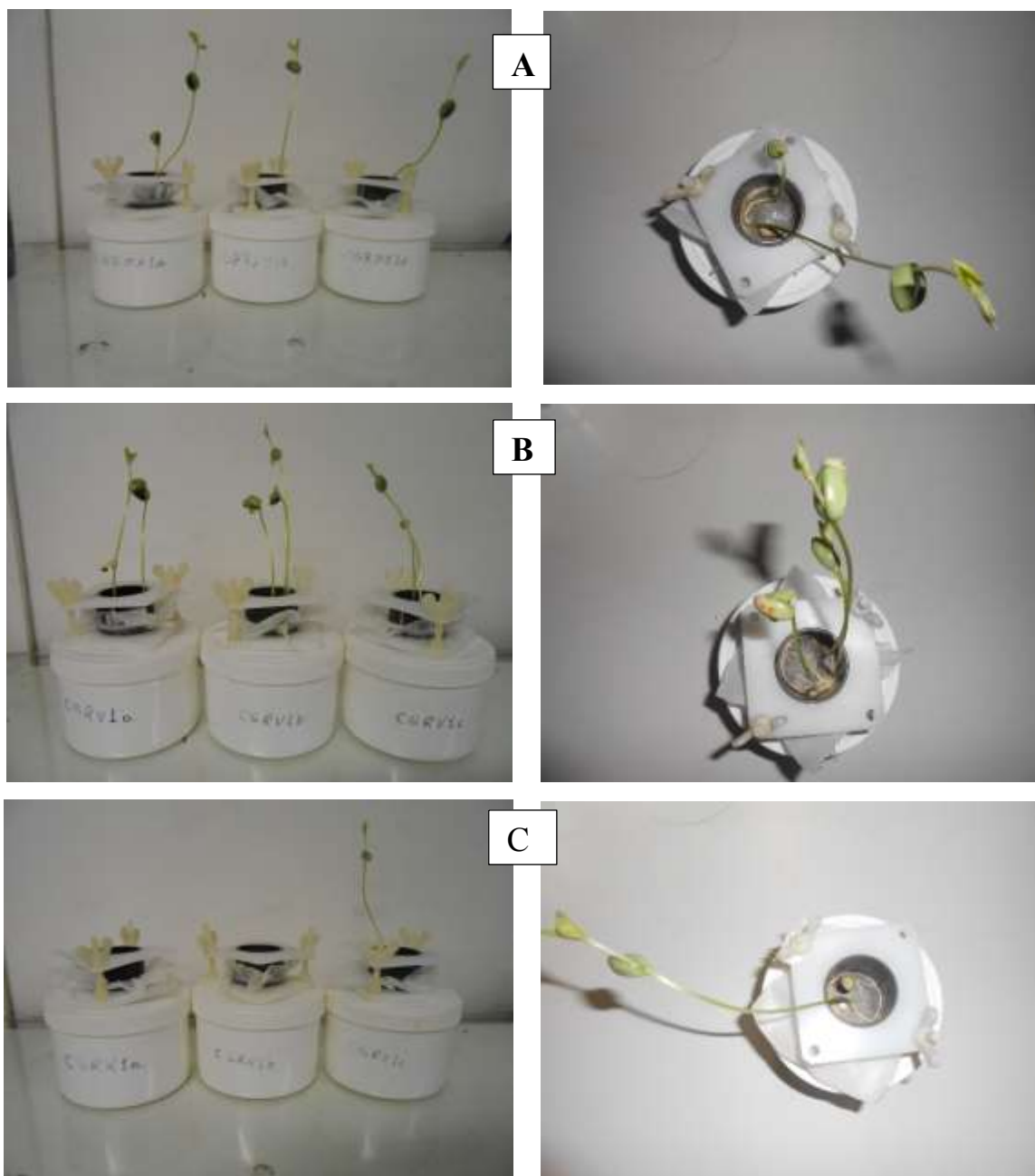


Figura 5: Desenvolvimento das plântulas de soja em rizotrons com diferentes substratos. Na coluna da esquerda os diferentes tratamentos e a direita do respectivo tratamento detalhes do desenvolvimento radicular no interior do rizotrons sobre a superfície de nylon. (A) Micaxisto (B) Verdinho (C) Kamafugito.

6.2.1 Avaliação das plântulas de soja – parte aérea e raízes - cultivadas em rizotrons

O desenvolvimento das plântulas se deu por 21 dias momento em que foram retiradas para mensuração do sistema radicular. As partes aéreas e as raízes foram secas em estufa com circulação de ar durante 72 horas a 60°C, possibilitando quantificar a massa seca em gramas.

A massa seca em gramas da parte aérea e das raízes Figura 6 demonstra que as plântulas apresentaram comportamentos distintos no ensaio em triplicata para as 3 rochas. Algumas plântulas, no mesmo substrato, desenvolveram mais raízes, e pouca parte aérea. Outras, ao contrário, desenvolveram mais parte aérea e poucas raízes. As médias e desvios padrões apresentados na Figura 6 demonstram o comportamento diferenciado no desenvolvimento de massa seca de raízes e na massa seca da parte aérea entre as repetições e entre os ensaios (triplicata).

As rochas Verdinho, Micaxisto e Kamafugito tenderam à maior produção de matéria seca vegetal aérea. No caso da massa seca de raízes o Micaxisto e o Verdinho superaram a rocha Kamafugito.

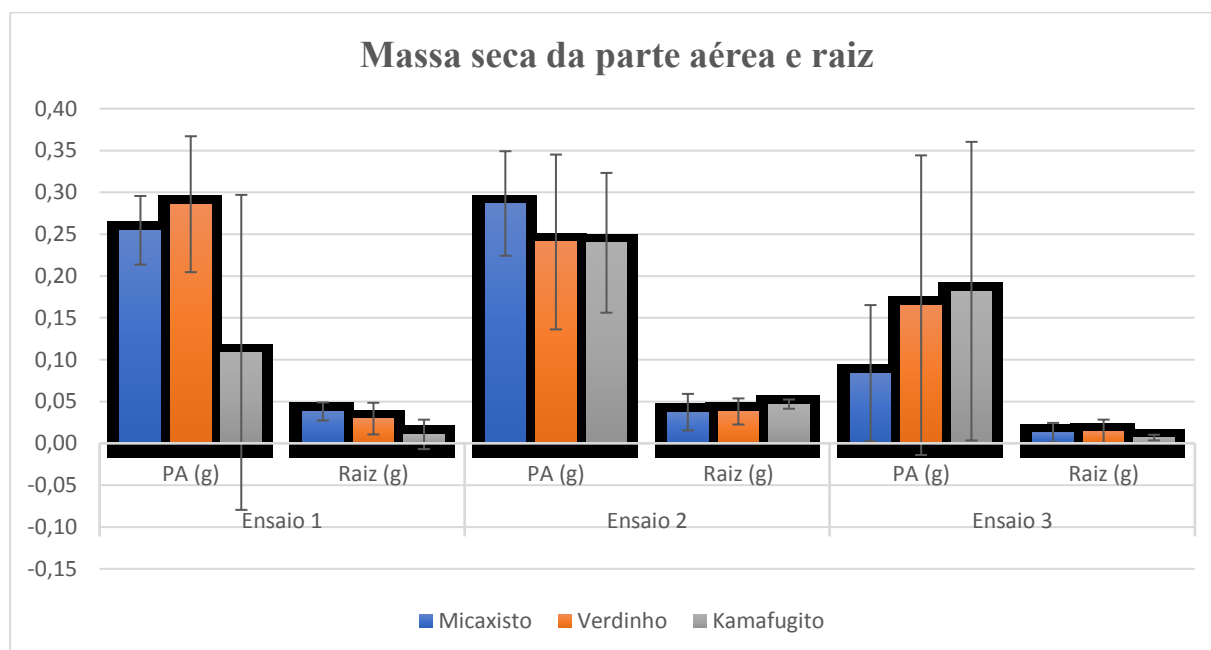


Figura 6: Gráfico de média e desvio padrão da massa seca da parte aérea e das raízes da soja cultivada em rizotron durante 21 dias em contato indireto com as rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito.

Apesar do contato indireto do sistema radicular da soja com os substratos (pó das rochas), o comprimento de raízes em alguns tratamentos superou 2 metros em plantas de soja nos tratamentos Micaxisto, Verdinho e Kamafugito. No entanto, este resultado não foi

semelhante para as mesmas rochas no mesmo ensaio nem entre os ensaios em triplicata conforme observado pelos desvios padrões na Figura 7.

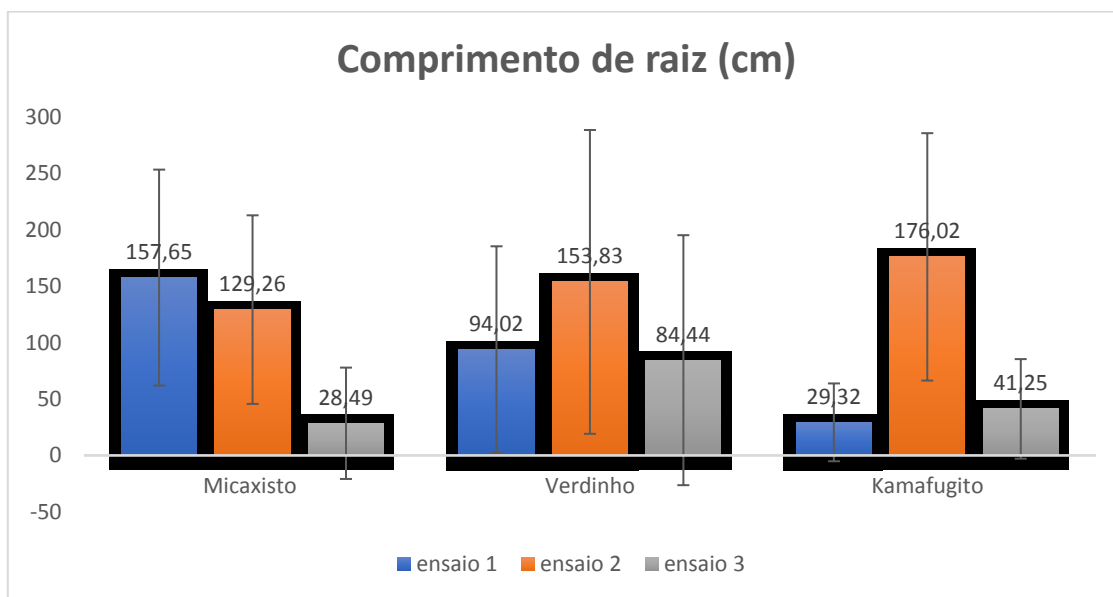


Figura 7: Média e desvio padrão do comprimento de raízes (cm) de plântulas de soja cultivados durante 21 dias em rizotrons com diferentes substratos.

A arquitetura do sistema radicular e sua distribuição no solo são componentes fundamentais na produtividade pois estão diretamente ligadas à absorção de água e nutrientes. Fatores químicos, físicos e biológicos interferem diretamente no crescimento da raiz principal, formação de raízes secundárias e terciárias, bem como pelos radiculares. O comportamento do desenvolvimento das raízes avaliados quanto à área total (cm²), área superficial (cm²), diâmetro total (mm), volume de raiz (cm³), cruzamentos, pontas e forquilhas e ainda comprimento (cm) de raiz em cada classe de diâmetro tanto para o mesmo substrato quanto para diferentes substratos estão apresentados na Figura 8 (A), (B), (C) e (D). E o comprimento (cm) de raiz em cada classe de diâmetro para cada rocha Figura 9 (A), (B), (C) e a média de cada rocha nos três ensaios (Figura 9 D).

O incremento da superfície específica da raiz se dá pela formação de raízes secundárias e terciárias aumentando o número de cruzamentos, forquilhas (garfos) e pontas. A absorção de água e nutrientes aumenta quanto maior a formação de pelos radiculares, com aumento da área de superfície rizosférica. Os resultados obtidos na caracterização do sistema radicular do ensaio em rizotrons permite observar além de os efeitos morfológicos da taxa de crescimento da raiz influenciada pelos diferentes substratos, possíveis efeitos de microrganismos. Vacheron *et al.*, 2014 identificaram a ação de rizobactérias, em mono e dicotiledôneas, nos mecanismos de produção de fito hormônios e na modificação morfológica e fisiológica do sistema radicular (Figura 11).

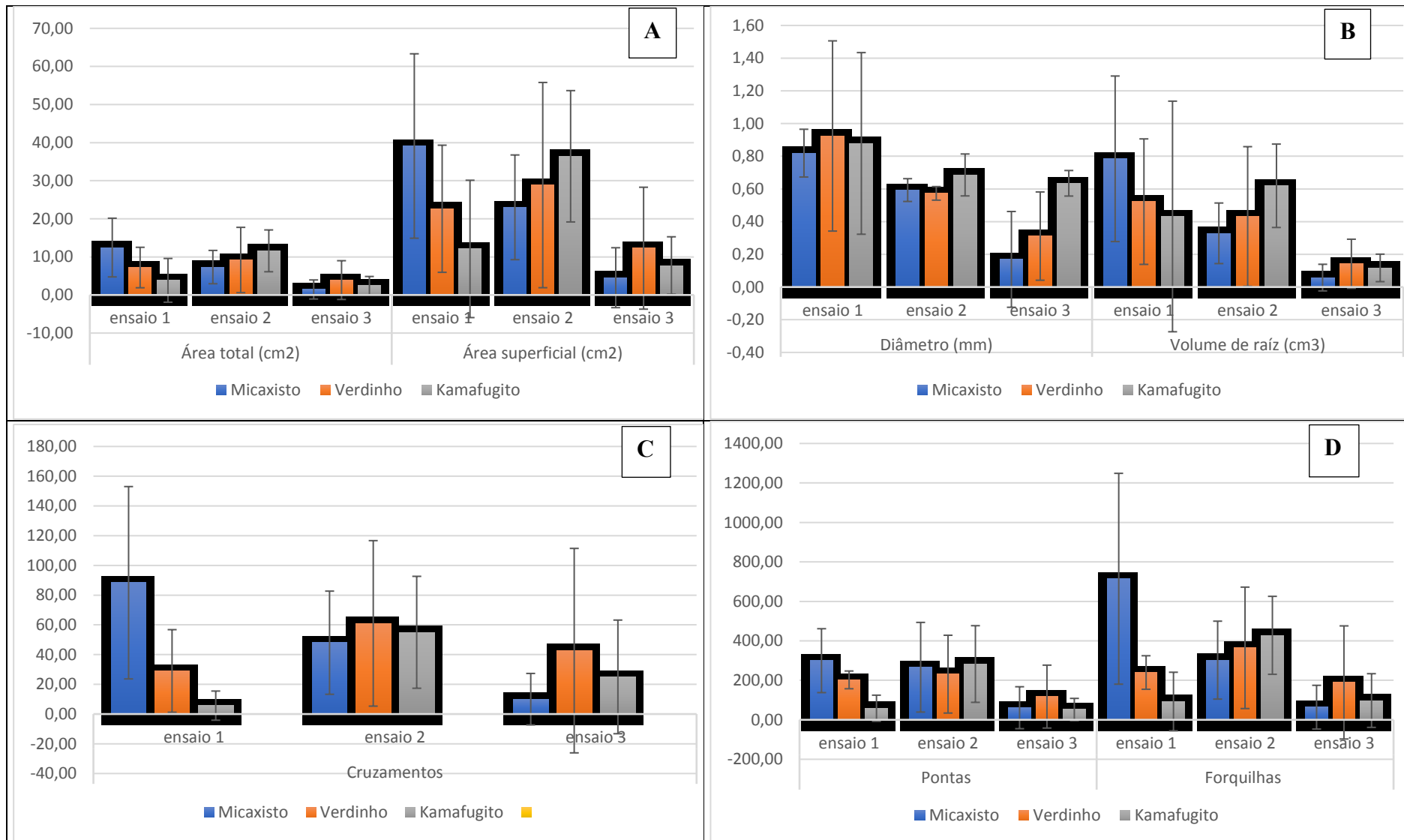


Figura 8: Comportamento estrutural das raízes das plântulas de soja cultivadas em rizotrons para diferentes substratos de rochas. (A) Médias da área total e área superficial. (B) Médias do diâmetro e volume de raiz. (C) Média dos cruzamentos. (D) Número médio de pontas e forquilhas.

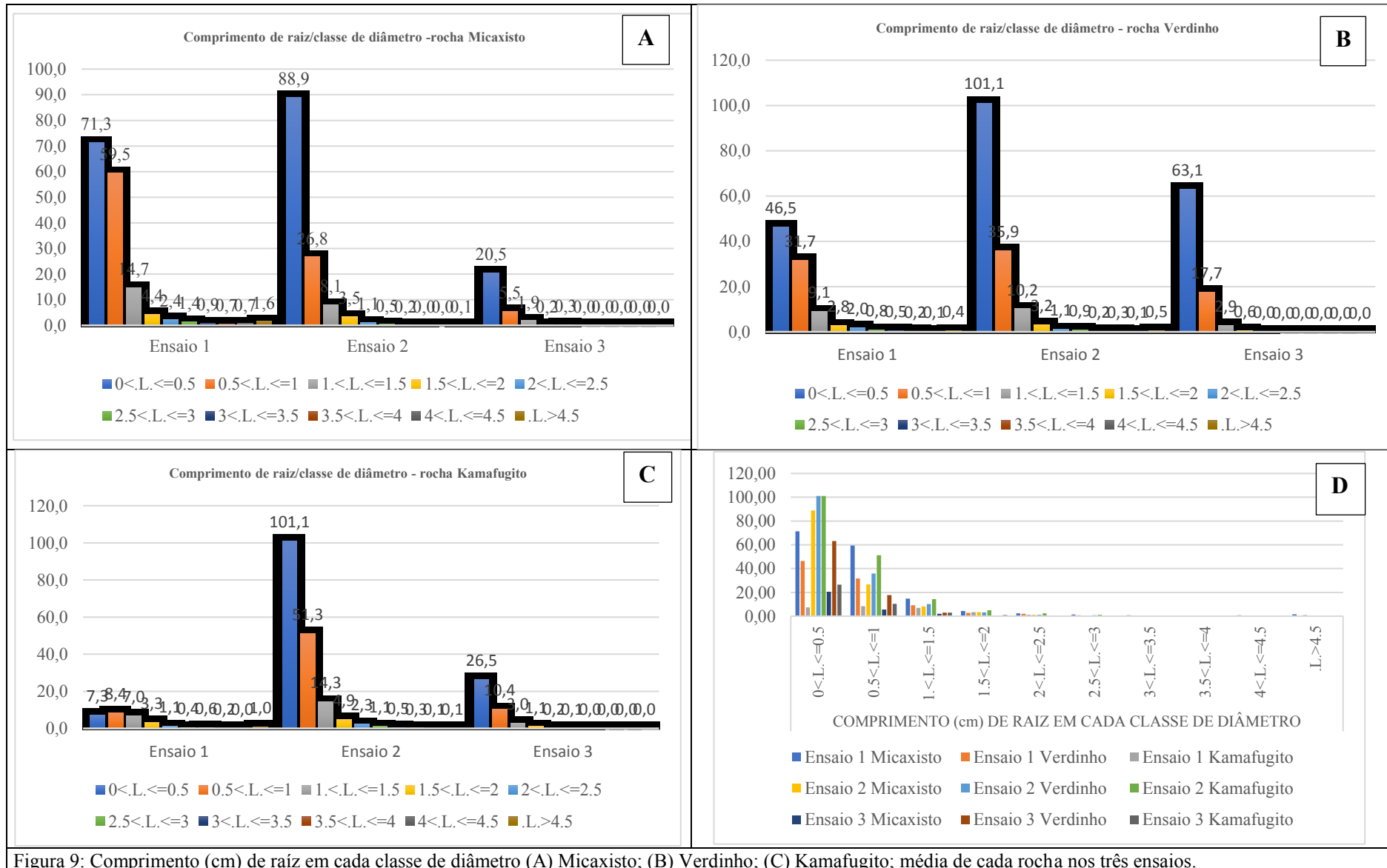


Figura 9: Comprimento (cm) de raiz em cada classe de diâmetro (A) Micaxisto; (B) Verdinho; (C) Kamafugito; média de cada rocha nos três ensaios.

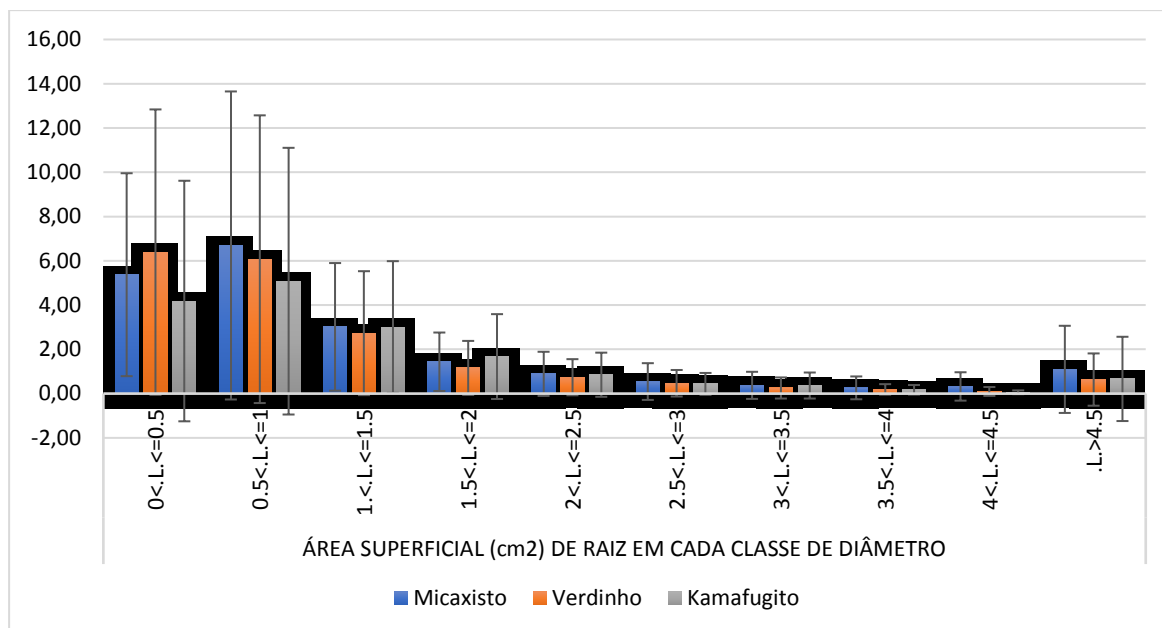


Figura 10: Área superficial específica da raiz para cada classe de diâmetro. Médias das três rochas para os três ensaios.

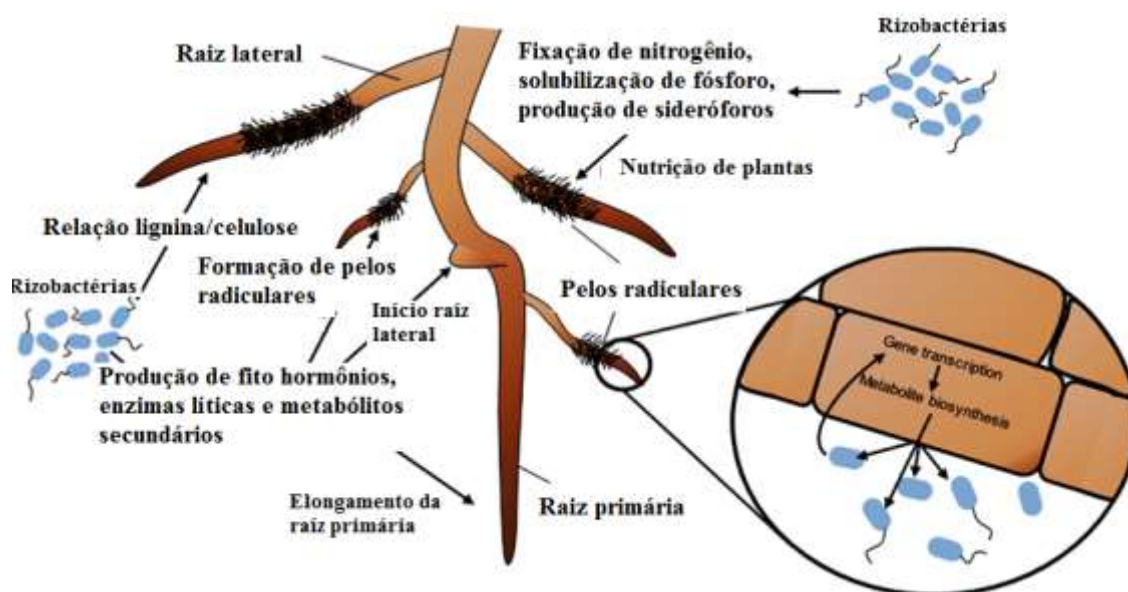


Figura 11: Impacto de Rizobactérias na aquisição de nutrientes e função da rizosfera. Vacheron et al., 2014.

Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M. L., Touraine, B., & Prigent-Combaret, C. (2014). Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Ecophysiology of root systems-environment interaction*, 166.

6.2.2 Caracterização das modificações minerais em contato indireto com sistema radicular

Com auxílio do MEV- EDS foram visualizadas modificações micrométricas na superfície dos minerais das rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito, 21 dias após a germinação da soja (Figura 12). Foi possível verificar ainda a composição química da superfície e modificações na morfologia da superfície de alguns minerais.

6.3 Ensaio de lixiviação

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a composição química da água lixiviada de três solos e três rochas e suas misturas sob efeito da rizosfera da cultura da soja. Os tratamentos estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Discriminação dos tratamentos

		Bauru		Montividiu		Serra Geral	
		<i>in natura</i> com soja	<i>in natura</i> sem soja	<i>in natura</i> com soja	<i>in natura</i> sem soja	<i>in natura</i> com soja	<i>in natura</i> sem soja
Micaxisto	<i>in natura</i> com soja	BMX com soja		MMX com soja		SGMX com soja	
	<i>in natura</i> sem soja	BMX sem soja		MMX sem soja		SGMX sem soja	
Verdinho	<i>in natura</i> com soja	BV com soja		MV com soja		SGV com soja	
	<i>in natura</i> sem soja	BV sem soja		MV sem soja		SGV sem soja	
Kamafugito	<i>in natura</i> com soja	BK com soja		MK com soja		SGK com soja	
	<i>in natura</i> sem soja	BK sem soja		MK sem soja		SGK sem soja	

O ensaio de lixiviação foi montado em 3 de fevereiro de 2017 conforme Figura 13. Os materiais utilizados foram:

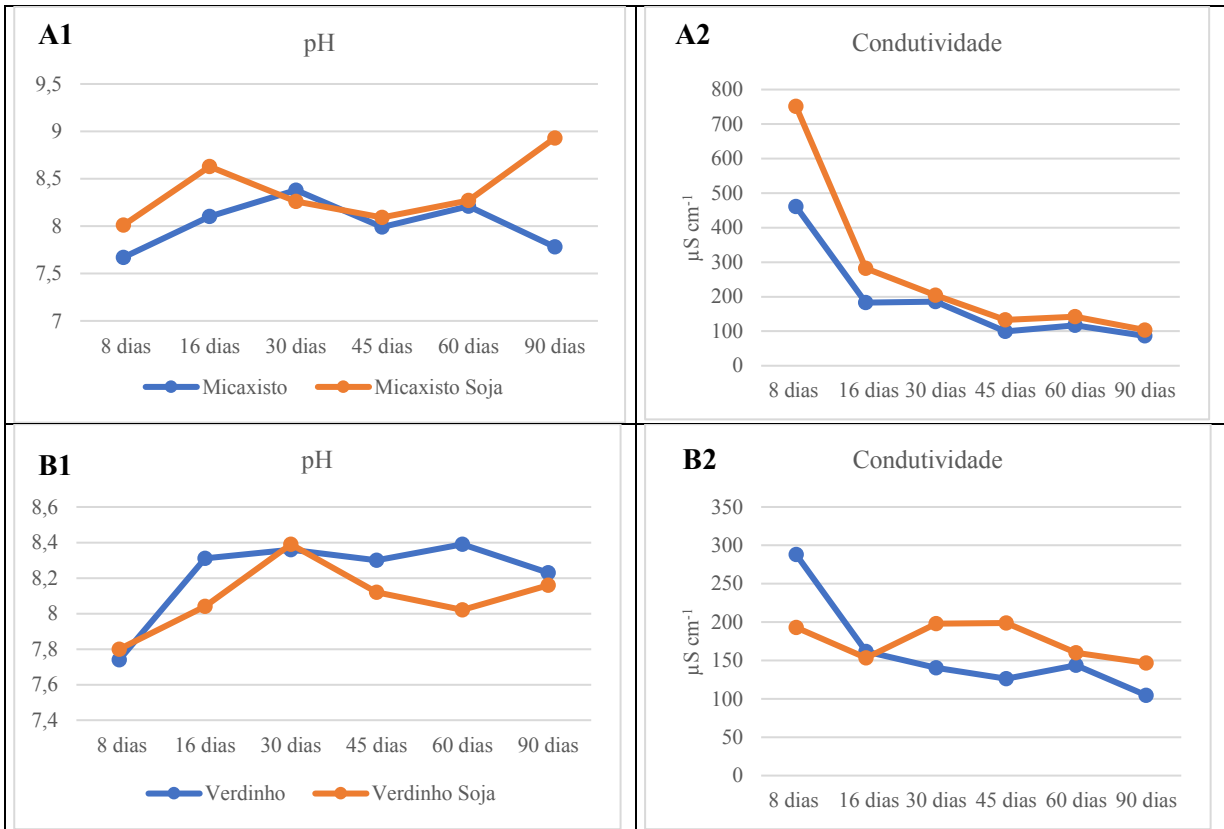
- Garrafas PET;
- Equipo (mangueira e dosador para soro);
- Vasos;
- Porta coador de café;
- Papel filtro para coar café;
- Tecido de Nylon;
- Vidros

As avaliações do pH, Condutividade foram realizadas no momento da coleta de água lixiviação no intervalo de 8 dias, 16 dias, 30 dias, 45 dias, 60 dias e 90 dias após a implantação do ensaio e os resultados para as rochas com e sem cultivo de soja estão apresentados na Figura 14. Análises de cátions e ânions foram realizadas no Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências da UnB.

Os dados compilados estão em preparação de artigo 4 (não apresentado).



Figura 13: Vista geral do ensaio de Lixiviação.



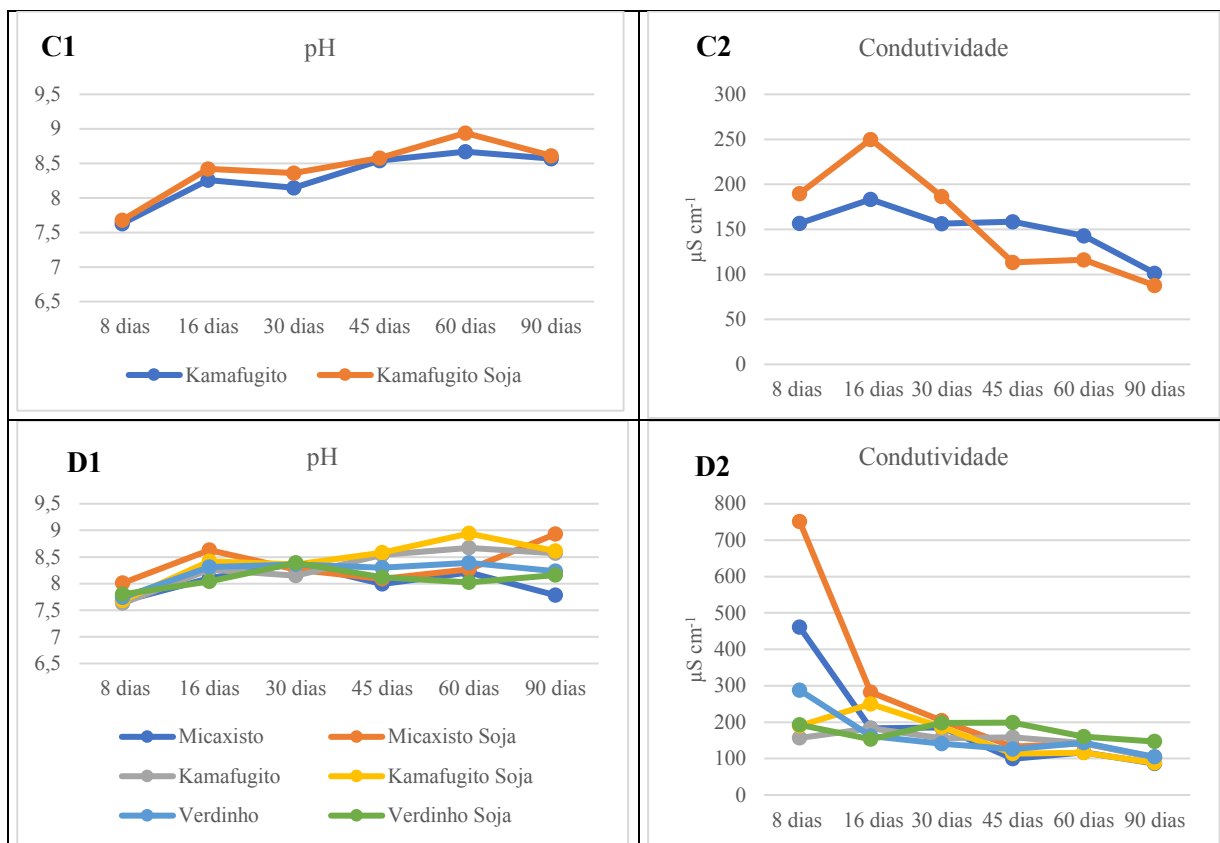


Figura 14: Gráficos do pH e da Condutividade da água lixiviada. Micaxisto A1 (pH) e A2 (Condutividade); Verdinho B1 (pH) e B2 (Condutividade); Kamafugito C1 (pH) e C2 (Condutividade) e comparativo entre as três rochas D1(pH) e D2 (Condutividade).

CAPÍTULO 7

7.1 Considerações e implicações

A utilização de rochas moídas *in natura* no manejo da fertilidade do solo pode ser considerada uma tecnologia de adequação de conhecimentos. Não basta apenas caracterizar as rochas, solos e plantas. É necessário compreender e identificar o papel de cada rocha, cada solo e cada planta na interação de suas características. Considerando a diversidade geológica, climática e biológica do Brasil a adequação da tecnologia aos diferentes ambientes abre inúmeros campos de pesquisa.

No caso da região sudoeste do estado de Goiás, onde a atividade agrícola é intensa, predominam Latossolos. A produção de grãos e fibras nestes solos carece da adição de calcários e fertilizantes, especialmente os macronutrientes potássio e fósforo, necessários ao desenvolvimento da cultura e máxima expressão genética produtiva. Na região também ocorrem rochas alcalinas com teor de K_2O acima de 2 % e P_2O_5 0,51 %. De imediato, o raciocínio agrônomo faz a ligação direta entre a necessidade das culturas e a quantidade de potássio a ser aplicada, como se tratando de fonte solúvel.

Para entender a dinâmica do fornecimento de P e K, para as culturas, análises das rochas pelo método de extração de íons na solução (padrão solo) podem fornecer informações iniciais da disponibilidade de elementos essenciais que entrarão em contato direto com as raízes.

Por exemplo, o teor do elemento fósforo extraído (Mehlich 1) das rochas *in natura* e liberado para a solução, teoricamente disponível para a rizosfera das plantas, foi: no Micaxisto: $363,5 \text{ mg dm}^{-3}$, Verdinho: $68,4 \text{ mg dm}^{-3}$ e Kamafugito: $464,5 \text{ mg dm}^{-3}$. Quando analisado pelo método de Fluorescência de raios-X os resultados são fornecidos em porcentagem do elemento em óxido (molécula P_2O_5), assim, a rocha Micaxisto é constituída de 0,19 % de P_2O_5 , Verdinho 0,81 % e Kamafugito 0,51 %. Difrátogramas de raios-X não mostraram minerais constituídos de P em nenhuma rocha. Análises petrográficas indicam apatita como mineral acessório apenas na rocha Micaxisto. Quando analisados por MEV-EDS, observou-se minerais e partículas constituídas de fósforo na superfície das raízes do milho e da soja, cultivados em solos com adição das três rochas.

O potássio (em % de K_2O , analisado por FRX) constitui 3,60 % da rocha Micaxisto, 2,57 % do Verdinho e 2,26 % do Kamafugito. No entanto, quando analisada a solução pelo extrator Mehlich 1, os teores no Micaxisto, Verdinho e Kamafugito são respectivamente 1,64, 0,46 e $2,55 \text{ cmol dm}^{-3}$. Análises petrográficas e difratometria de raios-X indicam minerais constituídos de K em todas as rochas. As imagens micrométricas mostraram especialmente palhetas de mica e partículas constituídas de K associadas à rizosfera e ao rizoplano, possibilitando contato direto entre a fonte de K e o sistema radicular.

Convencionalmente, as pesquisas da fertilidade do solo visam entender a movimentação dos elementos na solução do solo pela adição de fertilizantes prontamente solúveis. Segundo Sousa et al. (2016), a movimentação do P em direção à superfície das raízes se dá predominantemente por difusão e o fluxo de massa contribui muito pouco para o suprimento deste nutriente às raízes. A proporção de K transportado para as raízes por difusão no solo, com a adição de KCl, decresce com o esgotamento do nutriente na rizosfera, de modo que uma grande concentração radicular leva a esgotamento mais rápido do K solo na vizinhança das raízes (Silva e Lazarini, 2014).

Este trabalho mostrou a interceptação, ou seja, o contato direto das raízes e micróbios associados com os minerais e partículas constituídas de fósforo e potássio. Além das interações diretas entre superfícies de raízes e minerais, os microorganismos podem habitar interfaces líquido-sólido, líquido-gás e ainda se movimentarem no ambiente em busca de alimento. O movimento de um organismo para perto ou para longe de um estímulo é denominado “taxia”. No caso do sistema rizosférico, raízes e micróbios crescem em direção à uma fonte nutricional no processo denominado quimiotaxia. Destaca-se então, a importância de estudos relativos ao desenvolvimento do sistema radicular (Costa et al., 2009) na absorção de nutrientes pelas plantas na tecnologia da rochagem.

7.2 Conclusões

Conclusões parciais estão apresentadas nos artigos 1, 2 e 3. Além dessas, cabe destacar:

i. através da técnica de Difractometria de raios-X:

Os solos mostram composição mineral semelhante, variando as proporções de cada mineral em função do material de origem.

Há variação na proporção de cada mineral na amostra total e na fração argila. Estes dados podem ser utilizados como parâmetro indicativo do estágio de intemperismo.

Para fins de tratamentos estatísticos, os valores de intensidades das reflexões devem ser transformados em porcentagens. Esta transformação foi realizada pela normalização a 100% da soma das reflexões selecionadas, obtendo-se a porcentagem da intensidade para cada mineral. Estes valores permitem comparar variações entre as diferentes amostras e correlacionar com atributos físico-químicos por análises estatísticas como no caso dos componentes principais.

As porcentagens de intensidade de reflexões características de cada mineral (obtidas no Programa JADE) indicadas em cada difratograma permitem comparação das variações dos constituintes entre os solos, as misturas iniciais e a rizosfera, tanto na amostra total, quanto fração argila. Estes percentuais não correspondem a análise quantitativa nem semi-quantitativa.

ii. imagens micromorfológicas (MEV/EDS) mostram:

O solo Serra Geral apresenta (visualmente) maior diversidade de microorganismos.

O solo Bauru evidencia o envolvimento dos fungos na dissolução de quartzo.

O cultivo de milho proporciona maior desenvolvimento de hifas que o cultivo da soja.

Os minerais da rocha Micaxisto mostram adesão nas raízes com mais frequência que Verdinho e Kamafugito.

A adição da rocha Kamafugito provoca maior diversidade de microorganismos.

iii. análise dos atributos químicos comparados em pares e por componentes principais dos solos e suas misturas (com cada rocha), cultivados com milho e soja, mostram que:

O solo Serra Geral apresenta mais dissemelhança entre os tratamentos (solo + rochas + cultivo), seguido do Montividiu e do Bauru.

Os tratamentos (solo + rocha) que mostram maior dissemelhança em comparação aos solos *in natura* são aqueles cultivados com milho e menor dissemelhança com soja.

O cultivo de milho, imediatamente após a mistura das rochas aos solos, potencializa o efeito da rocha.

A rocha que mostra maior dissemelhança entre os tratamentos é o Micaxisto seguido do Verdinho e do Kamafugito.

Os maiores teores de cálcio em solos cultivados com milho e soja foram observados pela adição da rocha Verdinho.

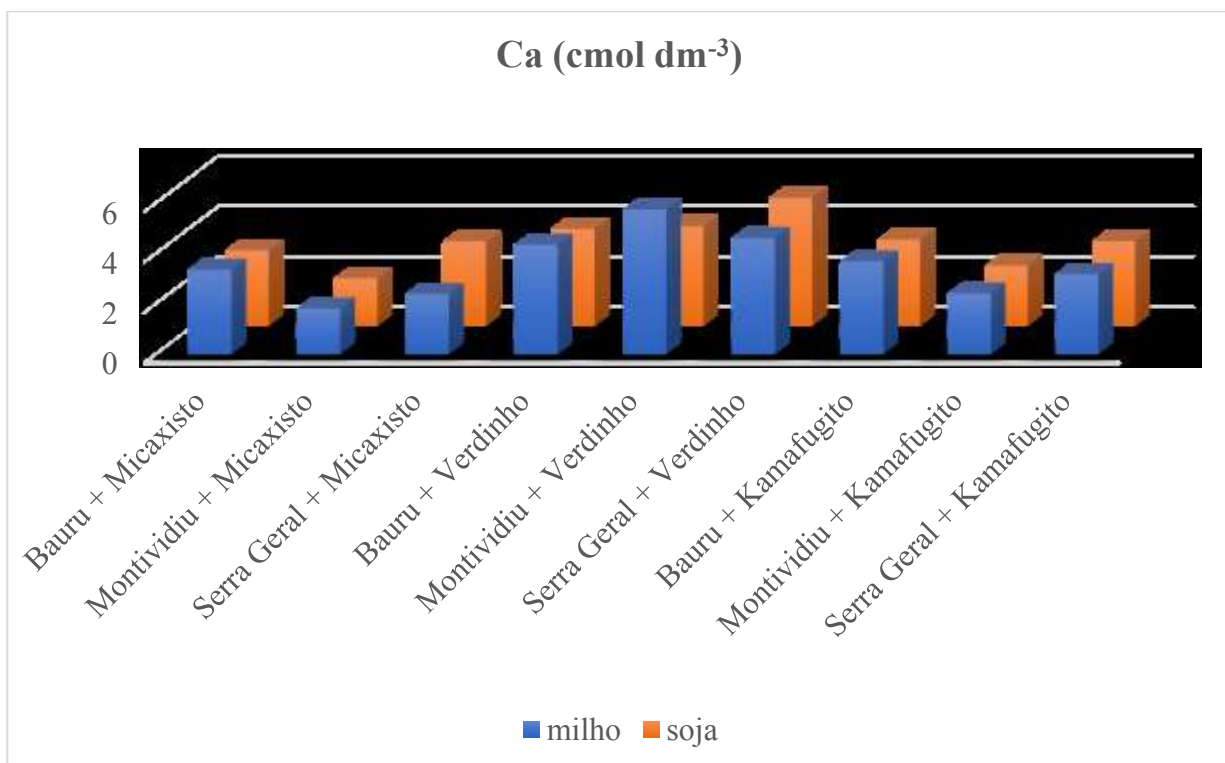


Figura 1: Teores de cálcio nos solos tratados com rochas e cultivados com milho e soja até o florescimento.

Os maiores teores de potássio em solos cultivados com milho e soja foram observados pela adição da rocha Micaxisto.

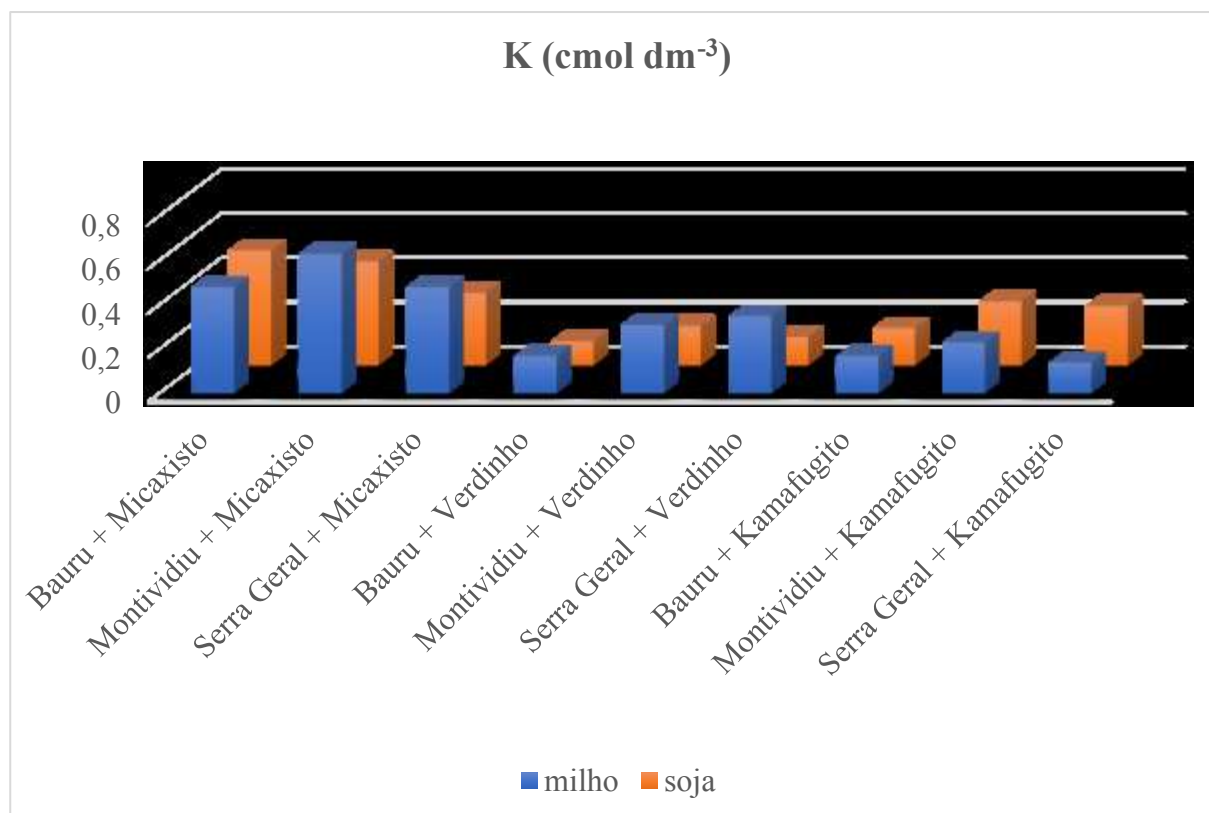


Figura 2: Teores de potássio nos solos tratados com rochas e cultivados com milho e soja até o florescimento.

7.3 Referências

Silva, A. F. D., & Lazarini, E. 2014. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. *Semina-ciências Agrárias*, 179-192. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n1p179.

Sousa, D. M. G. de; Nunes, R.N.; Rein, T. A.; Santos Junior, J. D. G. S. 2016. Manejo do Fósforo na Região do Cerrado. In: RILNER, A. F.; CUNHA, P. P. (Eds.) *Práticas de Manejo do Solo para Adequada Nutrição de Plantas no Cerrado*. Goiânia: UFG. p. 291-357.

Costa, S. E. V. G. D. A., Souza, E. D. D., Anghinoni, I., Flores, J. P. C., & Andrighetti, M. H. (2009). Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. *Revista brasileira de ciência do solo*. Viçosa. Vol. 33, n. 5 (set./out. 2009), p. 1291-1301.

Anexos

ANEXO I. Imagens obtidas por MEV/EDS

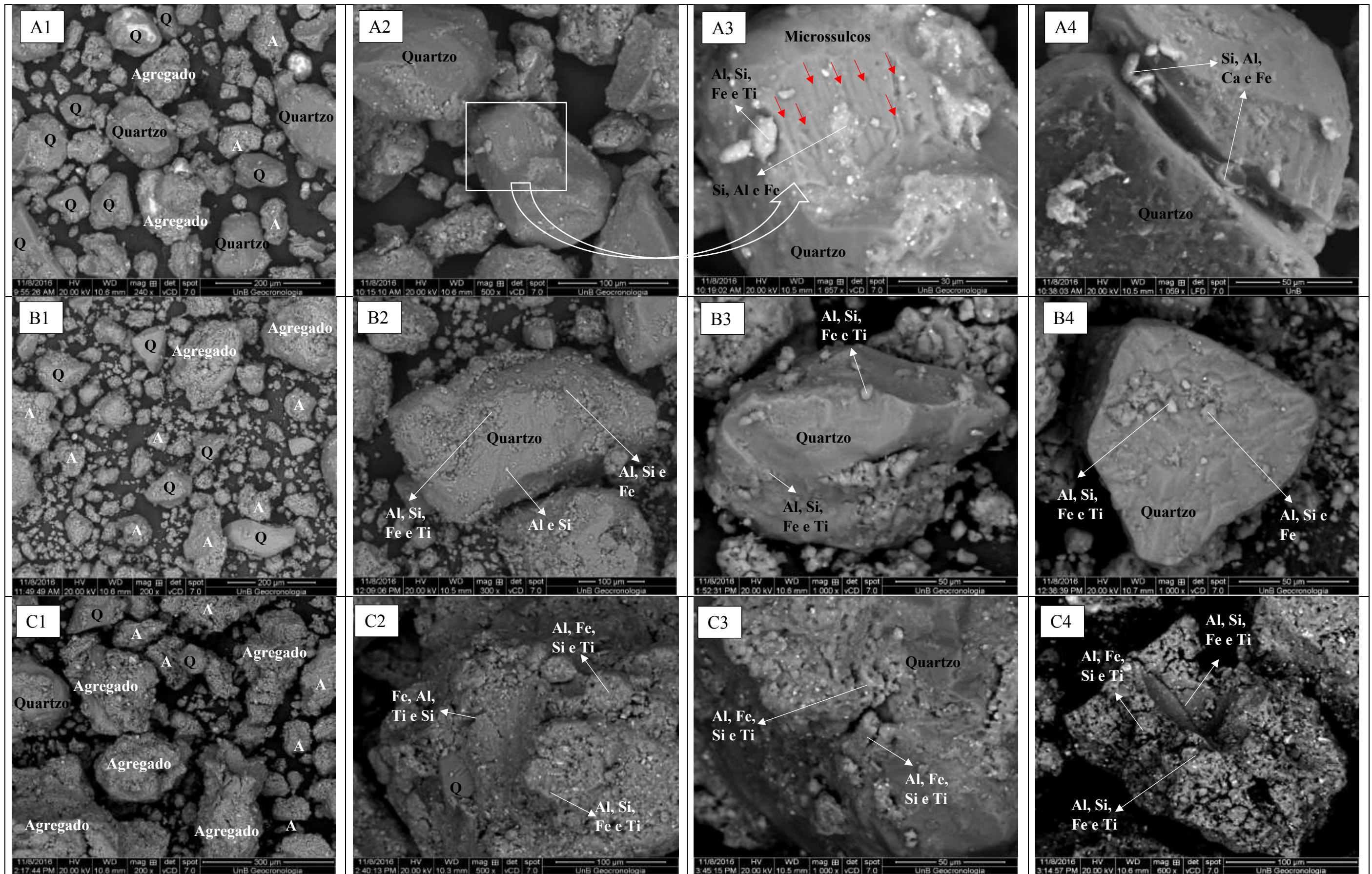


Figura 1: Imagens micro morfológicas dos constituintes minerais dos solos Bauru (A1, A2, A3 e A4) com predominância de grãos de quartzo em relação a fração mais fina, Montividiu (B1, B2, B3 e B4) com menor participação de grãos de quartzo e maior fração fina e Serra Geral (C1, C2, C3 e C4) com predomínio da fração fina em relação a fração areia.

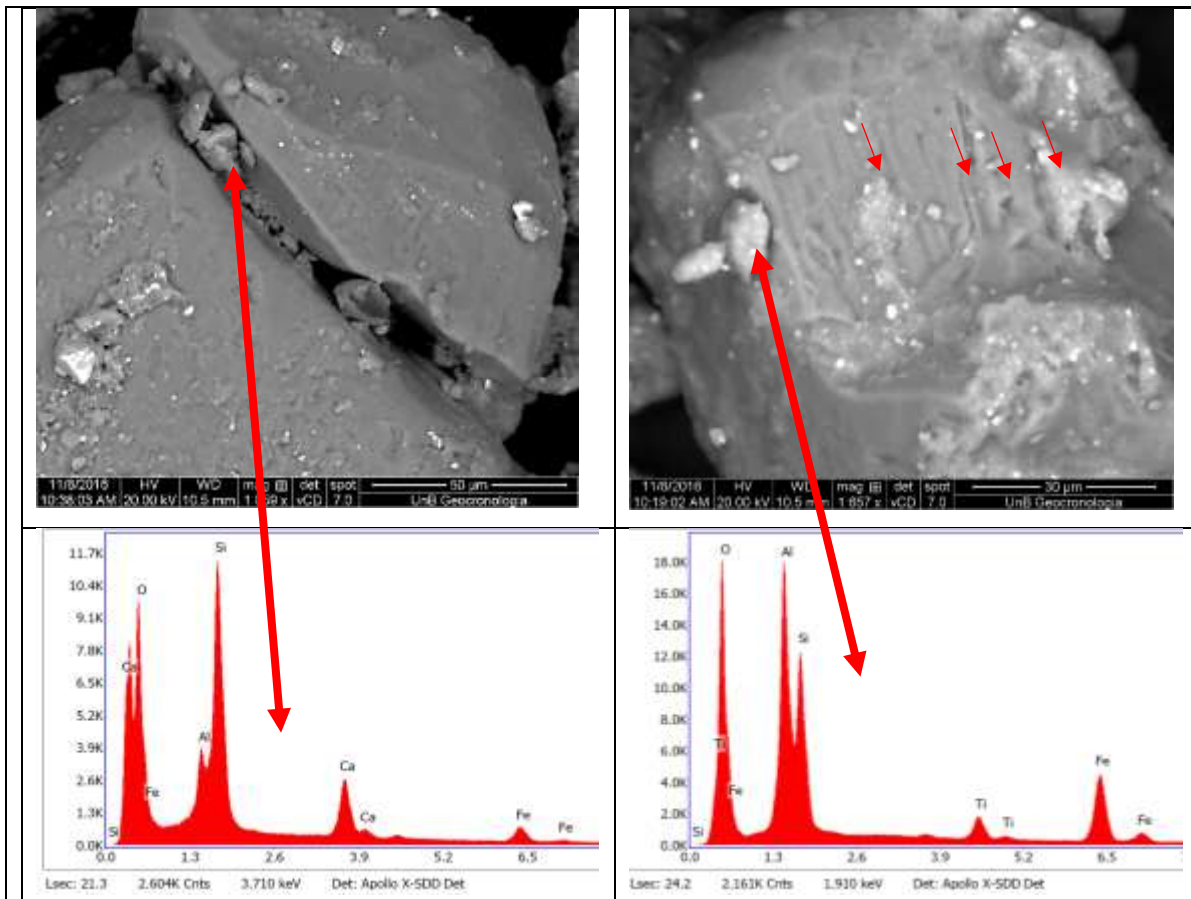


Figura 2: Micromorfologia do solo Bauru. (A) Cálcio na fratura do grão de quartzo. (B) Na superfície do quartzo microsulcos (setas em vermelho) demonstrando feições de dissolução.

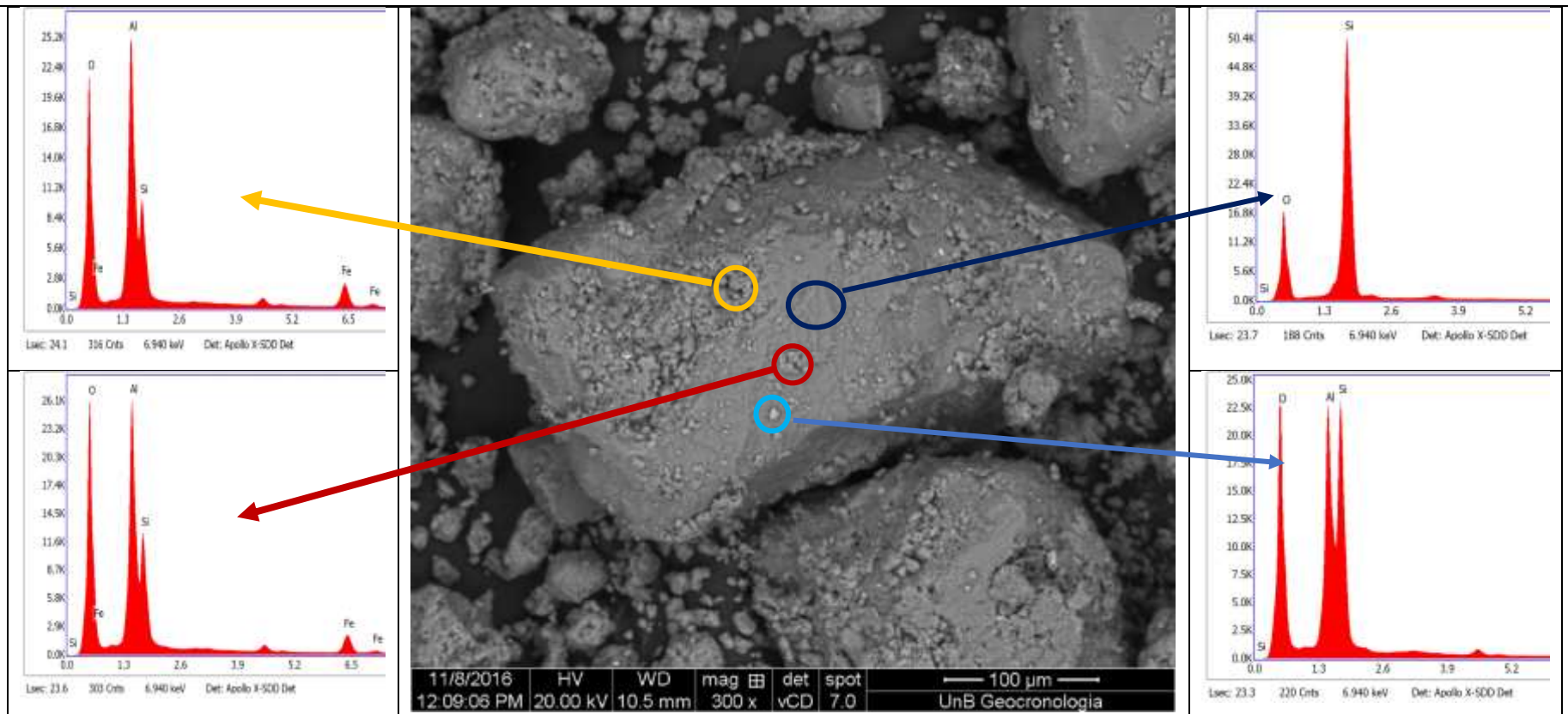


Figura 3: Micromorfologia do solo Montevideo. Na superfície do quartzo complexões de superfície (nucleação e crescimento) formando plasmas de argilominerais.

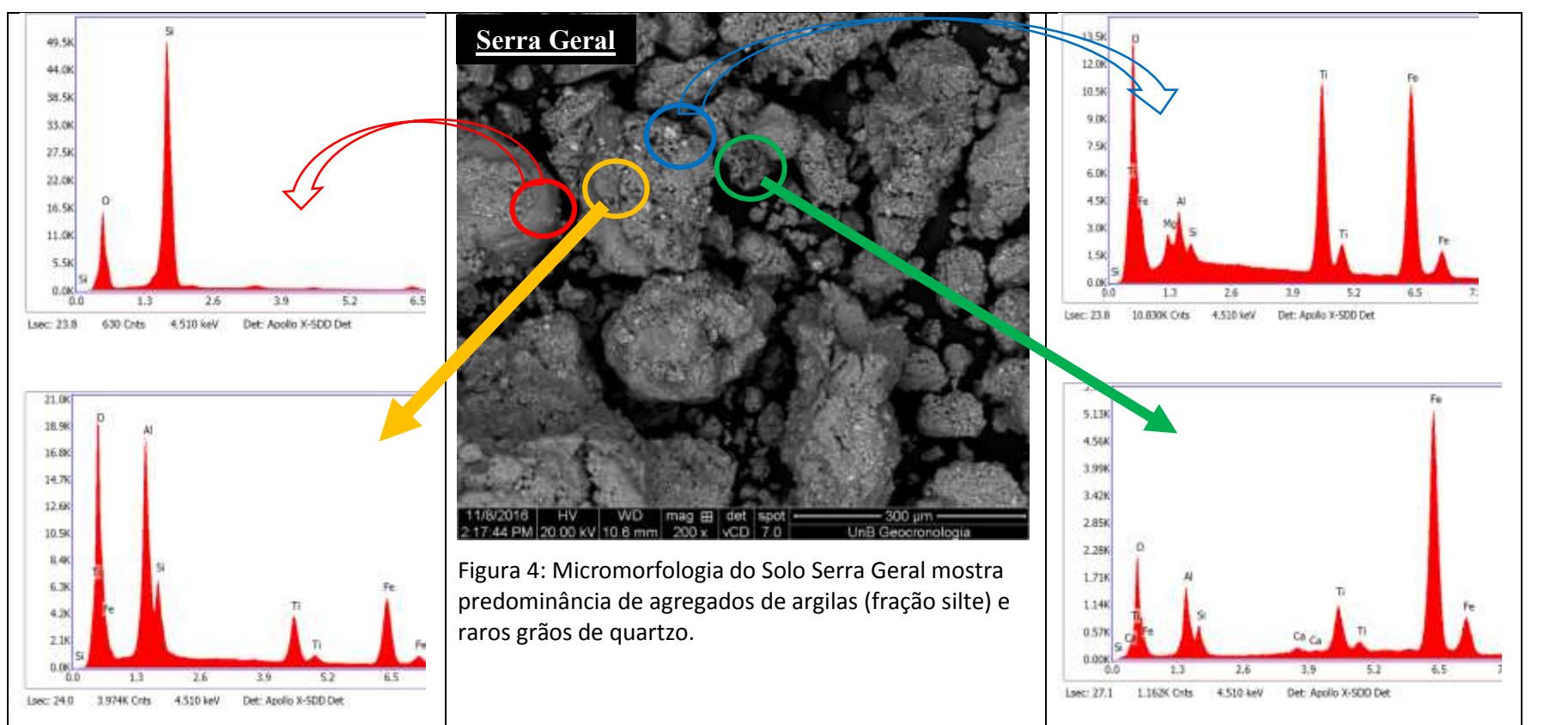


Figura 4: Micromorfologia do Solo Serra Geral mostra predominância de agregados de argilas (fração silte) e raros grãos de quartzo.

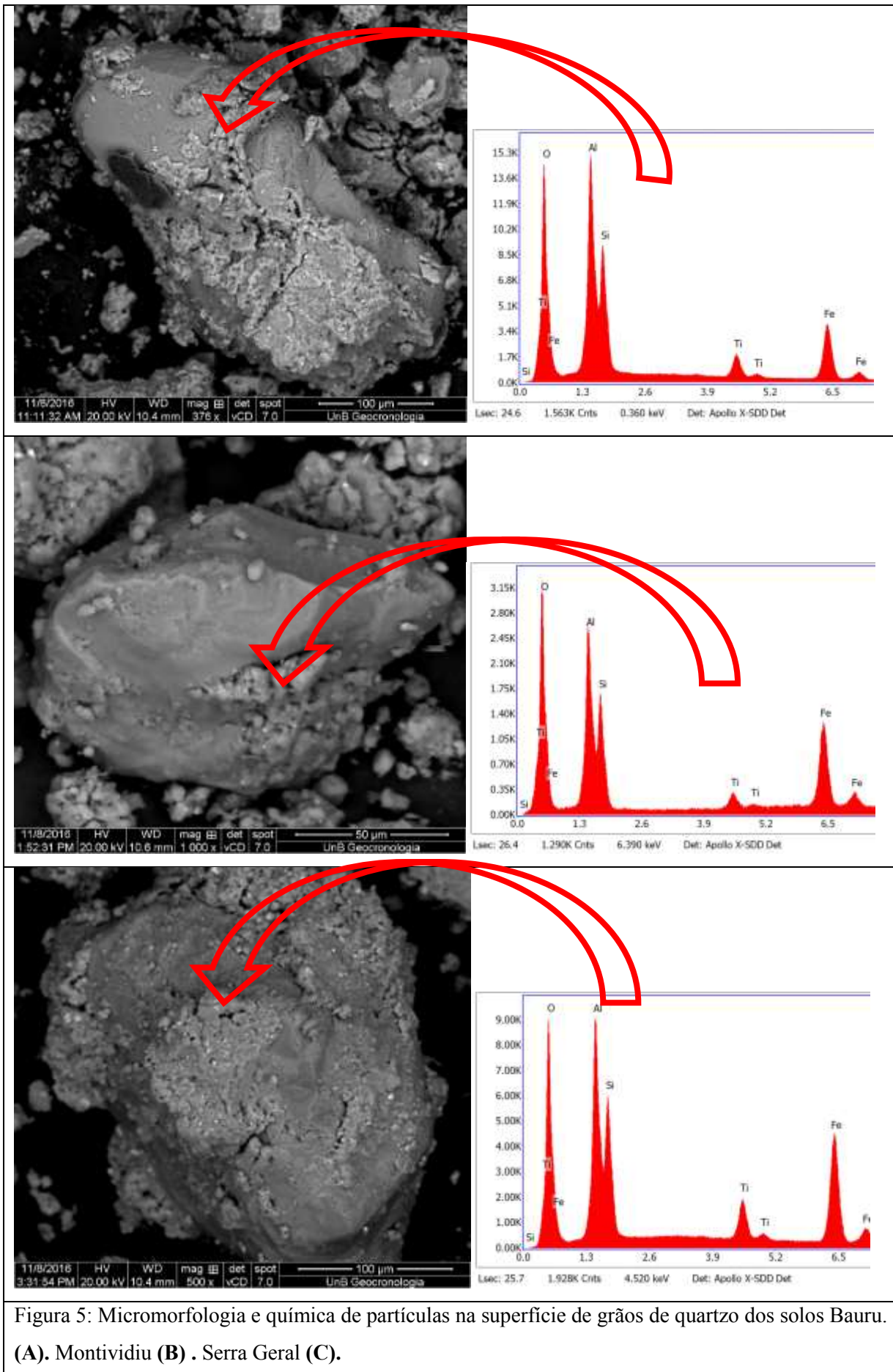


Figura 5: Micromorfologia e química de partículas na superfície de grãos de quartzo dos solos Bauru. (A). Montividiu (B) . Serra Geral (C).

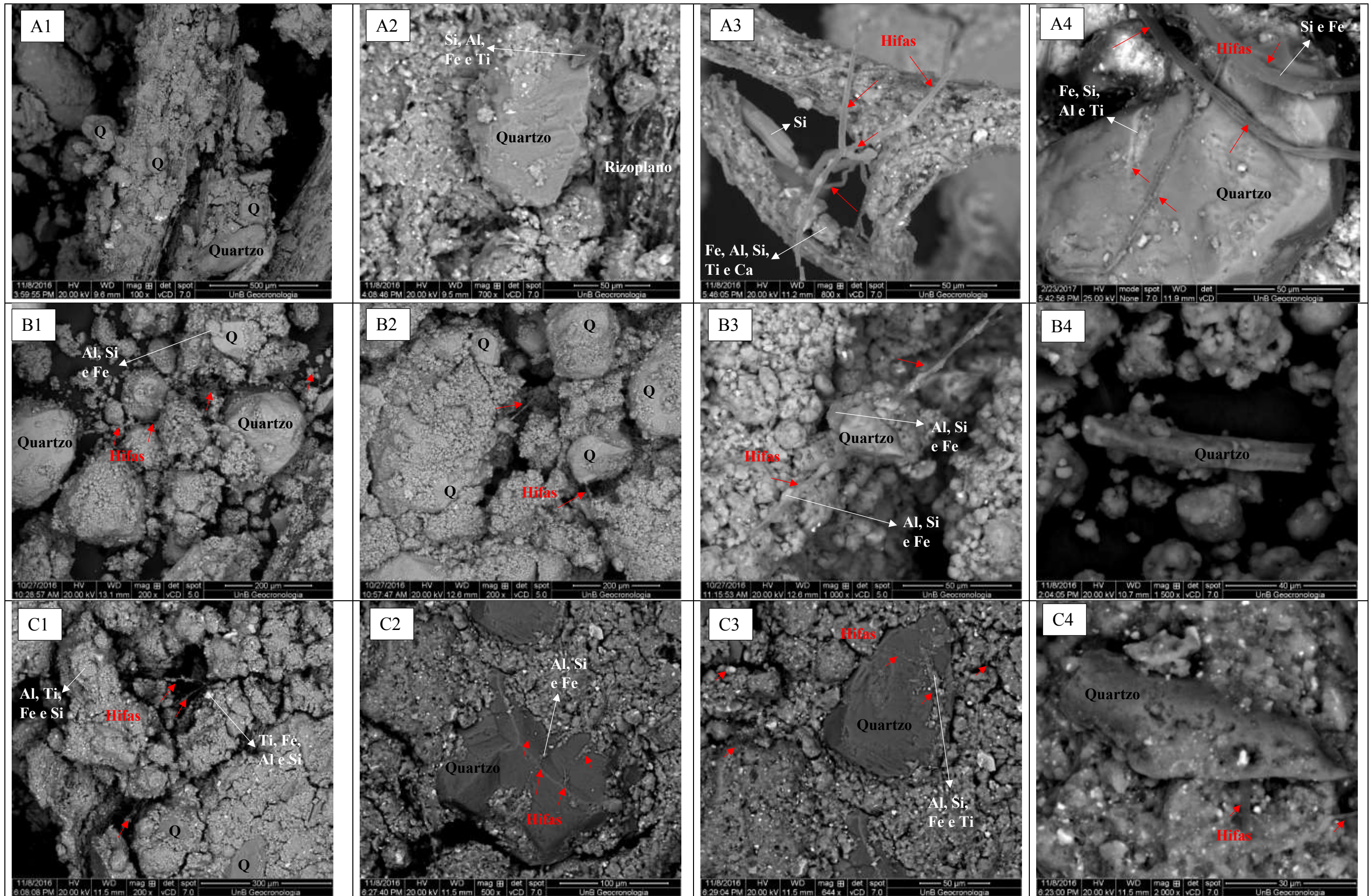


Figura 6: Imagens micro morfológicas dos constituintes minerais dos solos Bauru (A1, A2, A3 e A4), Montividiu (B1, B2, B3 e B4) e Serra Geral (C1, C2, C3 e C4) cultivado com milho.

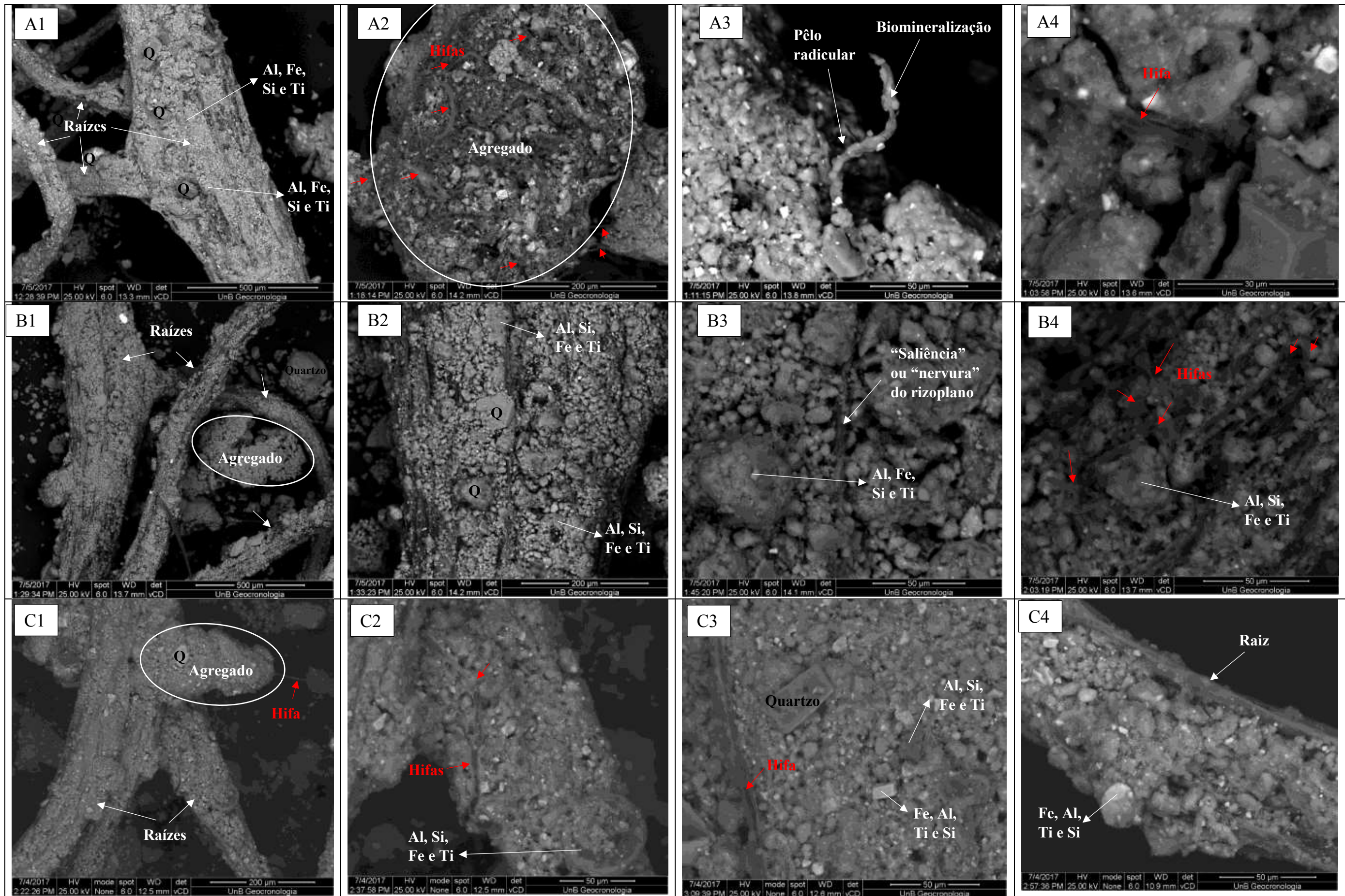


Figura 7: Imagens micro morfológicas dos constituintes minerais dos solos Bauru (A1, A2, A3 e A4), Montividiu (B1, B2, B3 e B4) e Serra Geral (C1, C2, C3 e C4) cultivado com soja.

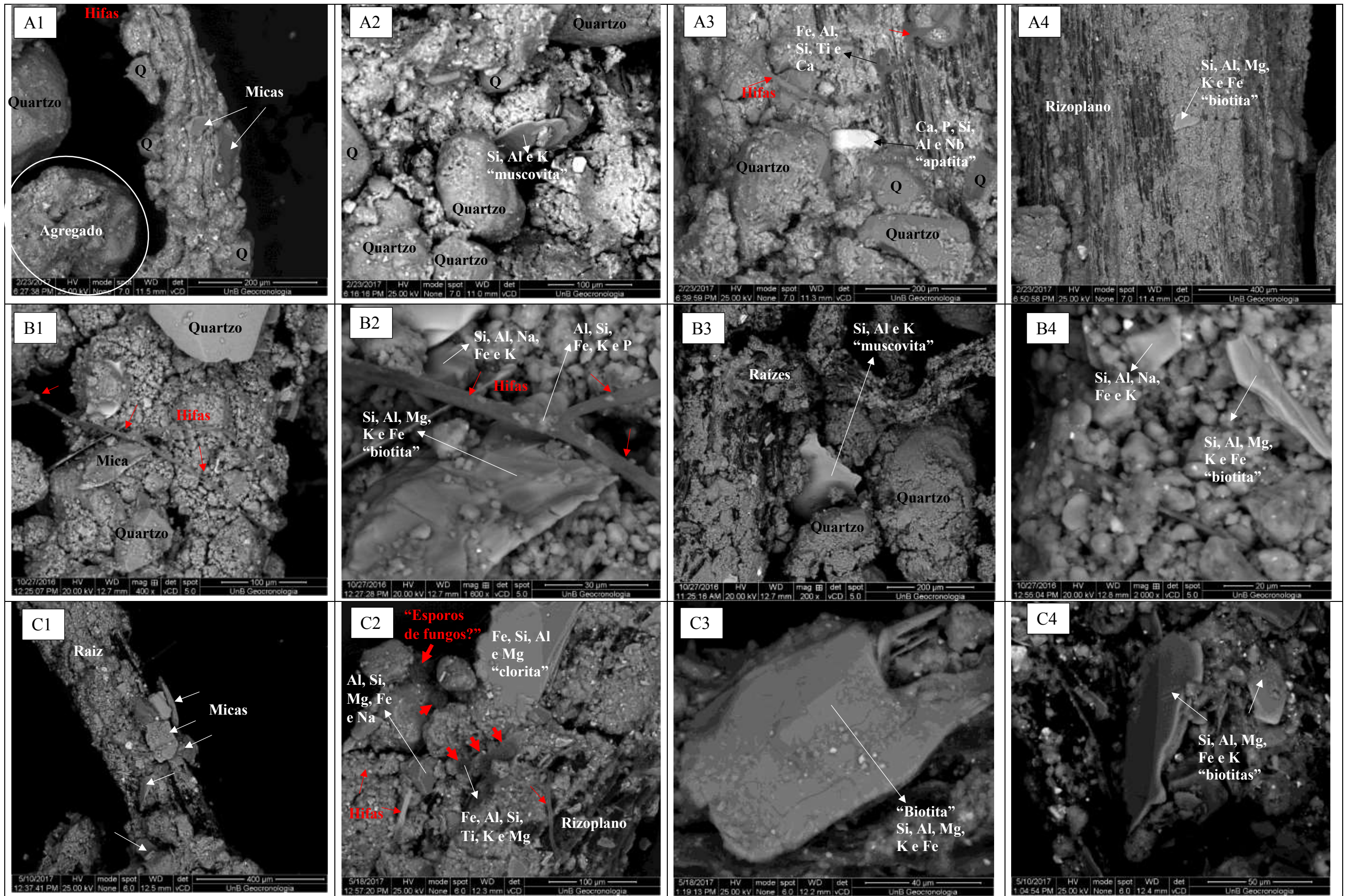


Figura 8: Imagens micromorfológicas dos constituintes minerais dos solos Bauru (A1, A2, A3 e A4), Montividiu (B1, B2, B3 e B4) e Serra Geral (C1, C2, C3 e C4) com adição da rocha Micaxisto cultivados com milho.

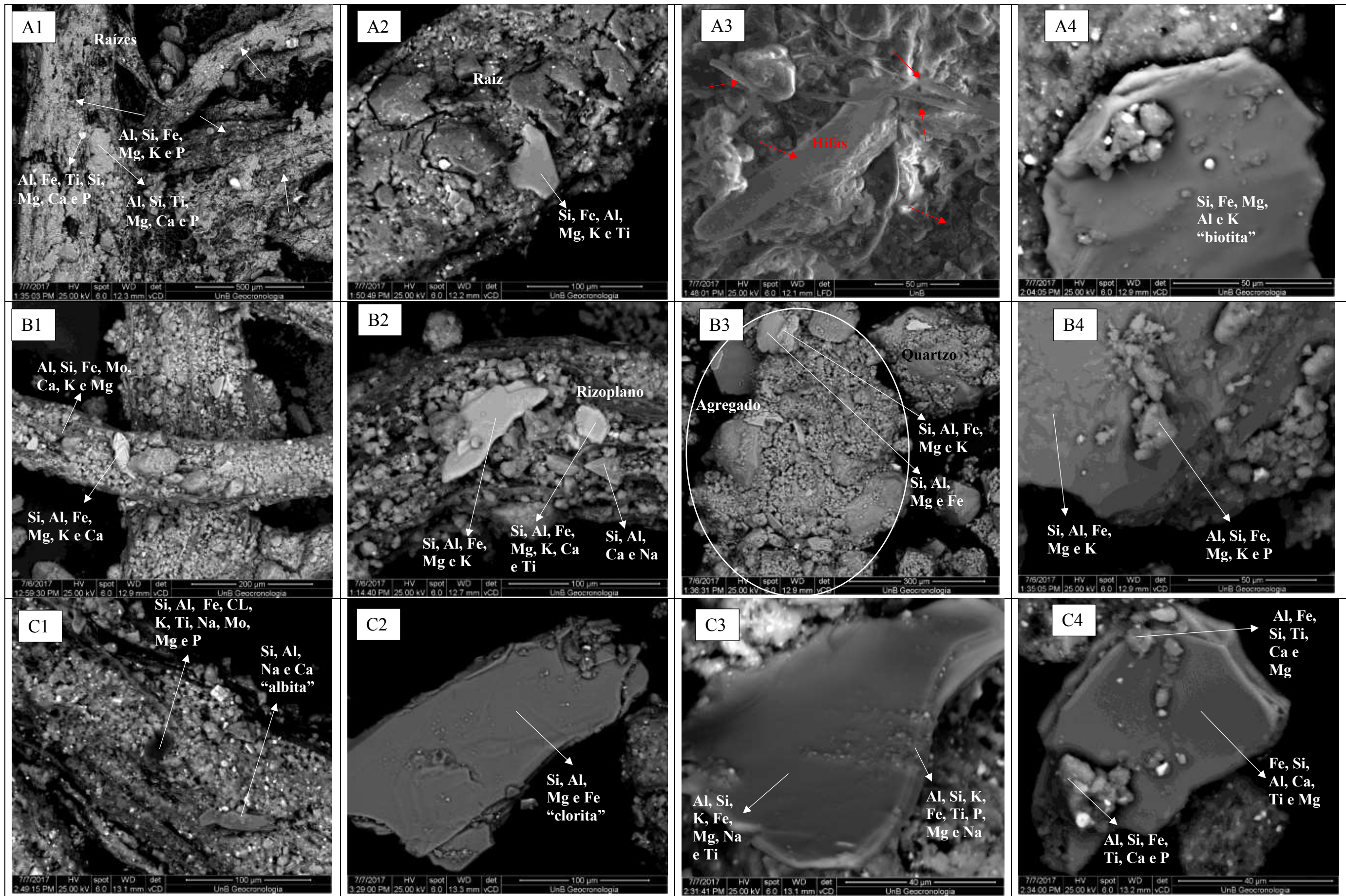


Figura 9: Imagens micromorfológicas dos constituintes minerais dos solos Bauru (A1, A2, A3 e A4), Montividiu (B1, B2, B3 e B4) e Serra Geral (C1, C2, C3 e C4) com adição da rocha Micaxisto cultivados com soja.

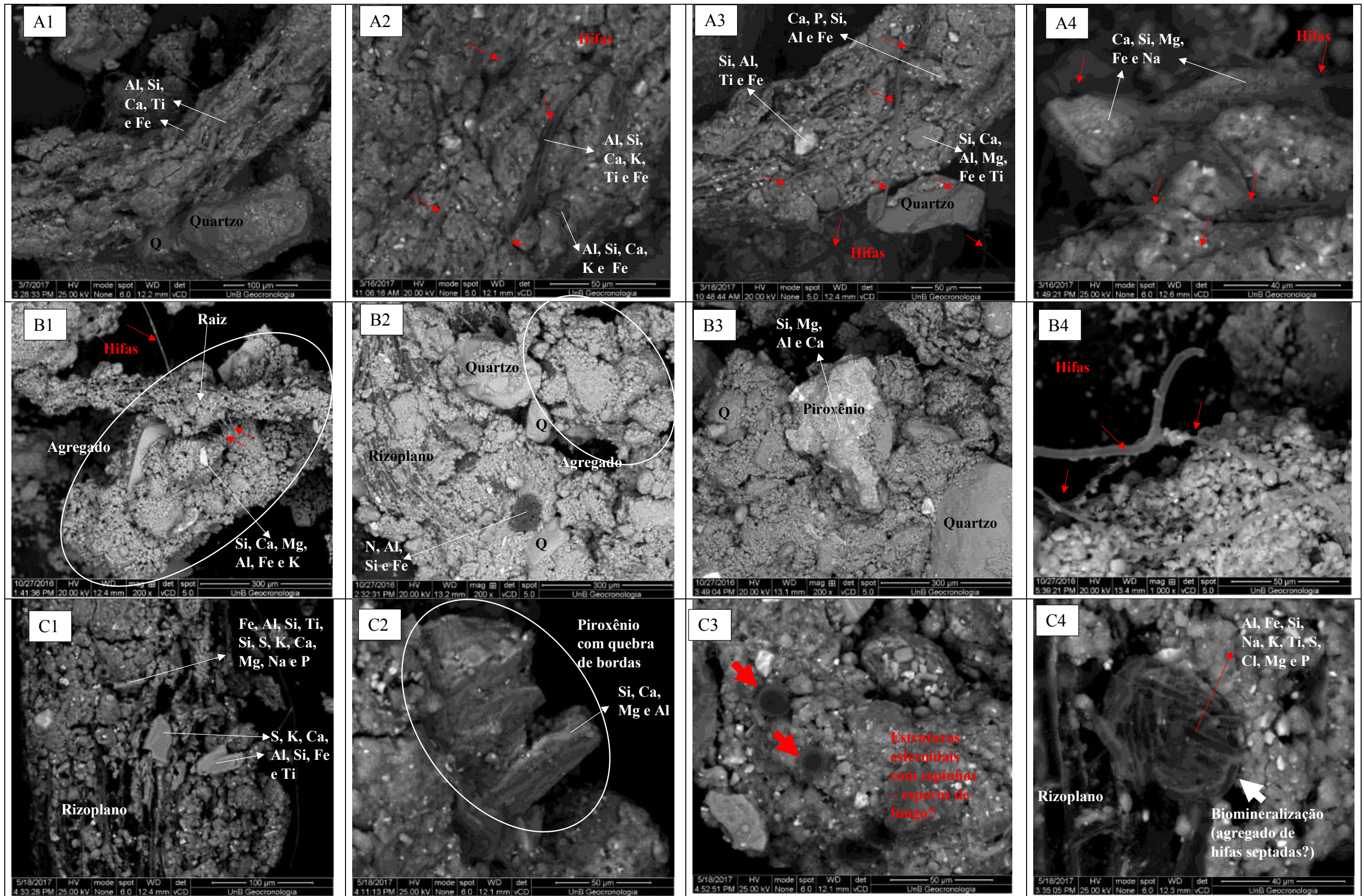


Figura 10: Imagens micromorfológicas dos constituintes minerais dos solos Bauru (A1, A2, A3 e A4), Montividiu (B1, B2, B3 e B4) e Serra Geral (C1, C2, C3 e C4) com adição da rocha Verdinho cultivados com milho.

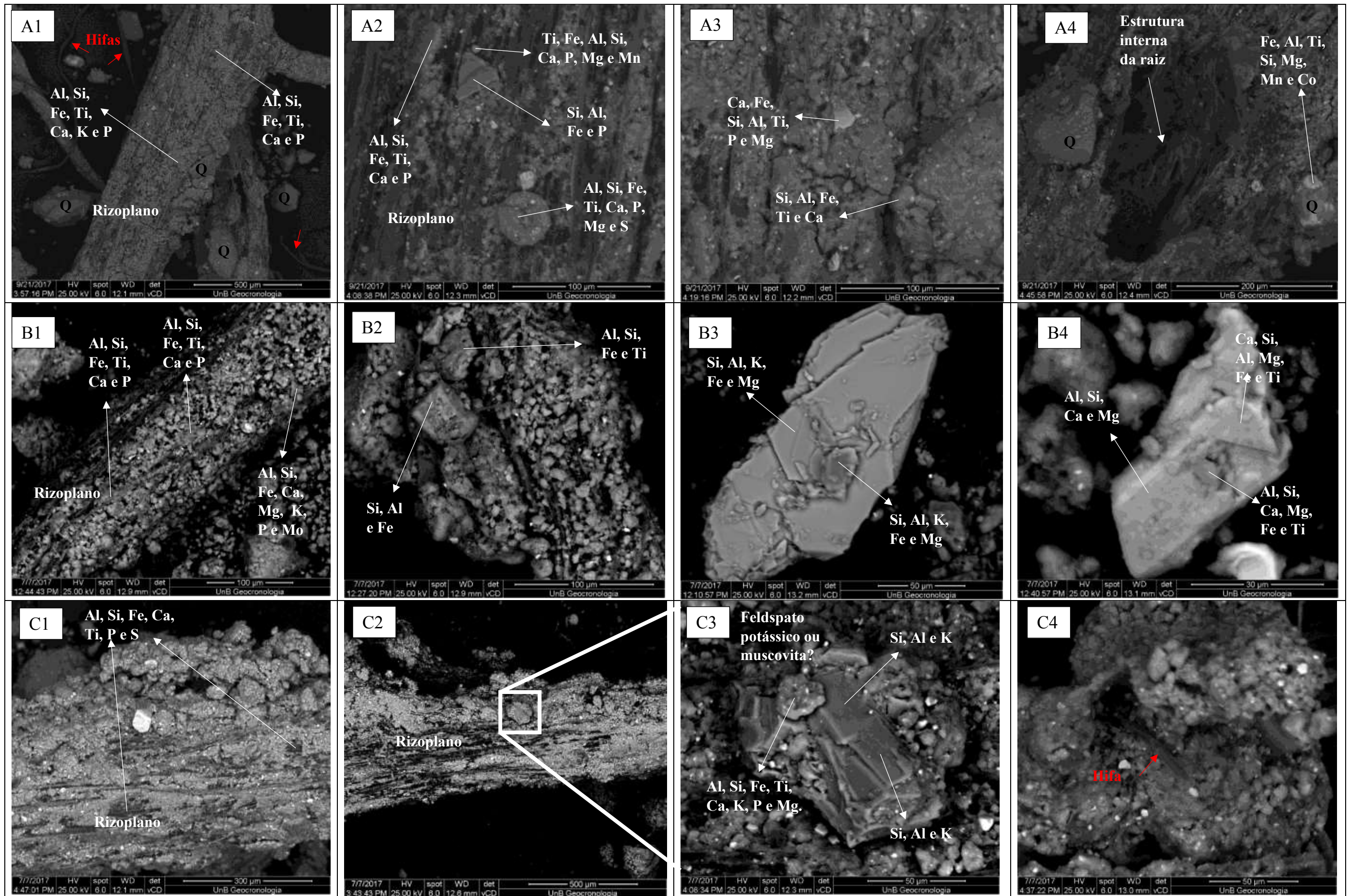


Figura 11: Imagens micromorfológicas dos constituintes minerais dos solos Bauru (A1, A2, A3 e A4), Montividiu (B1, B2, B3 e B4) e Serra Geral (C1, C2, C3 e C4) com adição da rocha Verdinho cultivados com soja.

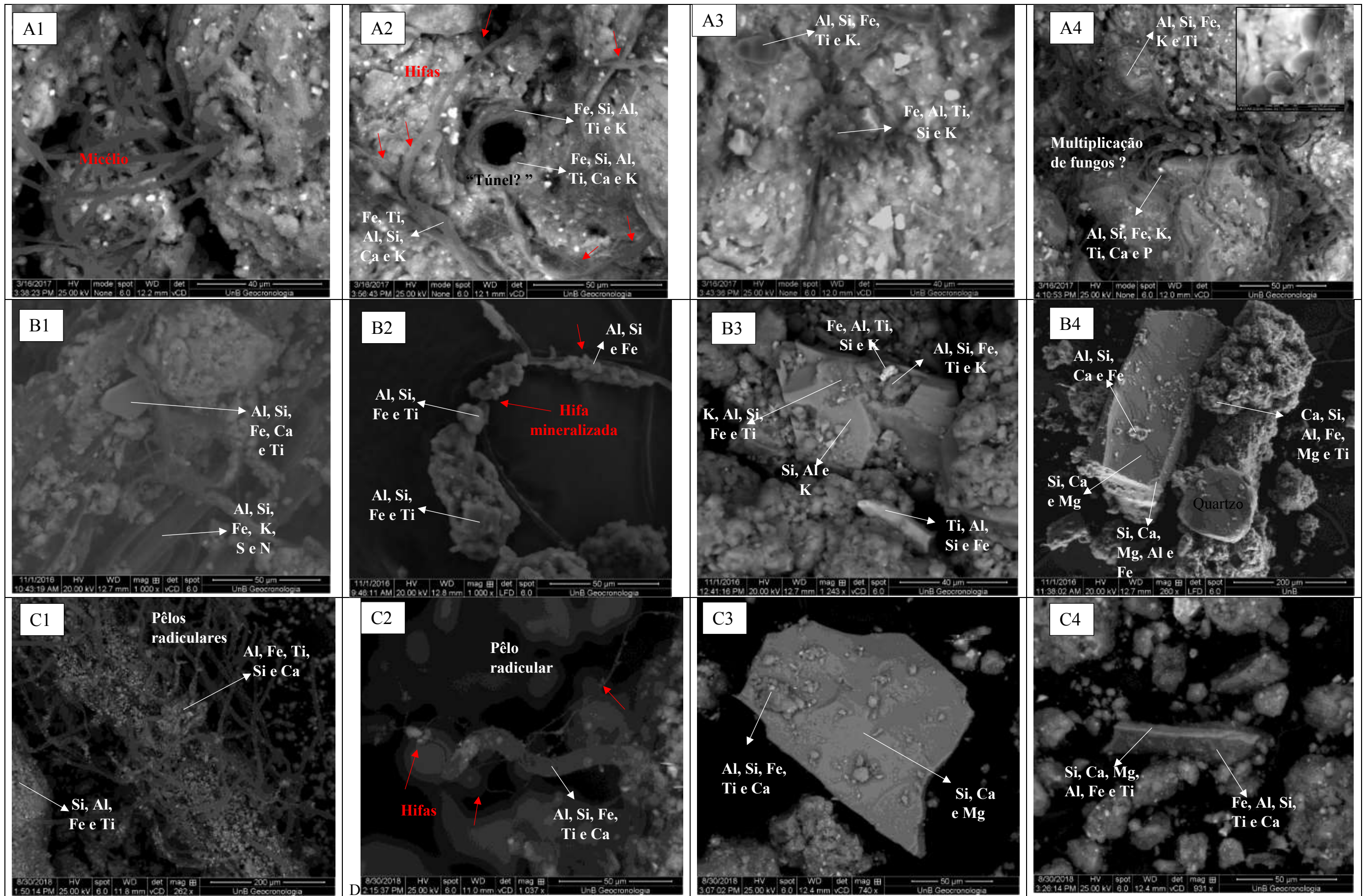


Figura 12: Imagens micromorfológicas dos constituintes minerais dos solos Bauru (A1, A2, A3 e A4), Montividiu (B1, B2, B3 e B4) e Serra Geral (C1, C2, C3 e C4) com adição da rocha Kamafugito cultivados com milho

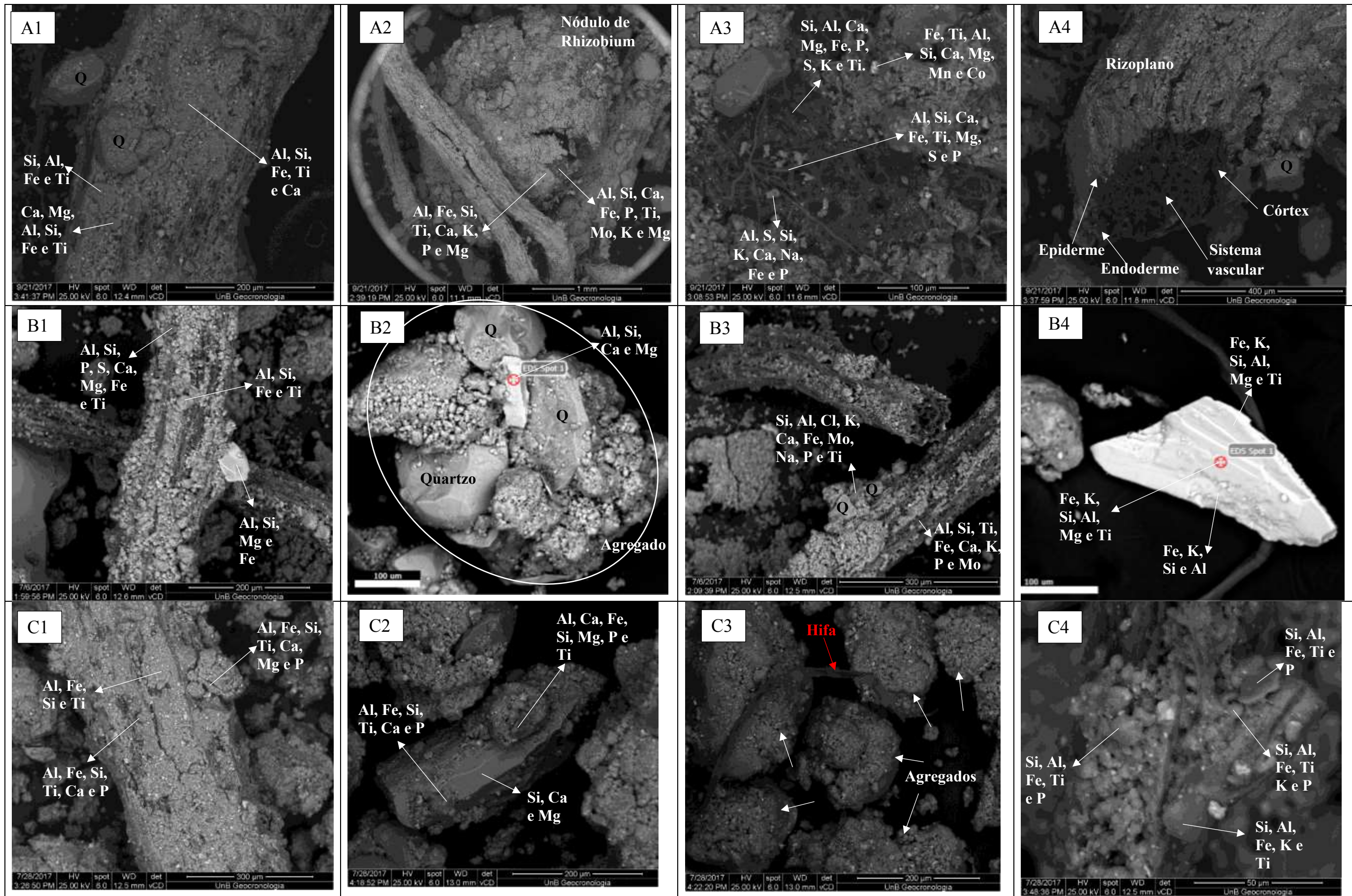


Figura 13: Imagens micromorfológicas dos constituintes minerais dos solos Bauru (A1, A2, A3 e A4), Montividiu (B1, B2, B3 e B4) e Serra Geral (C1, C2, C3 e C4) com adição da rocha Kamafugito cultivados com soja

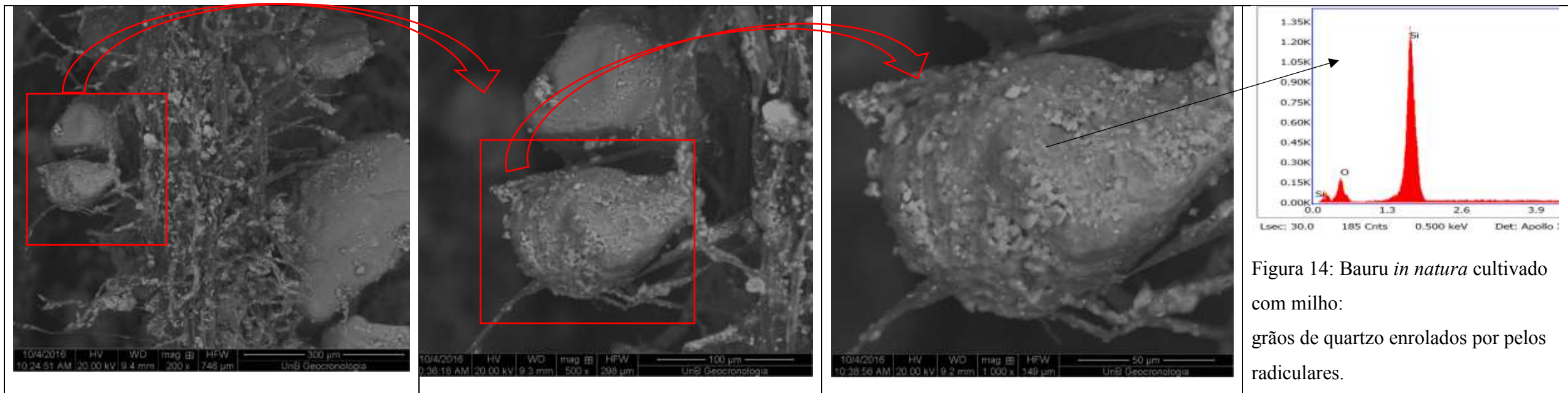


Figura 14: Bauru *in natura* cultivado com milho: grãos de quartzo enrolados por pelos radiculares.

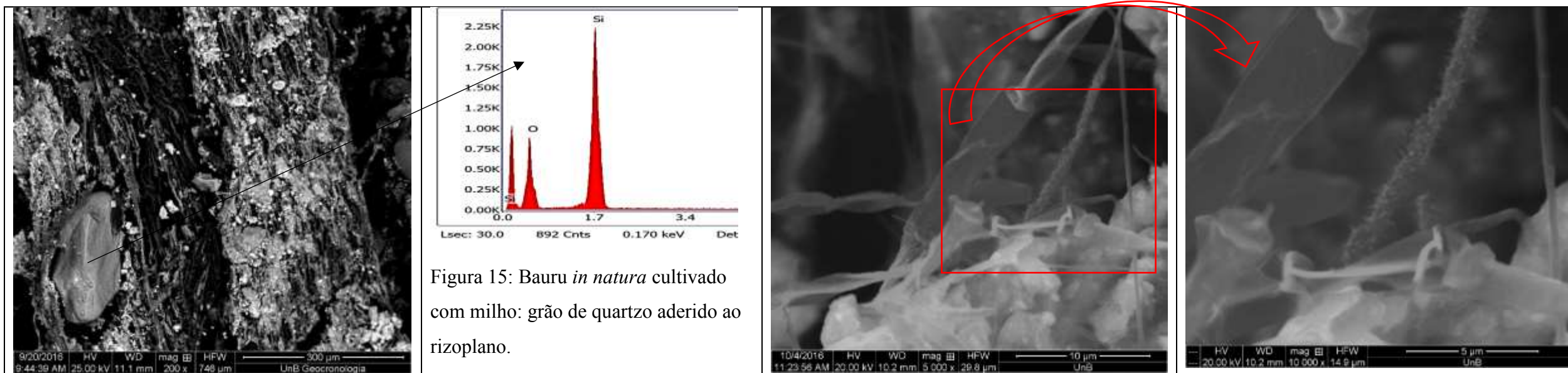


Figura 15: Bauru *in natura* cultivado com milho: grão de quartzo aderido ao rizoplano.

Figura 16: Bauru *in natura* cultivado com milho: hifas septadas e não septadas, estas apresentam na superfície “espinhos” atribuídos à biomineralização da calcita (Bindschedler et al., 2016).

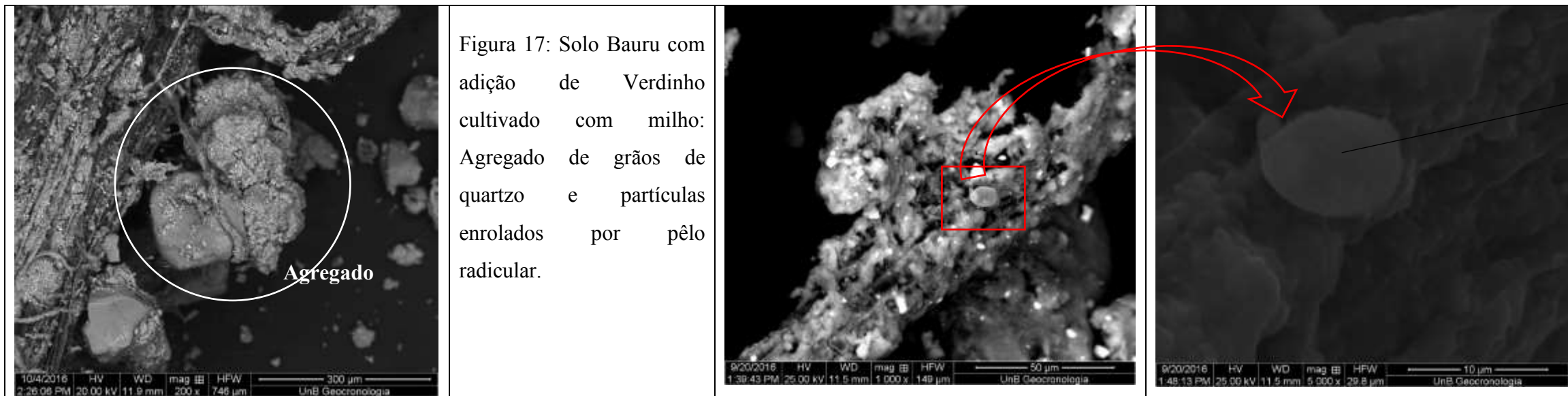


Figura 17: Solo Bauru com adição de Verdinho cultivado com milho: Agregado de grãos de quartzo e partículas enrolados por pêlo radicular.

Figura 18: Solo Bauru com adição de Verdinho cultivado com milho mostra partícula constituída de silício, alumínio, fósforo cálcio e ferro.

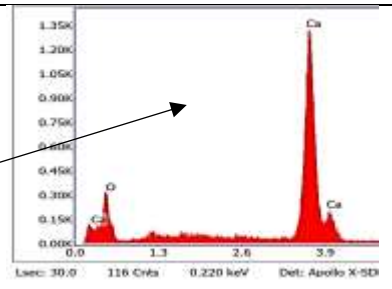
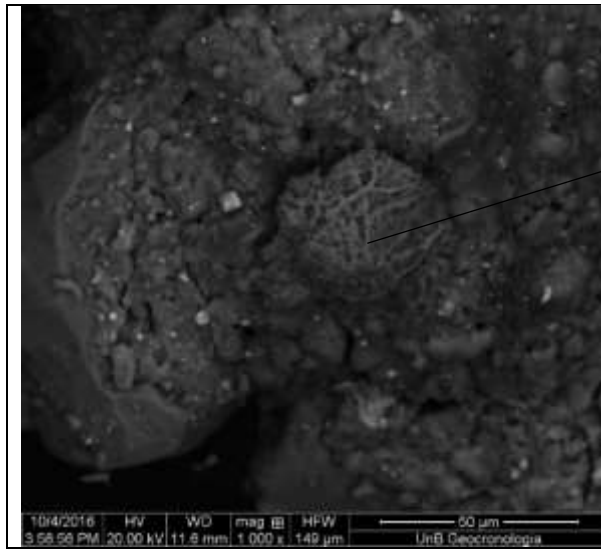


Figura 19: Bauru com adição de Kamafugito cultivado com milho: estrutura orgânica (esponja?) biomineralização de cálcio??

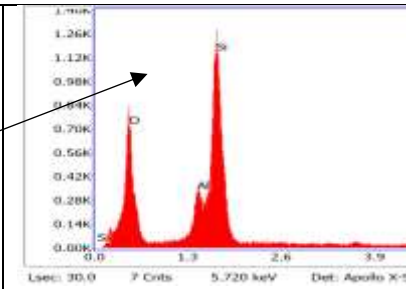
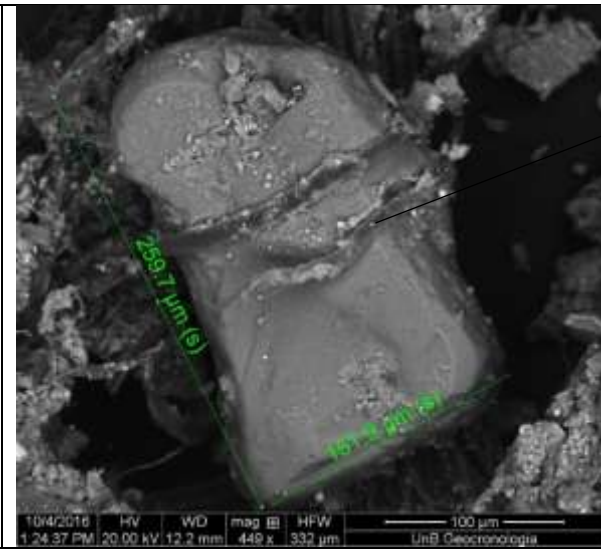


Figura 20: Bauru com adição de Kamafugito cultivado com milho: estrutura orgânica (pelo radicular ou hifa) enrolada no quartzo indicando processos de biointemperismo físico - químico.

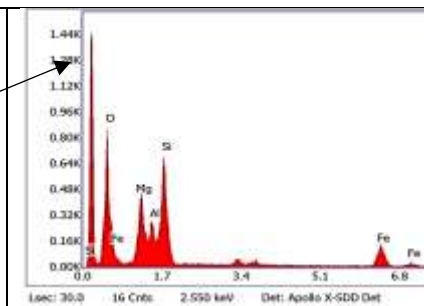
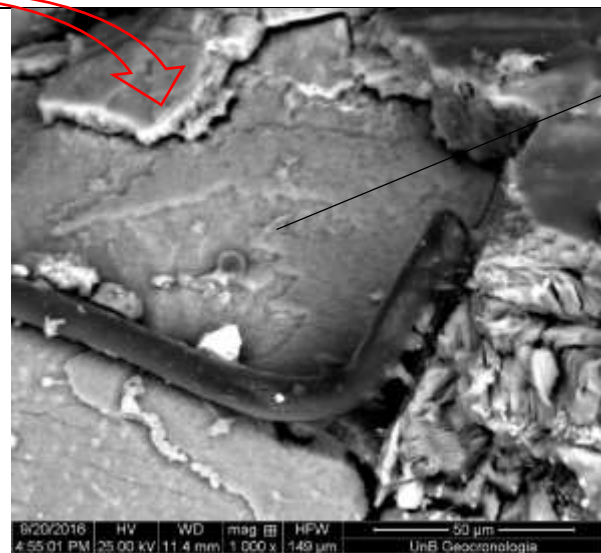
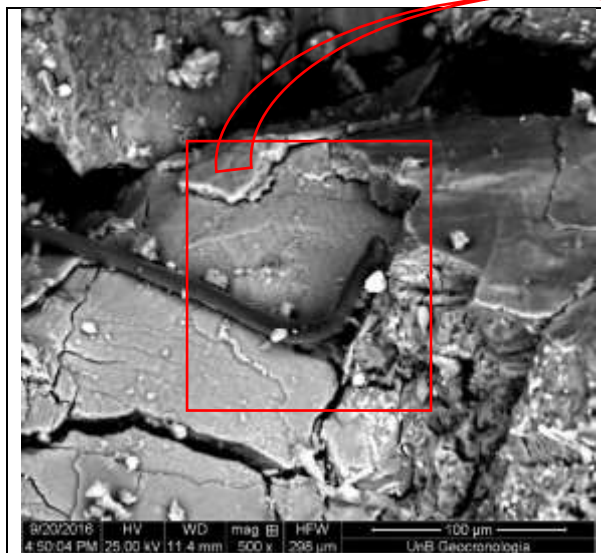


Figura 21: Bauru com adição de Kamafugito cultivado com milho: hifa se desenvolvendo sobre mineral constituído de silício, magnésio, alumínio e ferro.

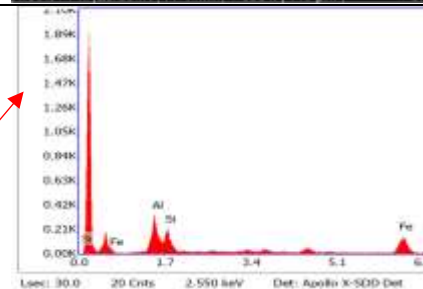
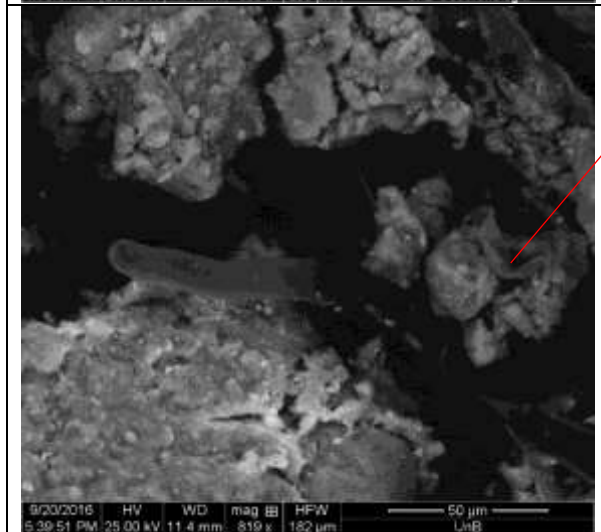


Figura 22: Bauru com adição de Kamafugito cultivado com milho. Ponta da hifa, se desenvolvendo a partir do agregado. Composição química de estrutura orgânica sobre o agregado.

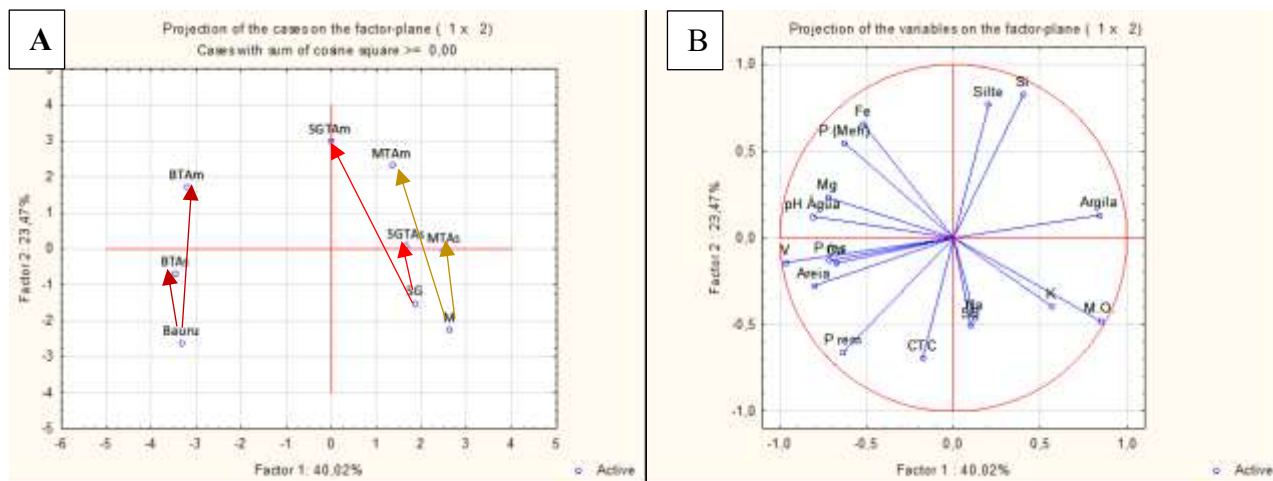


Figura 1.1: Gráfico de dispersão (A) dos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminhança (B) – sob efeito do cultivo de milho ou soja.

1.2 Solos Bauru, Montividiu e Serra Geral com adição das rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito

A incorporação de cada uma das rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito em cada um dos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral apresentou distintas modificações nos atributos analisados (Figura 1.2). De forma geral o solo Bauru mostra menor influência das rochas sobre os atributos analisados enquanto o Montividiu e Serra Geral as modificações são acentuadas. Das rochas, o Micaxisto apresenta maior influência na modificação dos atributos, dos três solos, que Verdinho e Kamafugito, sendo estas, semelhantes entre si.

Os principais fatores de disseminhança para a rocha Micaxisto nos três solos foram o aumento dos teores de potássio, $P(Meh^{-1})$, ferro e diminuição da soma de bases. No Bauru a argila aumenta e a areia diminui. No Serra Geral o teor de areia e silte aumentam e no Montividiu o teor de argila diminui e o teor de silte aumenta.

No caso da adição da rocha Verdinho no solo Bauru a diferença é pequena e ocorre especialmente no aumento de $pH(H_2O)$. No solo Montividiu, a influência da rocha Verdinho mostra aumento do ferro e $P(Meh^{-1})$ e do silte com diminuição da argila. Para o solo Serra Geral a adição do Verdinho foi mais evidente com aumento de $pH(H_2O)$, fósforo (Meh^{-1}), cálcio, magnésio, saturação por bases (%), silte e areia com diminuição do teor de argila.

A adição da rocha Kamafugito no solo Bauru influencia no pequeno aumento do $pH(H_2O)$, fósforo (Meh^{-1}) e potássio. No Montividiu aumenta o ferro, fósforo (Meh^{-1}) e silte com diminuição de argila. No Serra Geral a influência da rocha é mostrada no aumento do $pH(H_2O)$, potássio, cálcio, magnésio, saturação por bases, fósforo (Meh^{-1}), areia e silte com redução de argila.

so solo tratado com Micaxisto cultivado com soja, salvo pelo maior teor de K e Fe, pouco diferenciaram do solo cultivado *in natura*. A soja cultivada no solo Bauru tratado tanto com Verdinho quanto com Kamafugito se diferenciou da rocha Micaxisto pelo maiores valores de cálcio, saturação por bases, fósforo (Meh⁻¹) e fósforo (res) com destaque para o Verdinho.

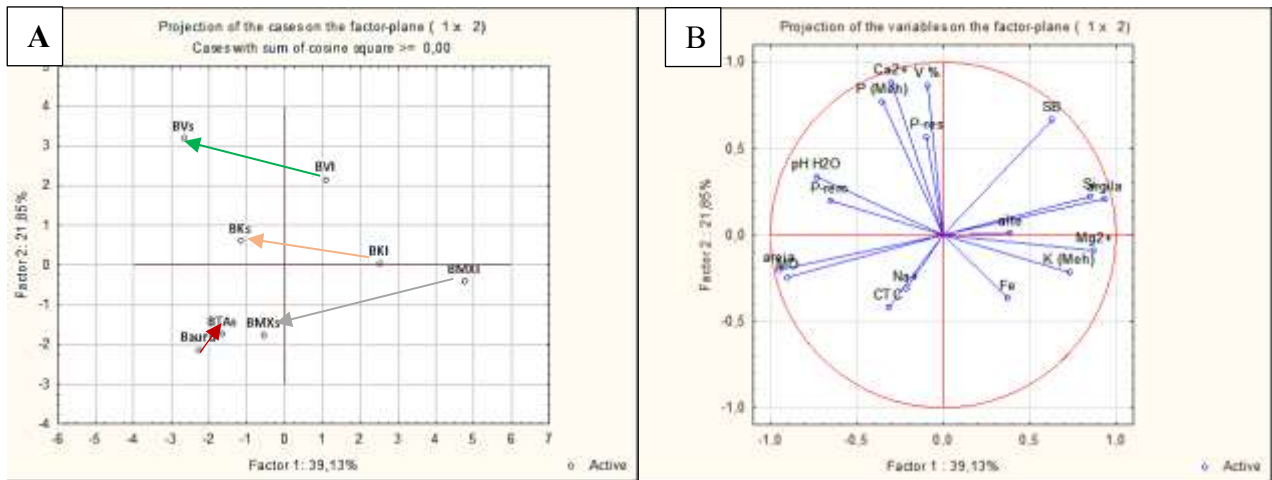


Figura 1.4: Gráfico de dispersão do solo Bauru (A) com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito em função dos atributos físico químico – fatores de disseminação (B) - sob efeito do cultivo de soja.

1.5 Solo Montividiu com adição das rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito cultivado com milho

O efeito do cultivo de milho no solo Montividiu *in natura* e com adição de Micaxisto, Verdinho e Kamafugito (Figura 1.5) é atribuído ao aumento de pH (H₂O), cálcio, magnésio, silício, ferro e silte com diminuição de matéria orgânica e argila. Entre os tratamentos, o principal vetor de disseminação do Micaxisto é o P (Meh⁻¹) e do Verdinho é o cálcio. O cultivo de milho com adição de Kamafugito mostra pequena variação nos atributos quando comparada ao solo Montividiu *in natura*.

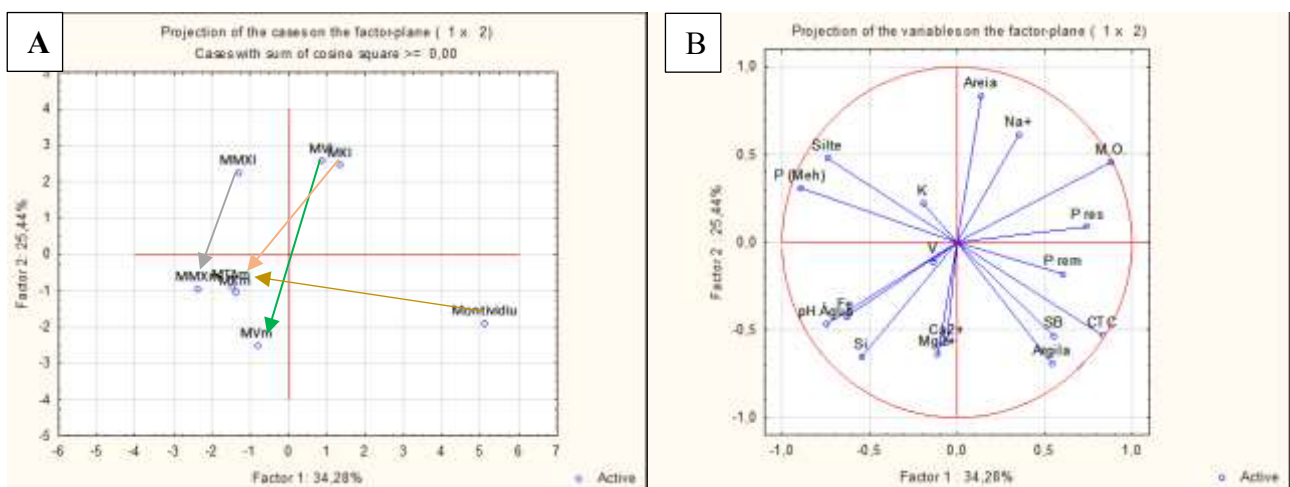


Figura 1.5: Gráfico de dispersão do solo Montividiu (A) com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito em função dos atributos físico químicos – fatores de dissemelhança (B) - sob efeito do cultivo de milho.

1.6 Solo Montividiu com adição das rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito cultivado com soja

A soja cultivada em solo Montividiu *in natura* e com adição de rochas (Figura 1.6) influencia especialmente no aumento de argila, silício, fósforo (rem) e na diminuição do pH (H₂O), saturação por bases, P (Meh), areia e silte. O cultivo da soja no solo Montividiu *in natura* e tratado com Micaxisto e com Kamafugito mostra diminuição de cálcio e magnésio, por conseguinte menor saturação por bases e na soma de bases. Tratado com Verdinho o solo Montividiu cultivado com soja mostra aumento de cálcio e P (res) e mostra atributos físico-químicos semelhantes ao Montividiu *in natura*.

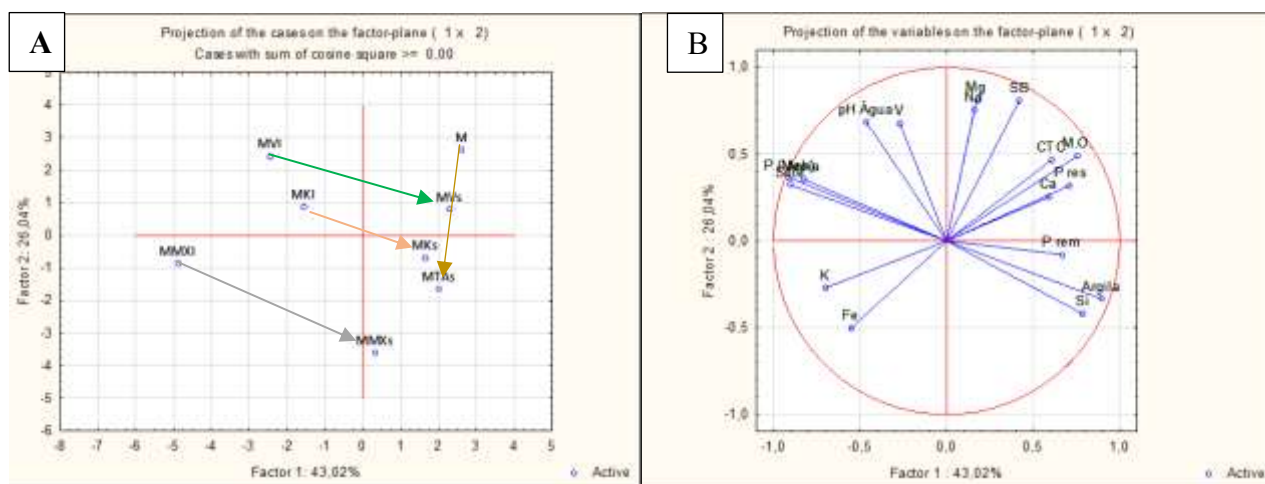


Figura 1.6: Gráfico de dispersão do solo Montividiu (A) com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito em função dos atributos físico químicos – fatores de dissemelhança (B) - sob efeito do cultivo de soja.

1.7 Solo Serra Geral com adição das rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito cultivado com milho

O solo Serra Geral *in natura* e tratado com rochas quando cultivado com milho mostra especialmente aumento do pH (H₂O), cálcio, magnésio e silte, com diminuição da CTC e argila (Figura 1.7). O efeito do milho na mistura de Micaxisto ao solo Serra Geral aumentou silício e ferro e diminuiu potássio e sódio. No solo tratado com Verdinho aumentou o teor cálcio. Com adição do Kamafugito o solo Serra Geral cultivado com milho mostrou pequena influência mantendo suas características físico-químicas semelhantes ao Serra Geral sem adição de rochas.

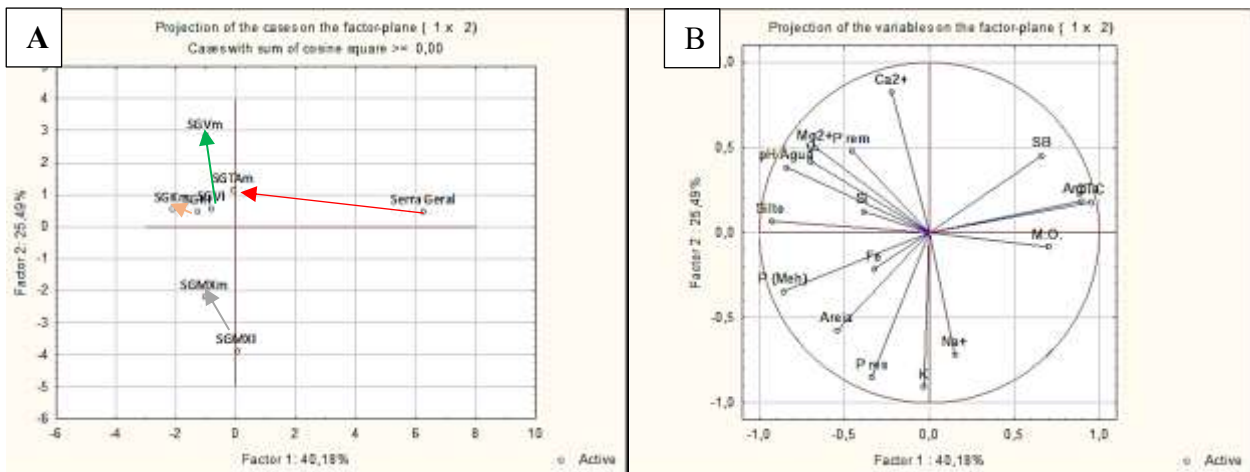


Figura 1.7: Gráfico de dispersão do solo Serra Geral (A) com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito em função dos atributos físico químico – fatores de disseminação (B) - sob efeito do cultivo de milho.

1.8 Solo Serra Geral com adição das rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito cultivado com soja

O cultivo da soja no solo Serra Geral *in natura* e com adição de Micaxisto e Kamafugito (Figura 1.8) mostra pequena variação cujos principais vetores são matéria orgânica e argila. Já com a adição de Verdinho, o cultivo da soja aumentou o pH (H₂O), cálcio, saturação por bases e P (res).

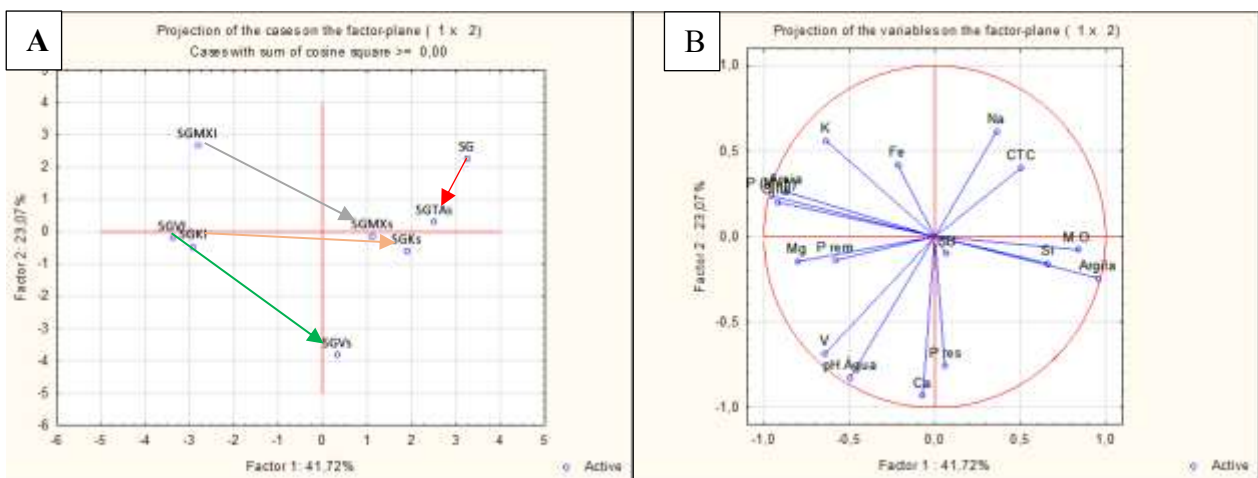


Figura 1.8: Gráfico de dispersão do solo Serra Geral (A) com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito em função dos atributos físico químico – fatores de disseminação (B) - sob efeito do cultivo de soja.

1.9 Rocha Micaxisto nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral cultivado com milho

O efeito da incorporação de Micaxisto nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral foi evidenciado com o cultivo do milho, conforme mostra o gráfico de dispersão (Figura 1.9). No solo Bauru observou-se, especialmente, aumento do pH (H₂O), P(Meh), P(res), silício e ferro. No solo Montividiu o efeito da rocha mostrou aumento dos valores de pH (H₂O), cálcio, silício e ferro. No Serra Geral o aumento do pH (H₂O), silício e ferro foram as principais modificações.

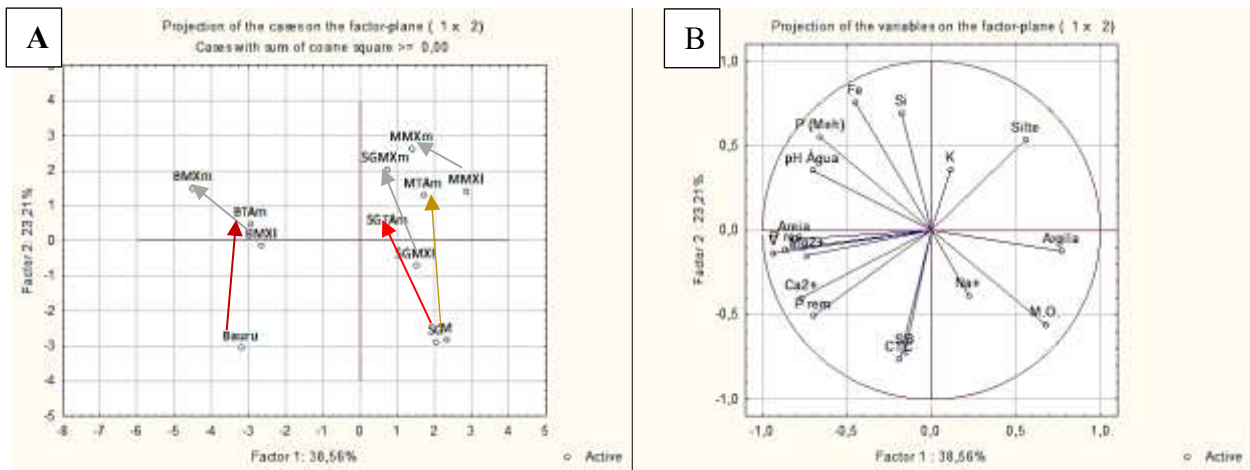


Figura 1.9: Gráfico de dispersão da influência da rocha Micaxisto nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de dissimilaridade (B) - sob efeito do cultivo de milho.

1.10 Rocha Micaxisto nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral cultivado com soja

A adição de Micaxisto, nos três solos, quando cultivados com soja mostra tendência distinta (Figura 1.10). No Bauru a influência da rocha fica evidente e os atributos se diferenciam ainda mais do solo *in natura* cultivado e observa-se aumento do pH (H₂O), P (Meh), ferro e areia. Nos solos Montividiu e Serra Geral cultivados com soja a influência da rocha é pouco evidente sendo seus atributos semelhantes aos solos cultivados *in natura*. No Montividiu ocorre diminuição no pH (H₂O), teor de ferro, P (Meh) e os valores de silício, matéria orgânica e argila se aproximam do solo cultivado *in natura*. No Serra Geral além dos efeitos semelhantes ao Montividiu, ocorre diminuição de potássio e aumento de cálcio.

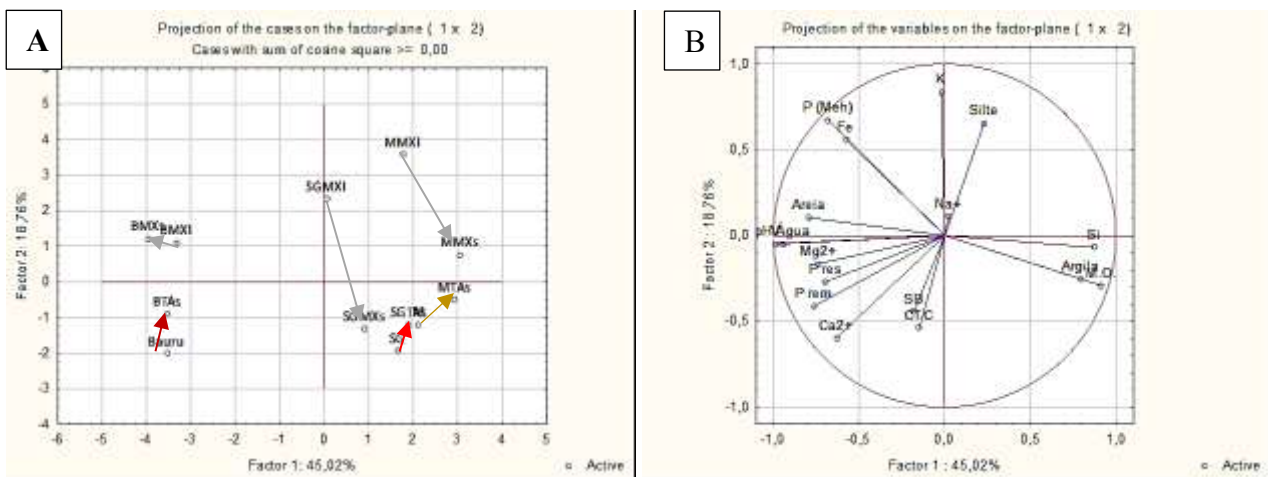


Figura 1.10: Gráfico de dispersão da influência da rocha Micaxisto nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de dissimilaridade (B) - sob efeito do cultivo de soja.

1.11 Rocha Verdinho nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral cultivado com milho

A rocha Verdinho incorporada aos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral (Figura 1.11) tem seu efeito evidenciado pelo cultivo de milho comparado ao solo *in natura*. No solo Bauru observa-se aumento do pH (H₂O), cálcio, CTC, P (Meh), silício e ferro. Já para o Montividiu e Serra Geral os efeitos são semelhantes entre si com aumento do pH (H₂O), cálcio, magnésio, CTC, saturação por bases, silício e ferro.

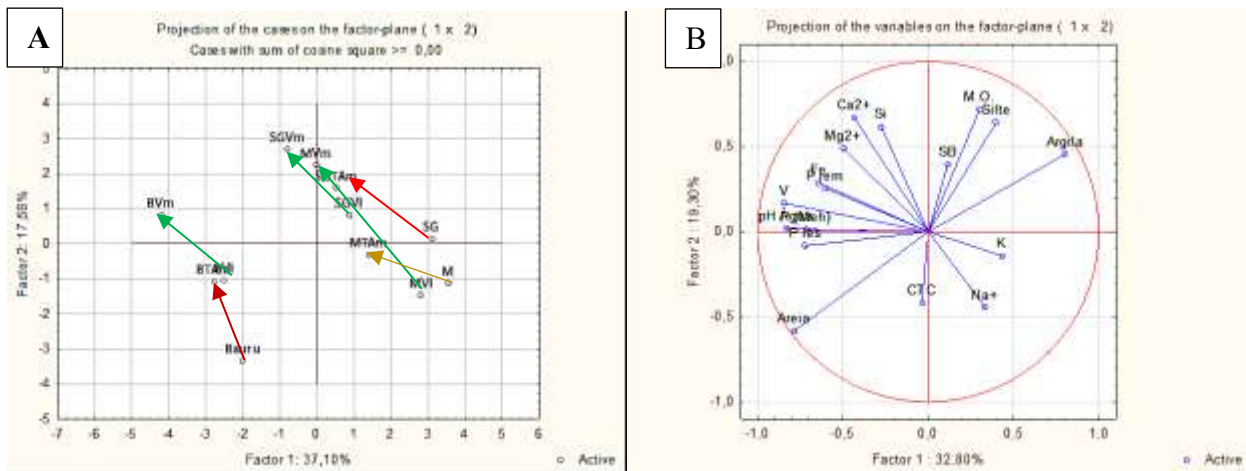


Figura 1.11: Gráfico de dispersão da influência da rocha Verdinho nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminação (B) - sob efeito do cultivo de milho.

1.12 Rocha Verdinho nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral cultivado com soja

A incorporação da rocha Verdinho aos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral (Figura 1.12) é influenciada pelo cultivo da soja. No Bauru observa-se aumento do pH (H₂O), saturação por bases, P (Meh), P (res) e porcentagem de areia. No Montividiu aumentou o cálcio, P (res), P (rem) e argila. Já no Serra Geral há aumento do pH (H₂O), cálcio, soma de bases, saturação por bases e P (res).

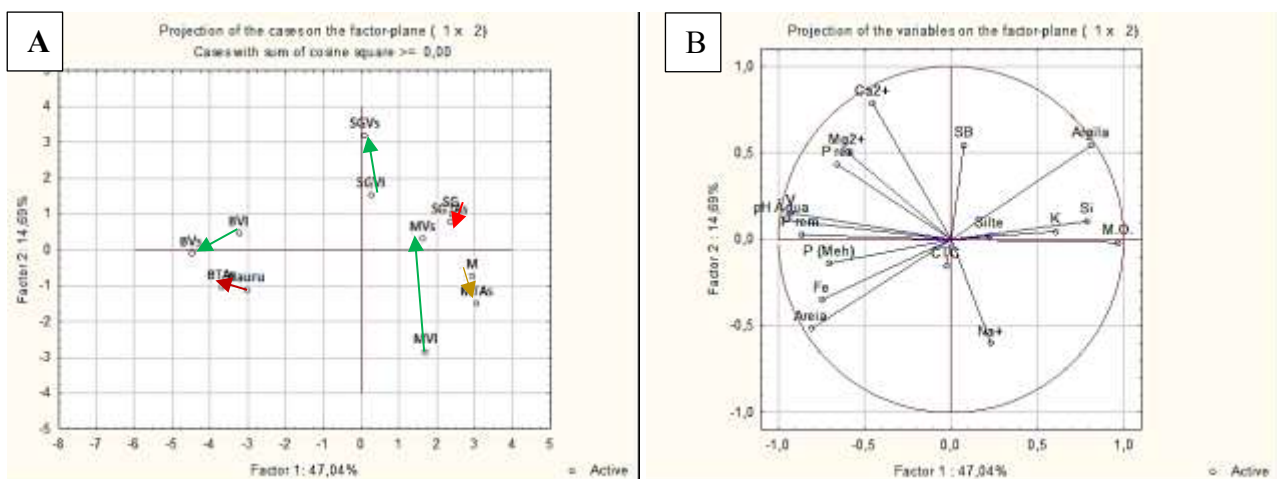


Figura 1.12: Gráfico de dispersão da influência da rocha Verdinho nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminação (B) - sob efeito do cultivo de soja.

1.13 Rocha Kamafugito nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral cultivado com milho

A rocha Kamafugito, aplicada aos três solos seguidos de cultivo do milho (Figura 1.13), influenciou no aumento do pH (H₂O), silício e ferro. Além destes atributos, no solo Bauru também aumentou cálcio, CTC e P (Meh), no Montividiu cálcio, magnésio, saturação por bases e P (Meh), e ainda, no Serra Geral magnésio, sódio e areia.

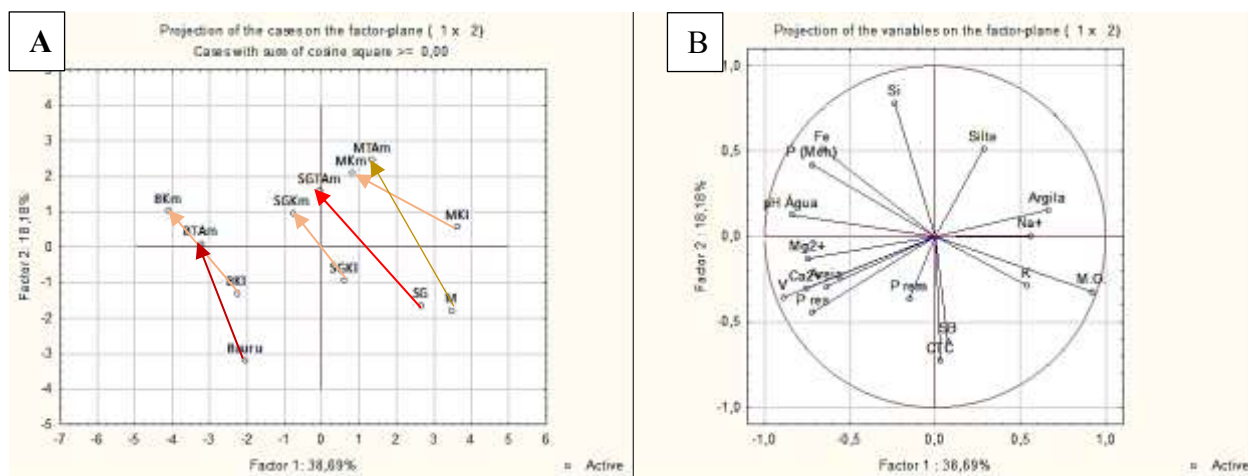


Figura 1.13: Gráfico de dispersão da influência da rocha Kamafugito nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminação (B) - sob efeito do cultivo de milho.

1.14 Rocha Kamafugito nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral cultivado com soja

O efeito da rocha Kamafugito aplicada aos solos e cultivados com soja (Figura 1.14) mostra que, o cultivo evidencia as características dos solos *in natura* em detrimento da rocha. No gráfico de dispersão os tratamentos com rocha cultivados com soja se aproximam do solo *in natura* e cultivado. No solo Bauru o atributo físico areia é o principal vetor evidenciado. Nos solos Montividiu e Serra Geral a diminuição do pH (H₂O) e o aumento de matéria orgânica e argila mostram a semelhança entre os solos *in natura* e tratados com rocha Verdinho.

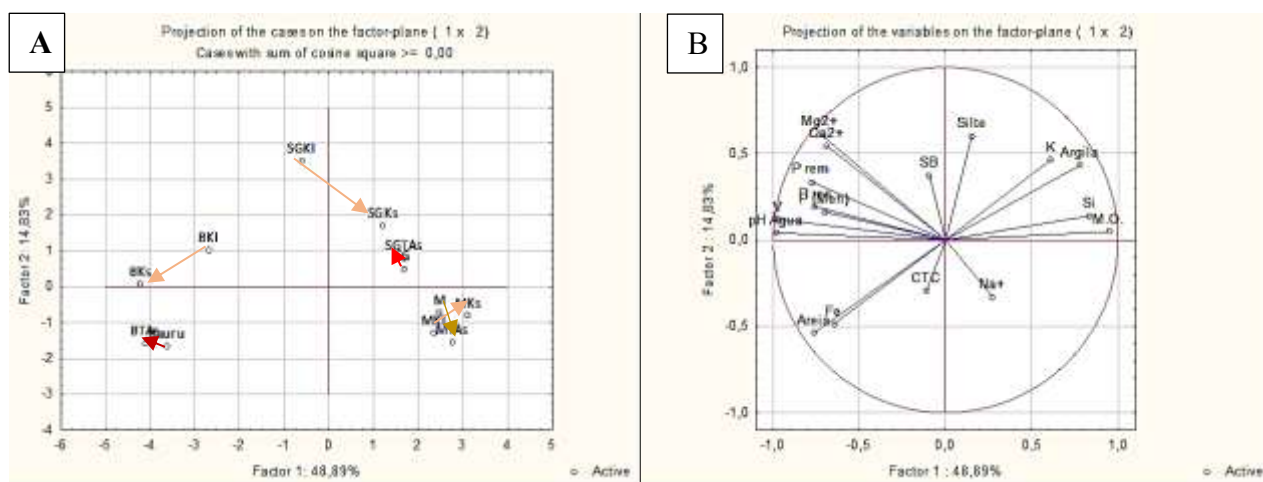


Figura 1.14: Gráfico de dispersão da influência da rocha Kamafugito nos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminação (B) - sob efeito do cultivo de soja.

1.15 Solo Bauru com incorporação de cada uma das rochas -Micaxisto, Verdinho e Kamafugito-cultivado com milho e soja

No solo Bauru o cultivo de milho no solo *in natura* e com adição de Micaxisto ou Verdinho ou Kamafugito (Figura 1.15) aumenta a porcentagem de argila, os teores de potássio, cálcio, magnésio ferro, silício, P (Meh) e soma de bases. A rocha Verdinho influencia no aumento do teor de cálcio e o Micaxisto no teor de potássio.

Com o cultivo da soja, o Bauru *in natura*, mostra insignificante diferença. No solo com aplicação do Verdinho o pH (H₂O), cálcio, P(Meh) e a saturação por bases são os principais vetores de disseminação. Quando adicionadas as rochas Micaxisto e Kamafugito os atributos pouco diferenciam do solo *in natura* com exceção do P(Meh).

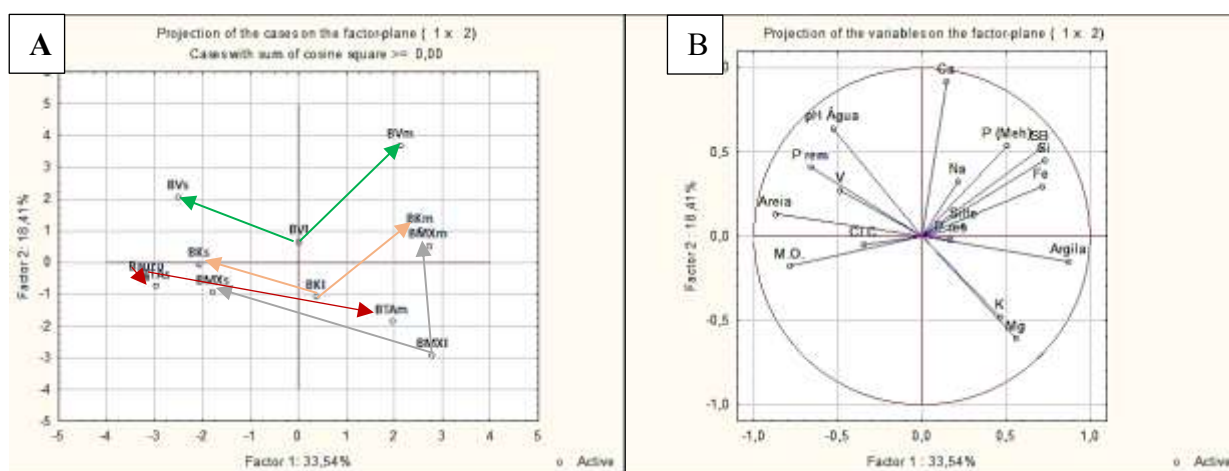


Figura 1.15: Gráfico de dispersão do solo Bauru com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminação (B) - sob efeito do cultivo de milho e soja.

1.16 Solo Montividiu com incorporação de cada uma das rochas (Micaxisto, Verdinho e Kamafugito) cultivado com milho e soja

No solo Montividiu cultivado com milho (Figura 1.16), tanto *in natura* quanto com incorporação de cada uma das rochas a porcentagem de argila diminui e o silte aumenta. O pH (H₂O), P (Meh), ferro e silício aumentam. Com adição de Verdinho aumenta ainda o cálcio, magnésio, CTC e saturação por bases além da soma de bases. Com o Micaxisto aumenta o potássio e com o Kamafugito o magnésio.

Cultivado com soja, o solo Montividiu *in natura* e com adição de Micaxisto e Kamafugito mostram diminuição do pH (H₂O), P (rem) e aumento de matéria orgânica. Com adição de Verdinho, o cultivo da soja no solo Montividiu mostra maior teor de P (res) e cálcio.

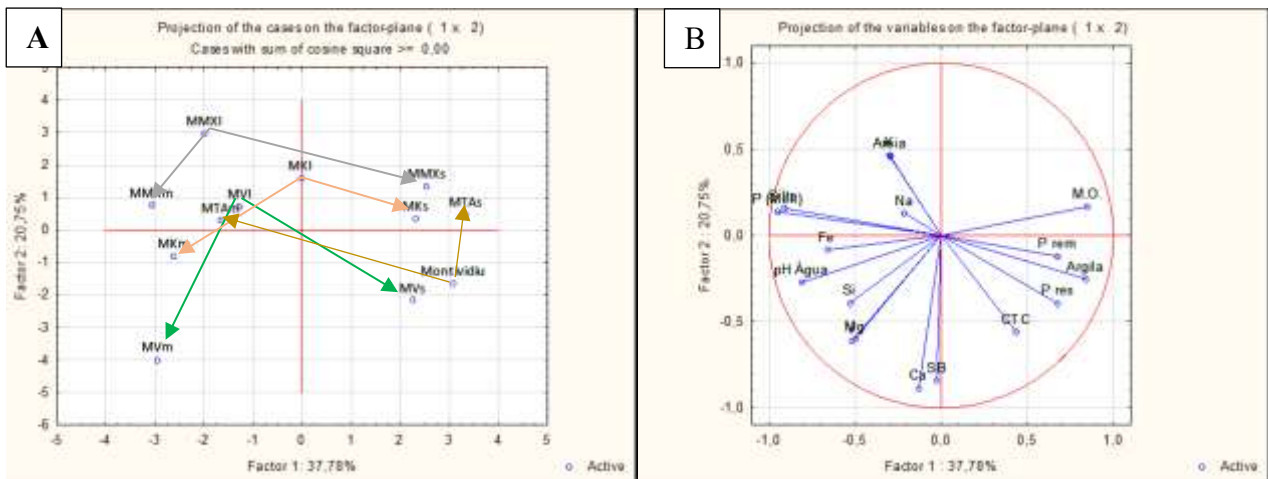


Figura 1.16: Gráfico de dispersão do solo Montividiu com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito (A) em função dos atributos físico químico – fatores de dissemelhança (B) - sob efeito do cultivo de milho e soja.

1.17 Solo Serra Geral com incorporação de cada uma das rochas (Micaxisto, Verdinho e Kamafugito) cultivado com milho e soja

No solo Serra Geral *in natura* e com adição de cada uma das rochas e cultivado com milho e soja observa-se a mesma tendência do Bauru e Montividiu (Figura 1.17) que demonstram que o cultivo do milho influencia mais na modificação dos atributos físico-químicos que da soja.

Com o cultivo do milho o efeito da rocha Micaxisto é identificado nos atributos potássio, silício e ferro. Já a rocha Verdinho influencia no pH (H₂O), cálcio, soma de bases, saturação por bases e P (res). A rocha Kamafugito com o cultivo de milho aumenta o pH(H₂O), magnésio e P(res).

Com o cultivo da soja o efeito das rochas Micaxisto e Kamafugito no solo Serra Geral é pouco evidenciado e os principais vetores CTC, matéria orgânica e argila são semelhantes ao solo *in natura* e cultivado. No caso da adição da rocha Verdinho, com cultivo de soja, observa-se aumento do cálcio, soma de bases e P (res).

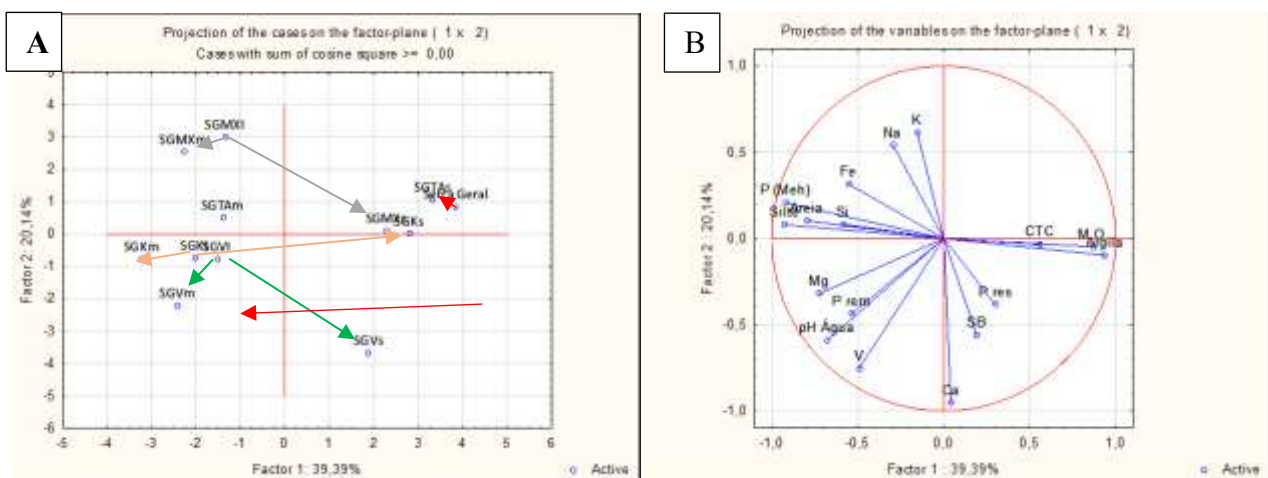


Figura x: Gráfico de dispersão do solo Serra Geral com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminhança (B) - sob efeito do cultivo de milho e soja.

1.18 Solos Bauru, Montividiu e Serra Geral com incorporação de cada uma das rochas (Micaxisto, Verdinho e Kamafugito) cultivado com milho e soja

Quando analisados em conjunto os atributos físico-químicos de todos os solos e suas misturas com cada rocha cultivados com milho e soja (Figura 1.18) mostram que:

- O solo que apresenta mais disseminhança entre os tratamentos (rochas + cultivo) é o Serra Geral, seguido do Montividiu e do Bauru.
- Os tratamentos que mostram maior disseminhança em comparação aos solos *in natura* são aqueles cultivados com milho e menor disseminhança com soja.
- A rocha que mostra maior disseminhança entre os tratamentos é o Micaxisto seguido do Verdinho e do Kamafugito.
- A rocha Micaxisto contribui essencialmente no teor de potássio. O Verdinho no teor de cálcio e saturação por bases. O Kamafugito no teor de magnésio.
- Os maiores teores de cálcio em solos cultivados foram observados pela adição da rocha Verdinho. No Montividiu cultivado com milho (5,77 cmol dm⁻³). No Serra Geral cultivado com soja (5,11 cmol dm⁻³) e com milho (4,63 cmol dm⁻³) e no Bauru cultivado com milho (4,37 cmol dm⁻³).
- Os maiores teores de potássio em solos cultivados foram observados pela adição da rocha Micaxisto. No Montividiu cultivado com milho (0,63 cmol dm⁻³) e com soja (0,47 cmol dm⁻³). No Bauru cultivado com soja (0,52 cmol dm⁻³) e com milho (0,48 cmol dm⁻³) e no Serra Geral cultivado com milho (0,48 cmol dm⁻³).

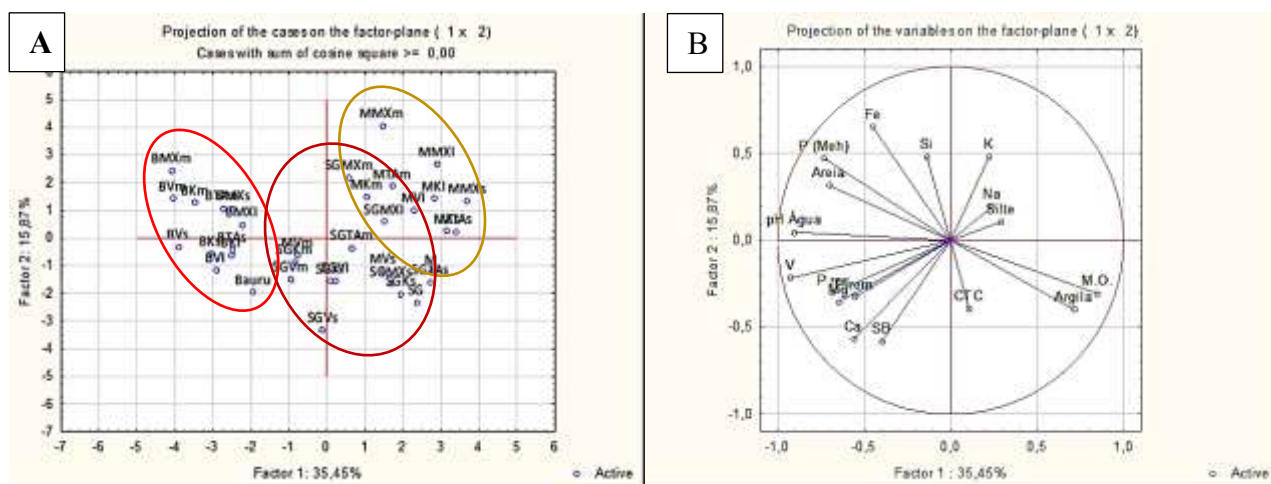


Figura 1.18: Gráfico de dispersão dos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminhança (B) - sob efeito do cultivo de milho e soja.

Tabela 1: Atributos físico-químicos dos solos *in natura*, incorporados com cada rocha – Micaxisto, Verdinho e Kamafugito – cultivados com soja e com milho.

	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	P (Meh)	P res	P rem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte
	s/u	cmol dm ⁻³					%			mg dm ⁻³ (ppm)			%				
Bauru	6,94	0,11	3,29	1,11	0,29	4,51	28,39	77,36	87,08	45,86	28,39	1,80	5,50	47,60	17,50	80,00	2,49
BTAm	6,47	0,21	3,07	1,27	0,14	4,68	6,60	70,00	299,94	64,60	12,33	1,35	17,67	212,70	25,00	72,50	2,50
BTAs	7,28	0,08	3,14	1,08	0,04	4,34	5,71	75,45	80,91	43,94	30,51	1,57	6,11	69,00	17,50	80,00	2,50
BMXI	6,40	0,67	3,10	1,40	0,06	5,23	6,80	77,00	117,69	66,50	14,42	1,12	10,60	186,75	30,00	67,50	2,50
BMXm	6,90	0,48	3,37	1,27	0,16	5,28	7,07	74,33	330,59	81,07	21,87	1,48	51,27	396,22	23,33	73,33	3,33
BMXs	7,26	0,52	3,03	0,98	0,04	4,57	5,94	76,22	132,10	45,14	27,17	1,64	6,55	222,01	19,17	78,33	2,50
BVI	7,20	0,21	3,90	1,30	0,11	5,52	7,00	79,00	128,39	43,90	32,48	1,46	10,10	61,35	27,50	70,00	2,50
BVm	7,13	0,17	4,37	0,97	0,22	5,72	7,43	76,33	288,28	45,23	30,57	1,02	39,95	378,13	25,00	71,67	3,33
BVs	7,48	0,11	3,89	0,85	0,05	4,90	6,13	79,27	315,90	78,92	28,80	1,57	6,16	53,19	17,50	80,00	2,50
BKI	7,10	0,24	3,20	1,40	0,08	4,92	6,40	77,00	106,99	40,90	29,05	1,22	13,50	30,60	25,00	70,00	5,00
BKm	7,27	0,17	3,70	1,20	0,16	5,23	7,10	73,67	298,28	44,83	12,03	0,84	29,72	237,42	26,67	70,83	2,50
BKs	7,12	0,17	3,45	1,09	0,05	4,76	6,08	77,32	167,38	66,27	29,35	1,49	7,19	39,78	18,33	79,17	2,50
M	5,62	0,35	2,23	0,70	0,33	6,54	15,56	41,21	17,18	23,14	15,56	3,37	13,98	37,57	50,00	47,50	2,50
MTAm	6,83	0,16	1,87	0,67	0,17	2,86	6,97	41,33	136,99	7,67	8,93	2,04	20,07	104,33	43,33	45,83	10,83
MTAs	5,22	0,18	2,09	0,55	0,06	2,88	8,20	34,39	8,07	33,69	13,52	3,04	16,22	27,18	50,00	47,08	2,92
MMXI	5,90	0,59	1,40	0,60	0,04	2,63	6,00	44,00	128,39	2,02	6,28	2,48	10,00	94,40	37,50	50,00	12,50
MMXm	6,40	0,63	1,83	0,60	0,19	3,25	7,27	44,67	130,17	7,00	10,67	1,79	44,90	340,33	41,67	47,50	10,83
MMXs	5,19	0,47	1,92	0,48	0,04	2,91	8,21	34,92	8,34	13,22	13,90	2,81	16,76	104,02	50,83	46,67	2,50
MVI	5,90	0,31	2,30	0,60	1,51	4,72	7,90	60,00	128,39	26,22	6,14	2,99	9,50	53,05	37,50	50,00	12,50
MVm	6,33	0,31	5,77	0,83	0,27	7,18	10,13	70,00	122,56	18,33	9,67	1,86	34,45	188,17	40,00	47,50	12,50
MVs	5,95	0,18	3,98	0,61	0,06	4,83	8,24	57,89	14,83	37,38	12,84	2,96	17,69	42,52	50,83	46,25	2,92
MKI	5,70	0,33	1,60	0,60	0,99	3,52	7,50	47,00	117,69	21,18	16,81	3,01	13,50	34,05	37,50	50,00	12,50
MKm	6,37	0,23	2,43	0,93	0,23	3,82	7,53	50,67	135,87	9,00	9,44	1,86	30,84	104,85	40,83	48,33	10,83
MKs	5,40	0,29	2,42	0,63	0,05	3,40	8,67	38,61	15,52	23,77	12,06	3,17	19,98	26,83	48,33	48,33	3,33
SG	5,71	0,24	2,96	0,96	0,26	6,77	12,76	48,60	19,50	32,20	12,76	3,05	12,45	35,86	70,00	27,50	2,51
SGTAm	6,23	0,07	3,10	1,30	0,15	4,63	8,33	55,67	111,17	29,40	7,33	1,54	24,06	112,10	57,50	27,50	15,00
SGTAs	5,81	0,18	3,02	0,95	0,04	4,19	8,39	49,41	14,64	36,23	12,84	3,11	11,96	29,13	71,67	21,25	7,08
SGMXI	5,90	0,76	2,50	1,10	0,77	5,13	8,80	58,00	128,39	43,80	10,09	2,25	9,80	78,60	50,00	35,00	15,00
SGMXm	6,40	0,48	2,40	1,00	0,19	4,07	7,53	54,00	115,27	41,87	7,67	1,42	45,52	285,68	55,83	30,83	13,33
SGMXs	6,02	0,33	3,38	1,10	0,04	4,84	8,75	54,93	18,54	44,13	14,20	2,75	13,01	59,01	70,00	25,00	5,00
SGVI	6,20	0,35	3,90	1,20	0,07	5,52	8,70	63,00	128,39	35,50	25,21	2,20	8,30	27,40	50,00	32,50	17,50
SGVm	6,50	0,13	4,63	1,23	0,20	6,19	9,03	68,67	81,04	31,63	32,33	1,57	35,40	151,35	54,17	29,17	16,67
SGVs	6,58	0,19	5,11	1,04	0,05	6,38	9,03	70,22	28,43	70,10	11,95	2,67	11,54	38,34	68,75	27,50	3,75
SGKI	6,30	0,36	3,40	1,30	0,08	5,14	8,30	62,00	128,39	36,50	41,35	2,58	12,70	28,05	50,00	32,50	17,50
SGKm	6,53	0,14	3,20	1,33	0,23	4,91	8,13	60,00	113,22	39,23	46,67	1,65	34,43	109,75	51,67	33,33	15,00
SGKs	5,90	0,27	3,39	1,11	0,05	4,82	8,89	53,58	15,87	49,98	13,61	3,09	13,54	26,78	70,00	24,17	5,83

Tabela 1.0: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos dos solos Bauru Montividiu e Serra Geral *in natura*.

Solos <i>in natura</i>	Fator 1	Fator 2	Solos <i>in natura</i>	média	D P	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	Pmeh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte
pH (H ₂ O)	-1,00	0,01	pH(H ₂ O)	6,09	0,74	1,00																
K	0,92	0,39	K	0,23	0,12	-0,92	1,00															
Ca	-0,79	-0,62	Ca	2,83	0,54	0,78	-0,97	1,00														
Mg	-0,82	-0,57	Mg	0,92	0,21	0,82	-0,98	1,00	1,00													
Na	0,21	0,98	Na	0,29	0,03	-0,19	0,57	-0,76	-0,72	1,00												
SB	0,99	-0,17	SB	5,94	1,24	-0,99	0,84	-0,67	-0,72	0,04	1,00											
CTC	-0,97	0,24	CTC	18,90	8,33	0,97	-0,80	0,62	0,66	0,04	-1,00	1,00										
V	-0,99	-0,12	V	55,72	19,10	0,99	-0,96	0,86	0,89	-0,32	-0,96	0,93	1,00									
P (Meh)	-1,00	0,05	P (Meh)	41,25	39,70	1,00	-0,90	0,76	0,80	-0,16	-0,99	0,98	0,99	1,00								
P res	-0,95	-0,33	P res	33,73	11,44	0,94	-1,00	0,95	0,96	-0,51	-0,88	0,84	0,98	0,93	1,00							
P rem	-0,97	0,24	P rem	18,90	8,33	0,97	-0,80	0,62	0,66	0,04	-1,00	1,00	0,93	0,98	0,84	1,00						
M.O.	0,99	0,12	M.O.	2,74	0,83	-0,99	0,96	-0,86	-0,89	0,32	0,96	-0,93	-1,00	-0,99	-0,98	-0,93	1,00					
Si	1,00	0,10	Si	10,64	4,52	-0,99	0,95	-0,84	-0,87	0,30	0,97	-0,94	-1,00	-0,99	-0,97	-0,94	1,00	1,00				
Fe	-0,98	0,21	Fe	40,34	6,34	0,98	-0,82	0,64	0,69	0,00	-1,00	1,00	0,95	0,99	0,86	1,00	-0,95	-0,95	1,00			
Argila	0,90	-0,45	Argila	45,83	26,50	-0,90	0,65	-0,43	-0,49	-0,25	0,96	-0,98	-0,84	-0,91	-0,70	-0,98	0,84	0,85	-0,97	1,00		
Areia	-0,90	0,45	Areia	51,67	26,50	0,90	-0,65	0,43	0,49	0,25	-0,96	0,98	0,84	0,91	0,70	0,98	-0,84	-0,85	0,97	-1,00	1,00	
Silte	0,83	-0,56	Silte	2,50	0,01	-0,83	0,54	-0,30	-0,36	-0,38	0,91	-0,94	-0,75	-0,85	-0,60	-0,94	0,75	0,77	-0,93	0,99	-0,99	1,00

Tabela 1.1: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos dos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral em função dos atributos físico químicos – fatores de dissimilaridade – sob efeito do cultivo de milho ou soja.

B M SG milho e soja	Fator 1	Fator 2	B M SG milho e soja	média	DP	pH(H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	Pmeh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte
pH(H ₂ O)	-0,81	0,12	pH(H ₂ O)	6,24	0,69	1,00																
K	0,57	-0,39	K	0,18	0,09	-0,62	1,00															
Ca	-0,68	-0,14	Ca	2,75	0,53	0,37	-0,44	1,00														
Mg	-0,72	0,23	Mg	0,95	0,27	0,48	-0,48	0,89	1,00													
Na	0,12	-0,46	Na	0,16	0,11	-0,07	0,50	-0,07	-0,05	1,00												
SB	0,10	-0,51	SB	4,60	1,36	-0,24	0,57	0,33	0,24	0,64	1,00											
CTC	-0,18	-0,69	CTC	11,21	7,17	0,09	0,09	0,25	0,06	0,71	0,32	1,00										
V	-0,97	-0,14	V	54,83	15,88	0,77	-0,52	0,81	0,79	-0,03	0,09	0,29	1,00									
P (Meh)	-0,63	0,55	P (Meh)	86,16	93,11	0,51	-0,21	0,21	0,55	-0,07	-0,18	-0,22	0,49	1,00								
P res	-0,71	-0,13	P res	35,19	15,83	0,19	-0,16	0,71	0,64	-0,22	0,11	0,09	0,72	0,49	1,00							
P rem	-0,63	-0,66	P rem	15,80	8,13	0,55	-0,29	0,43	0,16	0,01	0,05	0,46	0,68	-0,13	0,40	1,00						
M.O.	0,85	-0,48	M.O.	2,32	0,81	-0,81	0,71	-0,45	-0,71	0,19	0,31	0,10	-0,75	-0,78	-0,43	-0,23	1,00					
Si	0,40	0,83	Si	14,23	6,09	-0,30	0,04	-0,41	-0,03	-0,06	-0,21	-0,51	-0,51	0,32	-0,36	-0,90	-0,10	1,00				
Fe	-0,52	0,65	Fe	75,05	60,53	0,40	-0,17	0,17	0,55	-0,11	-0,14	-0,36	0,39	0,98	0,43	-0,27	-0,74	0,47	1,00			
Argila	0,84	0,13	Argila	44,72	20,79	-0,75	0,36	-0,22	-0,28	0,00	0,25	-0,24	-0,73	-0,53	-0,48	-0,70	0,69	0,41	-0,40	1,00		
Areia	-0,81	-0,28	Areia	49,91	22,85	0,66	-0,24	0,22	0,22	0,04	-0,16	0,28	0,71	0,46	0,54	0,75	-0,58	-0,51	0,32	-0,98	1,00	
Silte	0,20	0,77	Silte	5,37	4,65	0,10	-0,44	-0,10	0,18	-0,16	-0,33	-0,32	-0,23	0,11	-0,51	-0,59	-0,27	0,72	0,21	0,35	-0,53	1,00

bela 1.2: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos os solos Bauru, Montividiu e Serra Geral em função dos atributos físico químicos – fatores de dissimilaridade – sob efeito da incorporação das rochas Micaxisto, Verdinho e Kamafugito.

B M SG + MS V K	Fator 1	Fator 2	B M SG + média	DP	pH(H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	P (Meh)	P res	P rem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte	
pH(H ₂ O)	-0,94	0,02	6,24	0,56	1,00																	
K	0,26	0,60	0,38	0,20	-0,40	1,00																
Ca	-0,77	-0,42	2,82	0,82	0,68	-0,37	1,00															
Mg	-0,85	-0,15	1,02	0,32	0,73	-0,02	0,85	1,00														
Na	0,49	0,25	0,38	0,47	-0,44	0,02	-0,48	-0,60	1,00													
SB	-0,12	-0,81	5,01	1,14	-0,02	-0,22	0,55	0,36	-0,17	1,00												
CTC	-0,19	-0,44	10,34	6,33	0,13	-0,47	0,14	-0,04	-0,05	0,19	1,00											
V	-0,96	0,11	61,18	13,98	0,91	-0,22	0,74	0,80	-0,28	0,08	0,10	1,00										
P (Meh)	-0,28	0,78	103,04	41,46	0,32	0,33	0,08	0,22	0,13	-0,63	-0,50	0,40	1,00									
P res	-0,77	-0,08	34,81	15,98	0,54	0,07	0,69	0,82	-0,23	0,43	0,13	0,79	0,11	1,00								
P rem	-0,64	-0,38	19,88	11,21	0,68	-0,51	0,72	0,67	-0,50	0,19	0,15	0,55	0,16	0,36	1,00							
M.O.	0,91	-0,31	2,29	0,76	-0,85	-0,07	-0,56	-0,80	0,49	0,10	0,09	-0,89	-0,44	-0,70	-0,39	1,00						
Si	0,38	-0,28	10,83	2,51	-0,33	0,04	-0,30	-0,12	-0,01	0,22	-0,47	-0,43	-0,34	-0,23	0,01	0,33	1,00					
Fe	-0,24	0,58	59,61	45,23	0,04	0,67	-0,11	0,19	-0,15	-0,17	-0,22	0,25	0,25	0,43	-0,38	-0,47	-0,19	1,00				
Argila	0,66	-0,48	40,21	14,48	-0,72	0,19	-0,10	-0,23	0,05	0,50	-0,17	-0,67	-0,44	-0,28	-0,25	0,67	0,38	-0,27	1,00			
Areia	-0,69	0,26	51,04	17,43	0,73	-0,29	0,14	0,25	-0,14	-0,27	0,29	0,66	0,15	0,36	0,21	-0,66	-0,30	0,32	-0,94	1,00		
Silte	0,40	0,37	8,75	6,35	-0,35	0,35	-0,16	-0,18	0,27	-0,39	-0,41	-0,29	0,60	-0,35	0,00	0,29	-0,06	-0,24	0,29	-0,61	1,00	

Tabela 1.3: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos do solo Bauru com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminação (B) - sob efeito do cultivo de milho.

Bauru MX V K milho	Fator 1	Fator 2	Bauru MX V K milho	média	DP	pH(H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	Pmeh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte
pH(H ₂ O)	-0,33	0,59	pH(H ₂ O)	6,93	0,33	1,00																
K	0,66	-0,39	K	0,28	0,19	-0,60	1,00															
Ca	-0,07	0,86	Ca	3,50	0,46	0,68	-0,41	1,00														
Mg	0,46	-0,79	Mg	1,24	0,15	-0,37	0,57	-0,69	1,00													
Na	-0,76	0,48	Na	0,15	0,07	0,29	-0,59	0,33	-0,86	1,00												
SB	0,48	0,62	SB	5,13	0,41	0,39	0,20	0,78	-0,21	-0,22	1,00											
CTC	-0,90	-0,16	CTC	9,60	7,60	0,03	-0,37	-0,15	-0,39	0,76	-0,59	1,00										
V	-0,34	-0,09	V	75,59	2,82	0,40	0,06	0,32	0,04	-0,02	0,33	0,26	1,00									
P (Meh)	0,44	0,67	P (Meh)	207,15	105,15	0,03	-0,04	0,27	-0,37	0,15	0,29	-0,44	-0,74	1,00								
P res	0,50	-0,15	P res	54,11	14,65	-0,66	0,72	-0,45	0,28	-0,19	-0,04	-0,23	-0,46	0,44	1,00							
P rem	-0,56	0,22	P rem	22,64	8,62	0,56	-0,36	0,49	-0,28	0,28	0,25	0,28	0,74	-0,43	-0,49	1,00						
M.O.	-0,67	-0,36	M.O.	1,29	0,30	-0,16	-0,12	-0,34	0,01	0,40	-0,52	0,68	0,21	-0,39	0,17	0,41	1,00					
Si	0,38	0,75	Si	22,29	16,36	0,23	0,13	0,40	-0,38	0,18	0,51	-0,39	-0,35	0,84	0,44	-0,09	-0,31	1,00				
Fe	0,48	0,69	Fe	193,85	142,83	-0,07	0,27	0,36	-0,43	0,16	0,50	-0,39	-0,45	0,86	0,56	-0,29	-0,38	0,91	1,00			
Argila	0,86	-0,10	Argila	25,00	3,65	-0,17	0,51	0,10	0,49	-0,84	0,58	-0,83	0,02	0,08	0,10	-0,35	-0,69	0,00	0,13	1,00		
Areia	-0,85	0,10	Areia	71,98	3,70	0,10	-0,50	-0,08	-0,53	0,88	-0,58	0,88	-0,06	-0,05	-0,05	0,24	0,71	-0,04	-0,10	-0,97	1,00	
Silte	0,04	0,01	Silte	3,02	0,88	0,29	-0,03	-0,05	0,22	-0,25	0,03	-0,25	0,18	-0,12	-0,20	0,41	-0,12	0,17	-0,10	-0,06	-0,18	1,00

Tabela 1.4: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos do solo Bauru com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de dissemelhança (B) - sob efeito do cultivo de soja.

Bauru MX V K soja	Fator 1	Fator 2	Bauru + MX V K + soja	média	DP	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	P meh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte	
pH (H ₂ O)	-0,73	0,34	pH (H ₂ O)	7,10	0,32	1,00																	
K	0,73	-0,22	K	0,26	0,22	-0,65	1,00																
Ca	-0,30	0,88	Ca	3,38	0,34	0,46	-0,49	1,00															
Mg	0,87	-0,09	Mg	1,15	0,20	-0,68	0,38	-0,24	1,00														
Na	-0,21	-0,31	Na	0,09	0,08	-0,23	-0,28	0,03	0,10	1,00													
SB	0,63	0,67	SB	4,84	0,39	-0,30	0,33	0,53	0,55	-0,11	1,00												
CTC	-0,32	-0,42	CTC	9,06	7,82	-0,23	-0,27	-0,08	-0,05	0,97	-0,30	1,00											
V	-0,09	0,87	V	77,33	1,28	0,21	-0,23	0,92	-0,10	0,16	0,67	0,04	1,00										
P (Meh)	-0,35	0,78	P (Meh)	142,05	75,34	0,46	-0,17	0,66	-0,59	-0,34	0,19	-0,30	0,68	1,00									
P res	-0,10	0,57	P res	53,93	14,38	-0,06	0,08	0,38	-0,36	-0,31	0,19	-0,23	0,46	0,80	1,00								
P rem	-0,65	0,20	P rem	27,52	5,52	0,85	-0,81	0,46	-0,37	0,12	-0,22	0,05	0,19	0,08	-0,38	1,00							
M.O.	-0,90	-0,24	M.O.	1,48	0,22	0,55	-0,54	0,15	-0,76	0,46	-0,60	0,55	0,01	0,08	-0,15	0,57	1,00						
Si	0,85	0,22	Si	8,21	2,85	-0,39	0,36	-0,06	0,86	-0,18	0,64	-0,35	0,09	-0,24	-0,22	-0,24	-0,86	1,00					
Fe	0,37	-0,36	Fe	88,78	72,94	-0,38	0,88	-0,51	-0,01	-0,30	0,02	-0,23	-0,36	-0,14	0,02	-0,63	-0,15	-0,05	1,00				
Argila	0,94	0,21	Argila	21,56	5,13	-0,64	0,61	0,00	0,86	-0,12	0,83	-0,27	0,18	-0,26	-0,09	-0,51	-0,82	0,83	0,27	1,00			
Areia	-0,95	-0,20	Areia	75,63	5,43	0,60	-0,57	0,04	-0,89	0,12	-0,80	0,28	-0,15	0,27	0,14	0,47	0,85	-0,90	-0,20	-0,99	1,00		
Silte	0,39	0,01	Silte	2,81	0,88	0,00	-0,04	-0,21	0,51	-0,05	0,08	-0,14	-0,10	-0,19	-0,37	0,11	-0,48	0,75	-0,32	0,27	-0,42	1,00	

Tabela 1.5: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos do solo Montividiu com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de dissemelhança (B) - sob efeito do cultivo de milho.

Montividiu MX V K milho	Fator 1	Fator 2	Montividiu MX V K milho	média	DP	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	P meh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte
pH (H ₂ O)	-0,75	-0,47	pH (H ₂ O)	6,13	0,42	1,00																
K	-0,19	0,22	K	0,36	0,16	-0,28	1,00															
Ca	-0,06	-0,57	Ca ²⁺	2,43	1,39	0,21	-0,26	1,00														
Mg	-0,11	-0,64	Mg ²⁺	0,69	0,13	0,33	-0,50	0,58	1,00													
Na	0,35	0,61	Na ⁺	0,47	0,51	-0,45	-0,23	-0,09	-0,35	1,00												
SB	0,55	-0,53	SB	4,32	1,70	-0,27	-0,24	0,78	0,42	0,11	1,00											
CTC	0,83	-0,53	CTC	8,61	3,04	-0,42	-0,16	0,31	0,22	-0,03	0,80	1,00										
V	-0,14	-0,11	V	49,86	10,18	0,05	-0,21	0,84	0,39	0,34	0,59	0,01	1,00									
P (Meh)	-0,90	0,31	P (Meh)	114,65	39,89	0,59	-0,01	0,01	0,02	0,04	-0,58	-0,94	0,28	1,00								
P res	0,74	0,09	P res	14,32	8,95	-0,55	-0,37	0,29	-0,05	0,77	0,67	0,58	0,42	-0,48	1,00							
P rem	0,61	-0,18	P rem	10,44	3,90	-0,42	-0,10	-0,09	-0,03	0,05	0,25	0,54	-0,31	-0,60	0,41	1,00						
M.O.	0,88	0,46	M.O.	2,43	0,63	-0,86	-0,04	-0,35	-0,45	0,57	0,22	0,49	-0,22	-0,67	0,67	0,43	1,00					
Si	-0,55	-0,66	Si	22,15	13,08	0,60	0,19	0,40	0,41	-0,46	0,09	-0,09	0,21	0,28	-0,34	-0,01	-0,80	1,00				
Fe	-0,63	-0,43	Fe	119,59	102,11	0,53	0,52	0,23	0,02	-0,43	-0,09	-0,24	0,11	0,34	-0,46	-0,19	-0,74	0,89	1,00			
Argila	0,54	-0,69	Argila	41,04	4,22	0,01	-0,17	0,00	0,20	-0,39	0,41	0,80	-0,42	-0,79	0,13	0,44	0,20	0,10	-0,02	1,00		
Areia	0,14	0,84	Areia	48,33	1,54	-0,71	0,33	-0,27	-0,32	0,57	-0,17	-0,28	0,17	0,13	0,24	-0,08	0,47	-0,52	-0,39	-0,67	1,00	
Silte	-0,74	0,48	Silte	10,62	3,39	0,31	0,07	0,12	-0,10	0,23	-0,43	-0,87	0,45	0,93	-0,26	-0,51	-0,46	0,11	0,21	-0,94	0,38	1,00

Tabela 1.6: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos do solo Montividiu com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminação (B) - sob efeito do cultivo de soja.

Montividiu MX V K soja	Fator 1	Fator 2	Montividiu + MX V K soja	média	DP	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	P meh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte	
pH (H ₂ O)	-0,47	0,69	pH (H ₂ O)	5,61	0,31	1,00																	
K	-0,70	-0,27	K	0,34	0,14	0,10	1,00																
Ca	0,59	0,25	Ca	2,24	0,78	0,28	-0,67	1,00															
Mg	0,17	0,81	Mg	0,60	0,06	0,47	-0,15	0,18	1,00														
Na	0,16	0,75	Na	0,75	1,16	0,21	-0,01	-0,08	0,67	1,00													
SB	0,42	0,81	SB	3,93	1,34	0,38	-0,31	0,45	0,72	0,85	1,00												
CTC	0,61	0,47	CTC	8,78	2,86	-0,13	-0,17	0,15	0,62	0,83	0,82	1,00											
V	-0,27	0,68	V	44,75	9,75	0,87	-0,22	0,50	0,27	0,16	0,43	-0,17	1,00										
P (Meh)	-0,91	0,36	P (Meh)	54,80	58,17	0,64	0,45	-0,48	0,09	0,09	-0,15	-0,45	0,50	1,00									
P res	0,71	0,32	P res	22,58	11,15	-0,03	-0,99	0,75	0,16	0,07	0,40	0,23	0,30	-0,46	1,00								
P rem	0,67	-0,08	P rem	12,14	3,95	-0,47	-0,37	0,09	0,04	0,21	0,20	0,46	-0,41	-0,55	0,33	1,00							
M.O.	0,76	0,49	M.O.	2,98	0,26	-0,24	-0,64	0,32	0,55	0,62	0,69	0,78	-0,06	-0,48	0,63	0,57	1,00						
Si	0,79	-0,42	Si	14,70	3,67	-0,57	-0,49	0,48	-0,12	-0,37	-0,09	0,14	-0,42	-0,85	0,44	0,57	0,40	1,00					
Fe	-0,55	-0,50	Fe	52,45	30,17	0,01	0,82	-0,35	-0,55	-0,27	-0,38	-0,33	-0,11	0,22	-0,76	-0,40	-0,77	-0,34	1,00				
Argila	0,90	-0,33	Argila	45,31	6,52	-0,58	-0,42	0,52	-0,09	-0,07	0,20	0,47	-0,44	-0,99	0,46	0,51	0,44	0,80	-0,16	1,00			
Areia	-0,83	0,36	Areia	48,23	1,59	0,46	0,43	-0,60	0,22	0,15	-0,17	-0,35	0,30	0,93	-0,49	-0,48	-0,29	-0,72	0,06	-0,96	1,00		
Silte	-0,90	0,32	Silte	6,46	5,01	0,60	0,42	-0,49	0,05	0,04	-0,21	-0,50	0,48	1,00	-0,44	-0,51	-0,48	-0,81	0,19	-1,00	0,93	1,00	

Tabela 1.7: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos do solo Serra Geral com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de dissimilaridade (B) - sob efeito do cultivo de milho

Serra Geral MX V K milho	Fator 1	Fator 2	Serra Geral + rochas + milho	média	DP	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	P (Meh)	P res	P rem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte
pH (H ₂ O)	-0,84	0,38	pH (H ₂ O)	6,22	0,29	1,00																
K	-0,03	-0,91	K	0,32	0,23	-0,40	1,00															
Ca	-0,22	0,82	Ca	3,26	0,73	0,41	-0,55	1,00														
Mg	-0,67	0,50	Mg	1,18	0,14	0,62	-0,48	0,49	1,00													
Na	0,15	-0,71	Na	0,24	0,22	-0,48	0,69	-0,47	-0,33	1,00												
SB	0,66	0,45	SB	5,29	0,86	-0,47	-0,24	0,50	-0,23	0,02	1,00											
CTC	0,95	0,18	CTC	8,95	1,61	-0,75	-0,14	0,02	-0,53	0,11	0,85	1,00										
V	-0,70	0,42	V	58,74	6,14	0,64	-0,14	0,79	0,65	-0,18	0,05	-0,48	1,00									
P (Meh)	-0,86	-0,34	P (Meh)	103,17	37,24	0,47	0,37	-0,09	0,51	0,05	-0,76	-0,90	0,46	1,00								
P res	-0,34	-0,85	P res	36,27	5,11	0,02	0,81	-0,58	-0,26	0,56	-0,49	-0,40	-0,07	0,50	1,00							
P rem	-0,46	0,48	P rem	22,93	15,77	0,56	-0,35	0,54	0,67	-0,35	0,14	-0,21	0,63	0,19	-0,01	1,00						
M.O.	0,70	-0,08	M.O.	2,03	0,58	-0,78	0,24	-0,10	-0,35	0,13	0,63	0,74	-0,34	-0,44	-0,07	0,02	1,00					
Si	-0,39	0,13	Si	22,83	14,14	0,71	-0,31	-0,01	0,02	-0,22	-0,43	-0,43	0,08	0,01	0,09	0,05	-0,80	1,00				
Fe	-0,33	-0,21	Fe	103,60	86,41	0,50	0,04	-0,25	-0,25	-0,02	-0,56	-0,46	-0,07	0,11	0,29	-0,30	-0,76	0,90	1,00			
Argila	0,90	0,19	Argila	54,90	6,75	-0,55	-0,33	-0,19	-0,59	-0,08	0,50	0,82	-0,72	-0,92	-0,47	-0,44	0,38	0,01	0,00	1,00		
Areia	-0,54	-0,57	Areia	31,04	2,77	0,13	0,66	-0,20	0,19	0,44	-0,34	-0,48	0,34	0,70	0,83	0,36	0,02	-0,21	-0,13	-0,78	1,00	
Silte	-0,93	0,07	Silte	14,06	4,89	0,68	0,07	0,38	0,71	-0,14	-0,50	-0,86	0,81	0,87	0,19	0,41	-0,53	0,11	0,08	-0,94	0,51	1,00

Tabela 1.8: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos do solo Serra Geral com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de dissemelhança (B) - sob efeito do cultivo de soja.

Serra Geral MX V K soja	Fator 1	Fator 2	Serra Geral MX V K soja	média	DP	pH (H2O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	Pmeh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte	
pH (H2O)	-0,49	-0,82	pH (H2O)	6,05	0,29	1,00																	
K	-0,64	0,56	K	0,34	0,18	-0,13	1,00																
Ca	-0,07	-0,93	Ca	3,46	0,78	0,86	-0,51	1,00															
Mg	-0,81	-0,15	Mg	1,09	0,12	0,48	0,34	0,10	1,00														
Na	0,36	0,61	Na	0,46	0,90	-0,53	0,06	-0,39	-0,44	1,00													
SB	0,07	-0,10	SB	5,35	0,85	0,26	-0,15	0,40	-0,17	0,65	1,00												
CTC	0,51	0,40	CTC	9,20	1,46	-0,44	-0,19	-0,18	-0,50	0,95	0,74	1,00											
V	-0,64	-0,69	V	57,47	7,36	0,96	0,10	0,77	0,51	-0,47	0,30	-0,43	1,00										
P (Meh)	-0,96	0,24	P (Meh)	60,27	56,56	0,29	0,69	-0,14	0,75	-0,14	-0,03	-0,33	0,45	1,00									
P res	0,06	-0,75	P res	43,56	12,21	0,63	-0,14	0,73	-0,11	-0,38	0,22	-0,25	0,63	-0,28	1,00								
P rem	-0,58	-0,14	P rem	17,75	10,58	0,41	-0,02	0,09	0,83	-0,26	-0,09	-0,29	0,33	0,61	-0,35	1,00							
M.O.	0,84	-0,08	M.O.	10,62	10,67	0,24	0,66	-0,21	0,78	-0,15	-0,10	-0,35	0,39	0,99	-0,35	0,67	1,00						
Si	0,66	-0,16	Si	11,66	1,77	-0,19	-0,46	-0,07	-0,18	0,06	-0,13	0,16	-0,40	-0,67	0,12	-0,03	-0,58	1,00					
Fe	-0,22	0,42	Fe	40,40	18,76	-0,16	0,79	-0,37	-0,10	0,13	-0,05	-0,04	0,00	0,20	0,13	-0,43	0,15	-0,20	1,00				
Argila	0,96	-0,24	Argila	62,55	10,42	-0,28	-0,69	0,15	-0,76	0,14	0,03	0,33	-0,45	-1,00	0,28	-0,61	-0,99	0,65	-0,20	1,00			
Areia	-0,87	0,26	Areia	28,18	4,77	0,31	0,74	-0,08	0,63	0,12	0,30	-0,06	0,50	0,92	-0,12	0,43	0,88	-0,63	0,37	-0,92	1,00		
Silte	-0,92	0,20	Silte	9,27	6,32	0,23	0,58	-0,19	0,79	-0,32	-0,27	-0,50	0,36	0,96	-0,37	0,68	0,97	-0,60	0,05	-0,96	0,76	1,00	

Tabela 1.9: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos da influência da rocha Micaxisto incorporada aos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminação - sob efeito do cultivo de milho.

Micaxisto B M SG milho	fator 1	fator 2	Micaxisto B M SG milho	média	DP	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	Pmeh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte
pH (H ₂ O)	-0,70	0,35	pH (H ₂ O)	6,31	0,45	1,00																
K	0,11	0,36	K	0,40	0,24	-0,26	1,00															
Ca	-0,77	-0,40	Ca	2,59	0,65	0,33	-0,34	1,00														
Mg	-0,74	-0,15	Mg	1,00	0,29	0,29	-0,10	0,90	1,00													
Na	0,22	-0,38	Na	0,23	0,19	-0,31	0,25	0,04	0,01	1,00												
SB	-0,16	-0,72	SB	4,63	1,30	-0,42	-0,10	0,60	0,42	0,34	1,00											
CTC	-0,19	-0,76	CTC	10,17	6,39	0,12	-0,43	0,33	0,02	0,25	0,31	1,00										
V	-0,94	-0,14	V	57,18	14,08	0,55	-0,01	0,82	0,85	-0,06	0,23	0,25	1,00									
P (Meh)	-0,66	0,55	P (Meh)	135,20	93,59	0,57	0,08	0,28	0,40	-0,22	-0,24	-0,43	0,50	1,00								
P res	-0,86	-0,11	P res	37,09	25,19	0,36	0,06	0,84	0,87	0,04	0,48	0,03	0,88	0,57	1,00							
P rem	-0,70	-0,51	P rem	13,02	6,47	0,46	-0,22	0,61	0,32	0,07	0,37	0,75	0,65	0,13	0,52	1,00						
M.O.	0,68	-0,56	M.O.	1,97	0,70	-0,72	-0,06	-0,40	-0,61	0,35	0,37	0,28	-0,66	-0,62	-0,53	-0,06	1,00					
Si	-0,18	0,69	Si	22,15	15,99	0,37	0,17	-0,01	-0,02	-0,24	-0,20	-0,41	-0,04	0,46	0,15	-0,08	-0,39	1,00				
Fe	-0,45	0,76	Fe	161,01	123,20	0,49	0,35	0,09	0,17	-0,33	-0,25	-0,49	0,27	0,69	0,38	0,02	-0,63	0,89	1,00			
Argila	0,77	-0,12	Argila	41,81	15,80	-0,68	-0,04	-0,26	-0,27	0,26	0,27	-0,21	-0,68	-0,61	-0,45	-0,62	0,51	0,01	-0,32	1,00		
Areia	-0,81	-0,05	Areia	50,42	18,80	0,61	-0,04	0,37	0,30	-0,28	-0,06	0,30	0,71	0,54	0,53	0,73	-0,39	-0,07	0,26	-0,96	1,00	
Silte	0,56	0,53	Silte	7,78	5,52	-0,13	0,24	-0,52	-0,27	0,23	-0,58	-0,42	-0,46	-0,09	-0,50	-0,71	-0,10	0,20	0,03	0,42	-0,65	1,00

Tabela 1.10: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos da influência da rocha Micaxisto incorporada aos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral em função dos atributos físico químicos – fatores de dissemelhança - sob efeito do cultivo de soja.

Micaxisto B M SG soja	fator 1	fator 2	Micaxisto B M SG soja	média	DP	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	Pmeh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte
pH (H ₂ O)	-0,95	-0,05	pH (H ₂ O)	6,10	0,72	1,00																
K	-0,02	0,84	K	0,37	0,23	-0,12	1,00															
Ca	-0,63	-0,60	Ca	2,67	0,63	0,61	-0,35	1,00														
Mg	-0,74	-0,16	Mg	0,92	0,28	0,63	0,10	0,83	1,00													
Na	0,02	0,11	Na	0,17	0,22	-0,11	0,34	-0,03	0,19	1,00												
SB	-0,18	-0,44	SB	4,55	1,32	0,14	-0,01	0,50	0,51	0,46	1,00											
CTC	-0,15	-0,54	CTC	10,29	6,39	0,11	-0,40	0,25	0,11	0,34	0,30	1,00										
V	-0,98	-0,05	V	55,96	16,68	0,93	0,02	0,72	0,84	0,02	0,25	0,16	1,00									
P (Meh)	-0,68	0,67	P (Meh)	63,40	53,54	0,63	0,58	0,03	0,44	0,24	-0,07	-0,13	0,66	1,00								
P res	-0,70	-0,27	P res	35,82	16,95	0,54	0,00	0,83	0,88	0,11	0,40	0,08	0,76	0,27	1,00							
P rem	-0,77	-0,41	P rem	16,64	7,69	0,82	-0,49	0,58	0,34	-0,17	0,10	0,32	0,71	0,19	0,44	1,00						
M.O.	0,92	-0,29	M.O.	2,42	0,73	-0,80	-0,26	-0,41	-0,67	0,07	0,05	0,06	-0,89	-0,78	-0,63	-0,55	1,00					
Si	0,87	-0,07	Si	11,08	3,73	-0,93	0,05	-0,49	-0,60	-0,12	-0,12	-0,22	-0,88	-0,74	-0,42	-0,66	0,74	1,00				
Fe	-0,58	0,56	Fe	82,60	62,53	0,47	0,62	0,09	0,30	-0,22	-0,08	-0,39	0,52	0,66	0,32	0,22	-0,70	-0,34	1,00			
Argila	0,79	-0,25	Argila	44,51	20,29	-0,75	-0,05	-0,09	-0,23	0,09	0,20	-0,14	-0,69	-0,69	-0,26	-0,70	0,81	0,72	-0,54	1,00		
Areia	-0,79	0,10	Areia	50,49	21,56	0,75	-0,06	0,16	0,23	-0,18	-0,14	0,19	0,68	0,56	0,30	0,77	-0,78	-0,66	0,52	-0,98	1,00	
Silte	0,23	0,66	Silte	5,00	4,36	-0,19	0,55	-0,39	-0,03	0,50	-0,21	-0,25	-0,17	0,43	-0,27	-0,57	0,08	-0,09	-0,09	0,19	-0,38	1,00

Tabela 1.11: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos da influência da rocha Verdinho incorporada aos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminhança - sob efeito do cultivo de milho.

Verdinho B M SG milho	fator 1	fator 2	Verdinho B M SG milho	média	DP	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	Pmeh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte	
pH (H ₂ O)	-0,85	-0,10	pH (H ₂ O)	6,42	0,53	1,00																	
K	0,50	-0,05	K	0,22	0,10	-0,56	1,00																
Ca	-0,50	0,60	Ca	3,45	1,12	0,31	0,00	1,00															
Mg	-0,58	0,19	Mg	1,01	0,26	0,36	-0,46	0,38	1,00														
Na	0,40	-0,30	Na	0,31	0,39	-0,37	0,32	-0,32	-0,59	1,00													
SB	0,12	0,42	SB	5,40	1,20	-0,39	0,46	0,60	0,04	-0,10	1,00												
CTC	0,05	-0,55	CTC	10,73	6,15	-0,02	-0,13	-0,09	-0,04	-0,02	0,06	1,00											
V	-0,85	-0,03	V	62,60	13,43	0,66	-0,24	0,67	0,55	-0,11	0,13	0,09	1,00										
P (Meh)	-0,73	0,02	P (Meh)	129,07	87,16	0,53	-0,19	0,19	0,22	-0,09	-0,32	-0,45	0,49	1,00									
P res	-0,69	-0,31	P res	33,64	14,92	0,32	-0,21	0,16	0,66	-0,21	0,02	0,09	0,66	0,56	1,00								
P rem	-0,61	-0,01	P rem	18,48	10,45	0,59	-0,22	0,44	0,51	-0,39	0,20	0,21	0,63	0,09	0,44	1,00							
M.O.	0,92	-0,27	M.O.	2,02	0,75	-0,82	0,63	-0,52	-0,64	0,49	0,23	0,23	-0,71	-0,69	-0,48	-0,44	1,00						
Si	-0,37	0,76	Si	19,29	11,71	0,24	-0,29	0,59	0,02	-0,23	0,28	-0,39	0,18	0,36	-0,14	0,09	-0,51	1,00					
Fe	-0,68	0,38	Fe	117,47	103,00	0,46	-0,29	0,46	0,09	-0,19	0,07	-0,36	0,42	0,78	0,30	0,17	-0,68	0,82	1,00				
Argila	0,72	0,54	Argila	41,46	15,70	-0,70	0,15	-0,12	-0,08	-0,07	0,33	-0,21	-0,68	-0,62	-0,52	-0,34	0,51	0,05	-0,38	1,00			
Areia	-0,68	-0,65	Areia	50,14	19,21	0,63	-0,14	0,02	0,05	0,01	-0,25	0,29	0,60	0,55	0,58	0,34	-0,40	-0,13	0,34	-0,95	1,00		
Silte	0,26	0,64	Silte	8,40	6,28	-0,18	0,03	0,24	0,04	0,12	-0,08	-0,36	-0,12	-0,13	-0,47	-0,17	-0,04	0,25	-0,11	0,42	-0,67	1,00	

Tabela 1.12: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos da influência da rocha Verdinho incorporada aos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminhança - sob efeito do cultivo de soja.

Verdinho B M SG soja	fator 1	fator 2	Verdinho B M SG soja	média	DP	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	Pmeh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte
pH (H ₂ O)	-0,98	0,11	pH (H ₂ O)	6,32	0,75	1,00																
K	0,61	0,05	K	0,21	0,09	-0,57	1,00															
Ca	-0,46	0,79	Ca	3,32	0,89	0,56	-0,24	1,00														
Mg	-0,60	0,50	Mg	0,91	0,25	0,63	-0,16	0,54	1,00	-0,38												
Na	0,23	-0,60	Na	0,24	0,41	-0,23	0,43	-0,45	-0,38	1,00												
SB	0,07	0,54	SB	5,09	1,12	0,05	0,48	0,35	0,31	0,02	1,00											
CTC	-0,03	-0,15	CTC	10,50	6,27	-0,02	-0,04	-0,16	0,13	0,07	0,12	1,00										
V	-0,92	0,15	V	61,32	15,43	0,96	-0,47	0,64	0,64	-0,08	0,09	0,03	1,00									
P (Meh)	-0,71	-0,14	P (Meh)	80,97	88,76	0,68	-0,18	0,24	0,21	0,11	-0,05	-0,20	0,65	1,00								
P res	-0,66	0,43	P res	42,26	16,63	0,70	-0,58	0,72	0,30	-0,40	0,05	-0,15	0,66	0,58	1,00							
P rem	-0,87	0,03	P rem	19,25	9,08	0,81	-0,43	0,29	0,70	-0,45	-0,07	0,10	0,70	0,55	0,39	1,00						
M.O.	0,97	-0,02	M.O.	2,48	0,71	-0,93	0,53	-0,43	-0,68	0,27	0,12	0,02	-0,88	-0,68	-0,56	-0,92	1,00					
Si	0,79	0,11	Si	10,79	3,95	-0,77	0,31	-0,19	-0,61	-0,10	0,00	-0,20	-0,76	-0,68	-0,42	-0,67	0,77	1,00				
Fe	-0,75	-0,35	Fe	43,52	13,56	0,76	-0,45	0,12	0,26	0,19	-0,03	-0,13	0,72	0,47	0,27	0,54	-0,69	-0,54	1,00			
Argila	0,81	0,54	Argila	44,06	20,52	-0,72	0,44	0,04	-0,19	-0,10	0,33	-0,14	-0,66	-0,66	-0,27	-0,74	0,79	0,66	-0,77	1,00		
Areia	-0,81	-0,52	Areia	50,80	21,88	0,73	-0,55	-0,03	0,16	0,00	-0,30	0,18	0,63	0,58	0,32	0,73	-0,77	-0,57	0,79	-0,98	1,00	
Silte	0,22	0,02	Silte	5,14	4,90	-0,22	0,61	-0,02	0,09	0,40	-0,01	-0,20	-0,05	0,16	-0,29	-0,17	0,11	-0,18	-0,31	0,17	-0,38	1,00

Tabela 1.13: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos da influência da rocha Kamafugito incorporada aos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral em função dos atributos físico químicos – fatores de disseminhança - sob efeito do cultivo de milho.

Kamafugito B M SG milho	fator 1	fator 2	Kamafugito B M SG milho	média	DP	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	P meh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte	
pH (H ₂ O)	-0,84	0,13	pH (H ₂ O)	6,42	0,55	1,00																	
K	0,54	-0,29	K	0,22	0,09	-0,55	1,00																
Ca	-0,76	-0,30	Ca	2,84	0,65	0,52	-0,35	1,00															
Mg	-0,75	-0,13	Mg	1,06	0,28	0,51	-0,37	0,89	1,00														
Na	0,56	0,01	Na	0,26	0,24	-0,53	0,35	-0,66	-0,65	1,00													
SB	0,07	-0,61	SB	4,79	1,12	-0,34	0,28	0,43	0,22	-0,24	1,00												
CTC	0,03	-0,73	CTC	10,30	6,32	-0,02	-0,16	0,13	-0,12	0,07	0,25	1,00											
V	-0,89	-0,36	V	58,71	13,37	0,72	-0,33	0,79	0,78	-0,39	0,06	0,18	1,00										
P (Meh)	-0,72	0,42	P (Meh)	131,02	88,10	0,55	-0,24	0,33	0,34	-0,21	-0,33	-0,43	0,49	1,00									
P res	-0,72	-0,44	P res	32,88	16,20	0,33	-0,18	0,73	0,70	-0,30	0,35	0,15	0,80	0,49	1,00								
P rem	-0,15	-0,37	P rem	20,05	13,21	0,16	0,15	0,40	0,47	-0,12	0,14	0,14	0,37	-0,18	0,32	1,00							
M.O.	0,92	-0,32	M.O.	2,03	0,80	-0,86	0,68	-0,59	-0,68	0,52	0,31	0,24	-0,73	-0,71	-0,46	-0,01	1,00						
Si	-0,24	0,78	Si	19,03	8,90	0,23	-0,37	0,12	0,20	-0,21	-0,20	-0,56	-0,09	0,39	-0,17	-0,06	-0,47	1,00					
Fe	-0,66	0,51	Fe	91,24	71,38	0,46	-0,47	0,33	0,28	-0,30	-0,16	-0,36	0,31	0,88	0,39	-0,35	-0,69	0,61	1,00				
Argila	0,66	0,16	Argila	41,25	15,60	-0,67	0,15	-0,17	-0,17	0,00	0,39	-0,19	-0,69	-0,56	-0,43	-0,04	0,56	0,16	-0,32	1,00			
Areia	-0,64	-0,29	Areia	50,49	18,73	0,60	-0,14	0,19	0,11	-0,03	-0,19	0,29	0,67	0,50	0,48	-0,07	-0,49	-0,24	0,33	-0,96	1,00		
Silte	0,28	0,51	Silte	8,26	5,91	-0,15	0,03	-0,16	0,09	0,10	-0,44	-0,41	-0,29	-0,11	-0,39	0,35	0,08	0,34	-0,21	0,39	-0,64	1,00	

Tabela 1.14: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos da influência da rocha Kamafugito incorporada aos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral em função dos atributos físico químico – fatores de dissemelhança - sob efeito do cultivo de soja.

Kamafugito B M SG soja	fator 1	fator 2	Kamafugito B M SG soja	média	DP	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	P meh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte
pH (H ₂ O)	-0,98	0,04	pH (H ₂ O)	6,18	0,74	1,00																
K	0,61	0,46	K	0,23	0,09	-0,54	1,00															
Ca	-0,69	0,55	Ca ²⁺	2,85	0,61	0,67	-0,38	1,00														
Mg	-0,73	0,62	Mg ²⁺	0,96	0,28	0,77	-0,20	0,89	1,00													
Na	0,27	-0,33	Na ⁺	0,19	0,27	-0,23	0,37	-0,66	-0,42	1,00												
SB	-0,09	0,37	SB	4,65	1,16	0,13	0,26	0,34	0,37	-0,03	1,00											
CTC	-0,11	-0,29	CTC	10,40	6,32	0,05	-0,17	0,08	0,00	0,17	0,26	1,00										
V	-0,98	0,12	V	56,83	16,32	0,99	-0,51	0,73	0,82	-0,21	0,15	0,12	1,00									
P (Meh)	-0,70	0,16	P (Meh)	64,93	56,23	0,71	-0,06	0,30	0,49	0,21	-0,03	-0,14	0,73	1,00								
P res	-0,76	0,19	P res	37,80	12,83	0,70	-0,57	0,78	0,62	-0,49	0,04	-0,04	0,73	0,47	1,00							
P rem	-0,78	0,34	P rem	21,32	9,84	0,77	-0,13	0,56	0,72	-0,18	0,10	0,00	0,78	0,80	0,45	1,00						
M.O.	0,95	0,05	M.O.	2,54	0,79	-0,95	0,57	-0,56	-0,68	0,24	0,02	0,02	-0,93	-0,71	-0,67	-0,73	1,00					
Si	0,84	0,14	Si	12,22	4,18	-0,80	0,66	-0,55	-0,51	0,03	-0,21	-0,32	-0,80	-0,53	-0,66	-0,56	0,67	1,00				
Fe	-0,65	-0,49	Fe	36,04	12,18	0,64	-0,63	0,20	0,18	0,01	0,11	0,18	0,56	0,27	0,27	0,38	-0,54	-0,76	1,00			
Argila	0,78	0,43	Argila	43,82	20,69	-0,77	0,44	-0,13	-0,26	-0,08	0,21	-0,13	-0,72	-0,71	-0,38	-0,63	0,83	0,57	-0,62	1,00		
Areia	-0,76	-0,54	Areia	50,63	22,09	0,74	-0,54	0,14	0,20	0,01	-0,18	0,18	0,68	0,58	0,41	0,51	-0,82	-0,57	0,66	-0,98	1,00	
Silte	0,15	0,60	Silte	5,56	4,79	-0,11	0,58	-0,04	0,18	0,32	-0,11	-0,26	-0,05	0,38	-0,23	0,38	0,17	0,16	-0,35	0,19	-0,39	1,00

Tabela 1.15: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos do solo Bauru com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito em função dos atributos físico químicos – fatores de dissimilaridade - sob efeito do cultivo de milho e soja.

Bauru MX V K + milho e soja	Fator 1	Fator 2	Bauru MX V K + milho e soja	média	DP	pH(H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	Pmeh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte	
pH(H ₂ O)	-0,53	0,64	pH(H ₂ O)	7,05	0,32	1,00																	
K	0,46	-0,48	K	0,26	0,19	-0,51	1,00																
Ca	0,15	0,92	Ca	3,46	0,42	0,47	-0,41	1,00															
Mg	0,56	-0,61	Mg	1,16	0,18	-0,63	0,40	-0,40	1,00														
Na	0,22	0,33	Na	0,12	0,08	-0,19	-0,25	0,32	0,02	1,00													
SB	0,70	0,52	SB	4,97	0,43	-0,04	0,20	0,72	0,21	0,26	1,00												
CTC	-0,35	-0,05	CTC	8,39	6,32	-0,13	-0,24	-0,08	-0,06	0,73	-0,27	1,00											
V	-0,49	0,27	V	76,08	2,52	0,49	-0,05	0,36	-0,25	-0,20	0,16	0,15	1,00										
P (Meh)	0,51	0,54	P (Meh)	196,13	100,41	0,02	-0,07	0,46	-0,24	0,21	0,42	-0,30	-0,42	1,00									
P res	0,17	-0,02	P res	55,60	14,84	-0,28	0,29	-0,05	-0,07	-0,19	0,06	-0,21	-0,08	0,56	1,00								
P rem	-0,66	0,41	P rem	24,75	7,58	0,63	-0,38	0,33	-0,43	-0,09	-0,07	0,12	0,71	-0,41	-0,29	1,00							
M.O.	-0,79	-0,18	M.O.	1,38	0,28	0,17	-0,12	-0,34	-0,34	-0,08	-0,64	0,42	0,29	-0,37	0,15	0,52	1,00						
Si	0,73	0,45	Si	17,03	15,19	-0,12	0,18	0,37	0,13	0,45	0,63	-0,18	-0,41	0,69	0,22	-0,28	-0,49	1,00					
Fe	0,71	0,30	Fe	161,23	131,41	-0,25	0,43	0,22	-0,02	0,35	0,51	-0,22	-0,50	0,63	0,21	-0,40	-0,43	0,87	1,00				
Argila	0,87	-0,15	Argila	22,71	4,48	-0,51	0,44	0,14	0,72	0,10	0,72	-0,30	-0,22	0,15	-0,08	-0,52	-0,76	0,39	0,37	1,00			
Areia	-0,87	0,13	Areia	74,44	4,71	0,48	-0,42	-0,13	-0,74	-0,10	-0,72	0,31	0,20	-0,13	0,11	0,46	0,76	-0,42	-0,36	-0,99	1,00		
Silte	0,25	0,06	Silte	2,85	0,75	0,03	0,03	0,01	0,37	0,05	0,21	-0,13	0,05	-0,04	-0,20	0,21	-0,27	0,31	0,05	0,22	-0,37	1,00	

Tabela 1.16: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos do solo Montividiu com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito em função dos atributos físico químicos – fatores de dissimilaridade - sob efeito do cultivo de milho e soja.

Montividiu MX V K milho e soja	Fator 1	Fator 2	Montividiu MX V K milho e soja	média	DP	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	P meh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte
pH(H ₂ O)	-0,81	-0,27	pH(H ₂ O)	5,90	0,51	1,00																
K	-0,30	0,47	K	0,34	0,15	-0,07	1,00															
Ca	-0,13	-0,89	Ca	2,49	1,22	0,22	-0,32	1,00														
Mg	-0,50	-0,60	Mg	0,65	0,12	0,56	-0,30	0,47	1,00													
Na	-0,21	0,13	Na	0,33	0,46	0,03	-0,06	-0,10	-0,04	1,00												
SB	-0,03	-0,84	SB	4,04	1,49	0,13	-0,19	0,75	0,49	0,21	1,00											
CTC	0,44	-0,56	CTC	8,51	2,43	-0,24	-0,12	0,27	0,21	-0,01	0,74	1,00										
V	-0,52	-0,61	V	47,06	10,81	0,47	-0,15	0,77	0,51	0,40	0,68	0,03	1,00									
P (Meh)	-0,95	0,14	P (Meh)	80,33	59,89	0,78	0,22	-0,04	0,43	0,40	-0,04	-0,45	0,45	1,00								
P res	0,67	-0,39	P res	18,55	11,05	-0,49	-0,58	0,35	-0,22	0,19	0,34	0,34	0,16	-0,64	1,00							
P rem	0,68	-0,12	P rem	11,32	3,40	-0,53	-0,16	-0,07	-0,24	-0,13	0,09	0,46	-0,38	-0,62	0,44	1,00						
M.O.	0,85	0,17	M.O.	2,61	0,58	-0,80	-0,19	-0,23	-0,53	0,23	0,05	0,40	-0,33	-0,71	0,68	0,51	1,00					
Si	-0,53	-0,39	Si	20,66	10,70	0,53	0,21	0,35	0,45	-0,31	0,14	-0,07	0,24	0,32	-0,34	-0,09	-0,77	1,00				
Fe	-0,66	-0,08	Fe	96,44	90,39	0,54	0,58	0,14	0,15	-0,18	0,01	-0,20	0,19	0,48	-0,56	-0,29	-0,78	0,85	1,00			
Argila	0,84	-0,25	Argila	44,03	5,58	-0,51	-0,29	0,07	-0,31	-0,56	0,02	0,43	-0,47	-0,92	0,50	0,56	0,47	-0,11	-0,30	1,00		
Areia	-0,30	0,46	Areia	47,92	1,45	-0,16	0,36	-0,29	0,02	0,62	-0,06	-0,20	0,18	0,42	-0,15	-0,25	0,17	-0,32	-0,17	-0,71	1,00	
Silte	-0,91	0,16	Silte	8,06	4,66	0,67	0,24	0,01	0,36	0,48	0,00	-0,46	0,51	0,98	-0,55	-0,59	-0,62	0,23	0,41	-0,98	0,54	1,00

Tabela 1.17: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos do solo Serra Geral com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito em função dos atributos físico químicos – fatores de dissemelhança - sob efeito do cultivo de milho e soja.

Serra Geral MX V K milho e soja	Fator 1	Fator 2	Serra Geral MX V K milho e soja	média	DP	pH(H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	Pmeh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte
pH(H ₂ O)	-0,68	-0,59	pH(H ₂ O)	6,17	0,30	1,00																
K	-0,15	0,62	K	0,29	0,19	-0,28	1,00															
Ca	0,04	-0,95	Ca	3,42	0,80	0,53	-0,48	1,00														
Mg	-0,73	-0,32	Mg	1,14	0,14	0,52	-0,25	0,18	1,00													
Na	-0,29	0,54	Na	0,18	0,20	-0,20	0,67	-0,43	-0,01	1,00												
SB	0,19	-0,56	SB	5,22	0,85	0,08	-0,18	0,61	-0,05	0,08	1,00											
CTC	0,56	-0,03	CTC	8,89	1,29	-0,50	-0,11	0,05	-0,38	0,13	0,74	1,00										
V	-0,49	-0,75	V	58,17	6,88	0,79	-0,11	0,80	0,47	-0,05	0,44	-0,27	1,00									
P (Meh)	-0,92	0,21	P (Meh)	75,24	50,95	0,44	0,36	-0,23	0,63	0,42	-0,21	-0,46	0,33	1,00								
P res	0,30	-0,38	P res	40,88	10,96	0,25	0,14	0,43	-0,32	-0,11	0,16	-0,12	0,37	-0,35	1,00							
P rem	-0,54	-0,43	P rem	19,67	13,48	0,47	-0,24	0,25	0,70	-0,12	0,14	-0,17	0,44	0,39	-0,24	1,00						
M.O.	0,87	-0,05	M.O.	2,32	0,64	-0,68	0,03	0,05	-0,54	-0,24	0,20	0,47	-0,36	-0,73	0,31	-0,23	1,00					
Si	-0,59	0,08	Si	19,39	12,38	0,58	-0,19	-0,14	0,22	0,02	-0,27	-0,36	0,09	0,34	-0,23	0,19	-0,79	1,00				
Fe	-0,55	0,32	Fe	81,84	76,45	0,45	0,13	-0,28	0,02	0,19	-0,34	-0,38	0,02	0,40	-0,16	-0,10	-0,79	0,91	1,00			
Argila	0,94	-0,10	Argila	59,97	9,24	-0,47	-0,34	0,11	-0,68	-0,44	0,09	0,41	-0,44	-0,97	0,36	-0,53	0,71	-0,33	-0,35	1,00		
Areia	-0,80	0,10	Areia	28,85	4,14	0,42	0,50	-0,12	0,50	0,59	0,13	-0,17	0,43	0,87	-0,12	0,46	-0,57	0,22	0,28	-0,90	1,00	
Silte	-0,92	0,08	Silte	11,18	5,82	0,45	0,18	-0,09	0,73	0,27	-0,24	-0,53	0,40	0,93	-0,49	0,52	-0,73	0,37	0,35	-0,95	0,71	1,00

Tabela 1.18: Matriz do produto vetorial (coordenadas das variáveis Fator 1 e Fator 2) e matriz de correlação para os atributos físico-químicos dos solos Bauru, Montividiu e Serra Geral *in natura* e com incorporação de cada rocha Micaxisto, Verdinho e Kamafugito (A) em função dos atributos físico químicos – fatores de dissemelhança (B) - sob efeito do cultivo de milho e soja.

B M SG + MX V K + milho e soja	Fator 1	Fator 2	B M SG + MX V K + milho e soja	média	DP	pH (H ₂ O)	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC	V	PMeh	Pres	Prem	M.O.	Si	Fe	Argila	Areia	Silte	
pH (H ₂ O)	-0,90	0,05	pH(H ₂ O)	6,37	0,62	1,00																	
K	0,22	0,48	K	0,30	0,18	-0,28	1,00																
Ca	-0,56	-0,57	Ca ²⁺	3,12	0,96	0,44	-0,38	1,00															
Mg	-0,65	-0,36	Mg ²⁺	0,98	0,28	0,52	-0,13	0,48	1,00														
Na	0,24	0,19	Na ⁺	0,21	0,30	-0,22	0,16	-0,27	-0,26	1,00													
SB	-0,40	-0,58	SB	4,74	1,12	0,24	-0,15	0,77	0,48	0,03	1,00												
CTC	0,11	-0,39	CTC	8,60	3,87	-0,12	-0,16	0,06	-0,01	0,11	0,22	1,00											
V	-0,93	-0,22	V	60,44	14,16	0,84	-0,20	0,67	0,68	-0,10	0,53	-0,01	1,00										
P (Meh)	-0,73	0,47	P (Meh)	117,23	91,20	0,65	-0,01	0,17	0,31	0,06	0,10	-0,28	0,56	1,00									
P res	-0,68	-0,30	P res	38,34	19,59	0,49	-0,13	0,48	0,58	-0,21	0,40	-0,06	0,70	0,42	1,00								
P rem	-0,55	-0,33	P rem	18,58	10,50	0,51	-0,30	0,35	0,50	-0,22	0,25	0,05	0,53	0,20	0,34	1,00							
M.O.	0,85	-0,31	M.O.	2,11	0,74	-0,82	0,07	-0,32	-0,60	0,23	-0,15	0,21	-0,71	-0,71	-0,37	-0,35	1,00						
Si	-0,14	0,48	Si	19,03	12,61	0,08	0,08	0,10	0,04	-0,04	0,04	-0,15	-0,07	0,33	-0,12	-0,07	-0,36	1,00					
Fe	-0,45	0,65	Fe	113,17	105,15	0,36	0,31	0,09	0,13	-0,07	0,04	-0,22	0,25	0,61	0,13	-0,05	-0,61	0,78	1,00				
Argila	0,71	-0,40	Argila	42,23	16,81	-0,68	0,03	-0,02	-0,13	-0,04	0,09	0,06	-0,61	-0,67	-0,28	-0,35	0,65	0,05	-0,33	1,00			
Areia	-0,70	0,32	Areia	50,41	19,30	0,65	-0,08	0,04	0,10	-0,06	-0,06	-0,02	0,59	0,59	0,37	0,30	-0,57	-0,12	0,29	-0,96	1,00		
Silte	0,29	0,11	Silte	7,36	5,46	-0,20	0,18	-0,08	0,07	0,34	-0,04	-0,11	-0,22	-0,03	-0,44	0,01	0,03	0,25	-0,03	0,33	-0,57	1,00	

ANEXO III. Difratoformas de raios-X

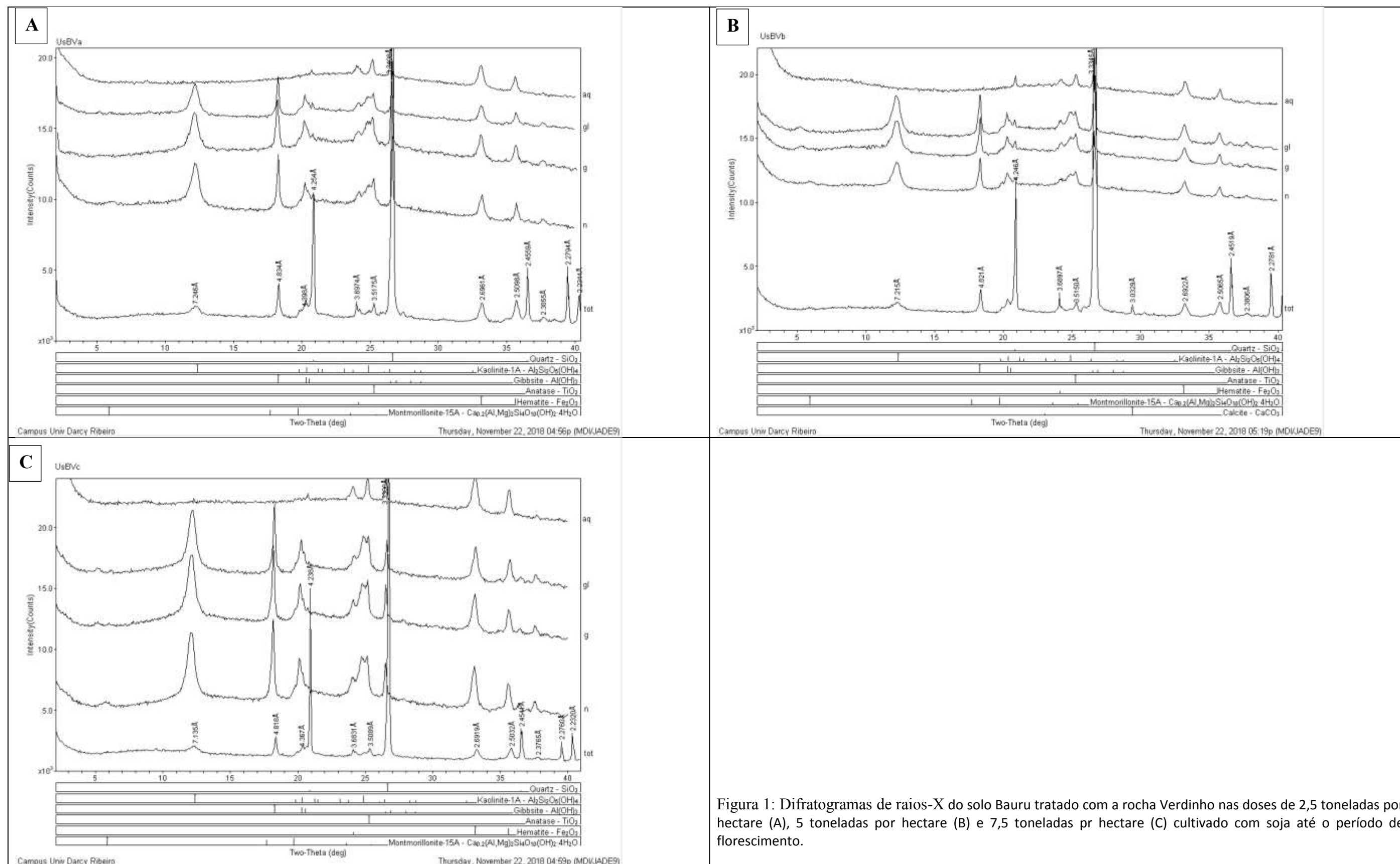


Figura 1: Difratoformas de raios-X do solo Bauru tratado com a rocha Verdinho nas doses de 2,5 toneladas por hectare (A), 5 toneladas por hectare (B) e 7,5 toneladas pr hectare (C) cultivado com soja até o período de florescimento.

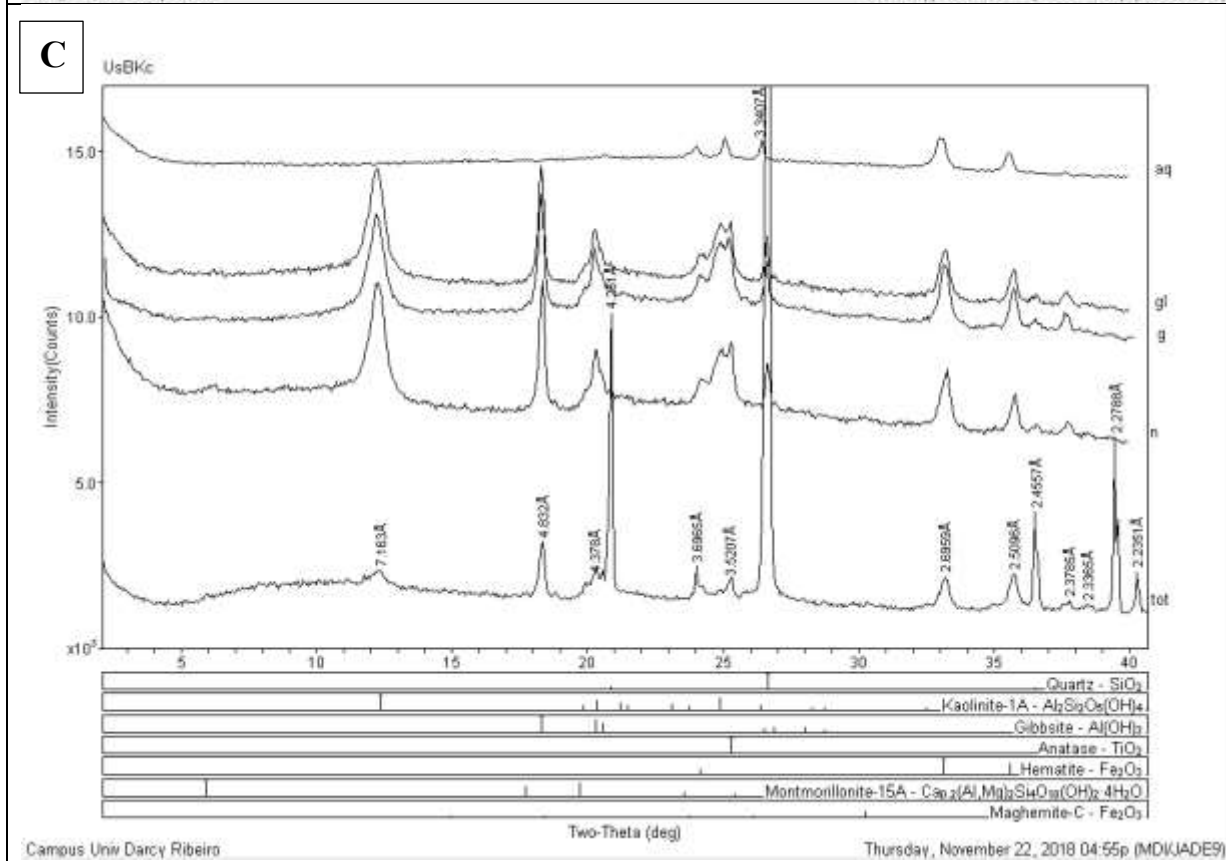
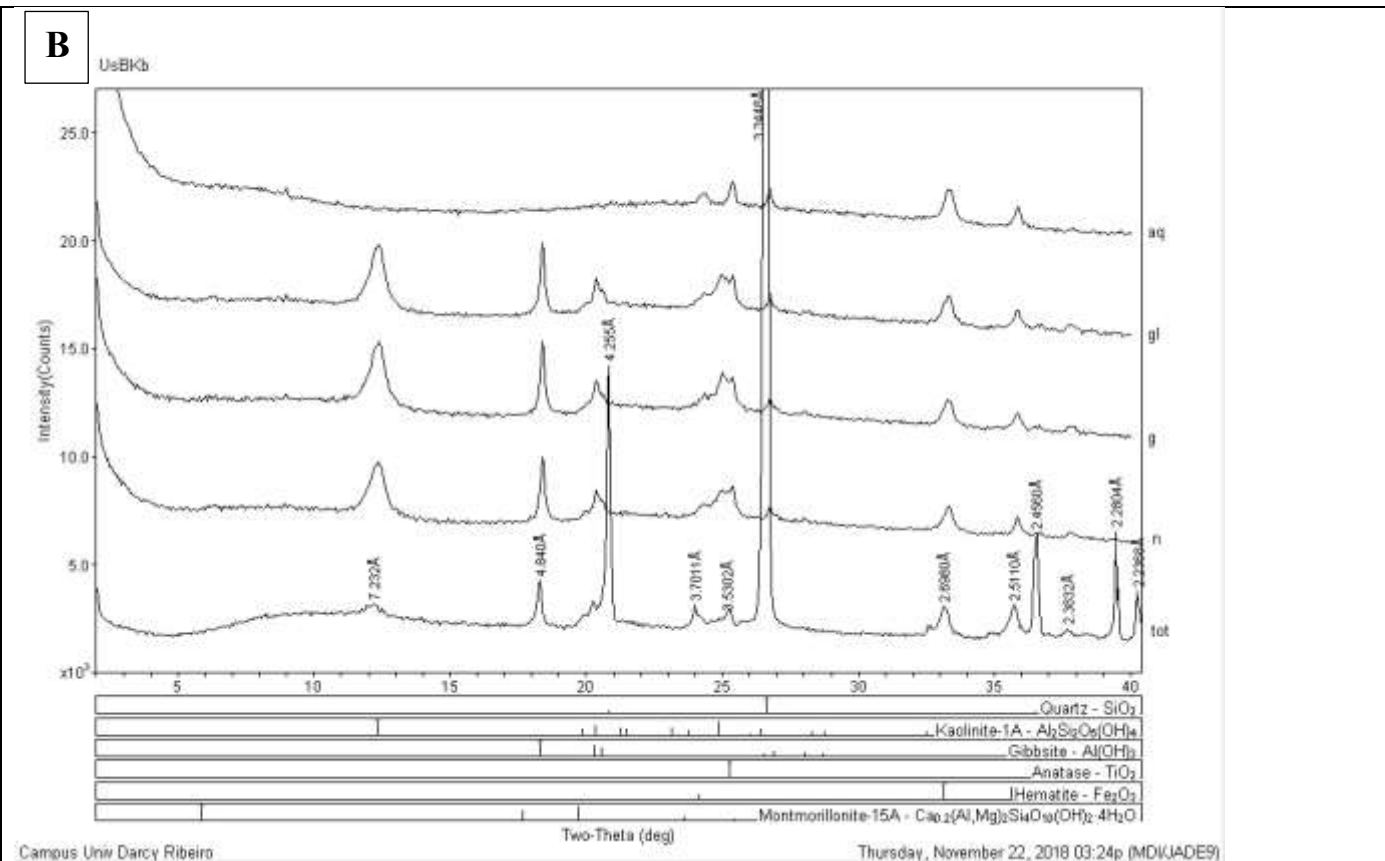
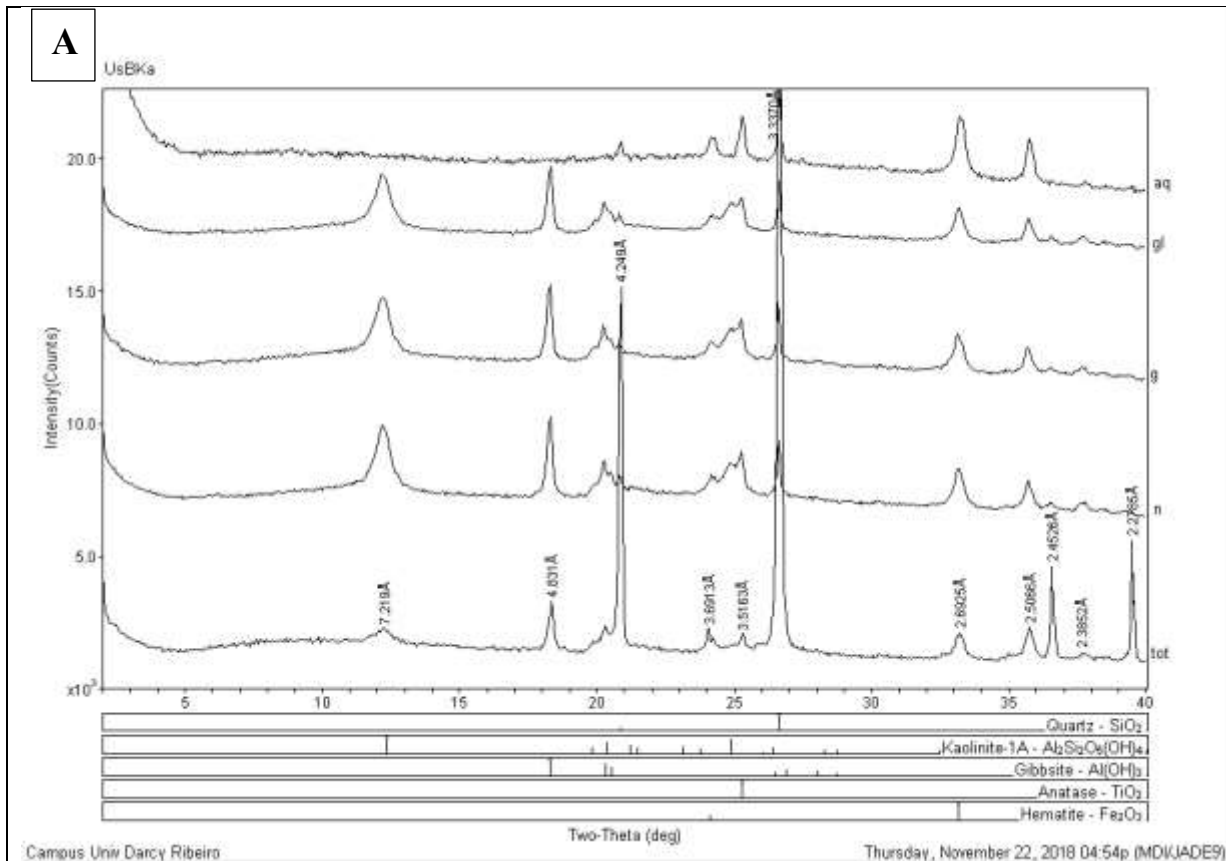


Figura 2: Difratoformas de raios-X do solo Bauru tratado com a rocha Kamafugito nas doses de 2,5 toneladas por hectare (A), 5 toneladas por hectare (B) e 7,5 toneladas pr hectare (C) cultivado com soja até o período de florescimento.

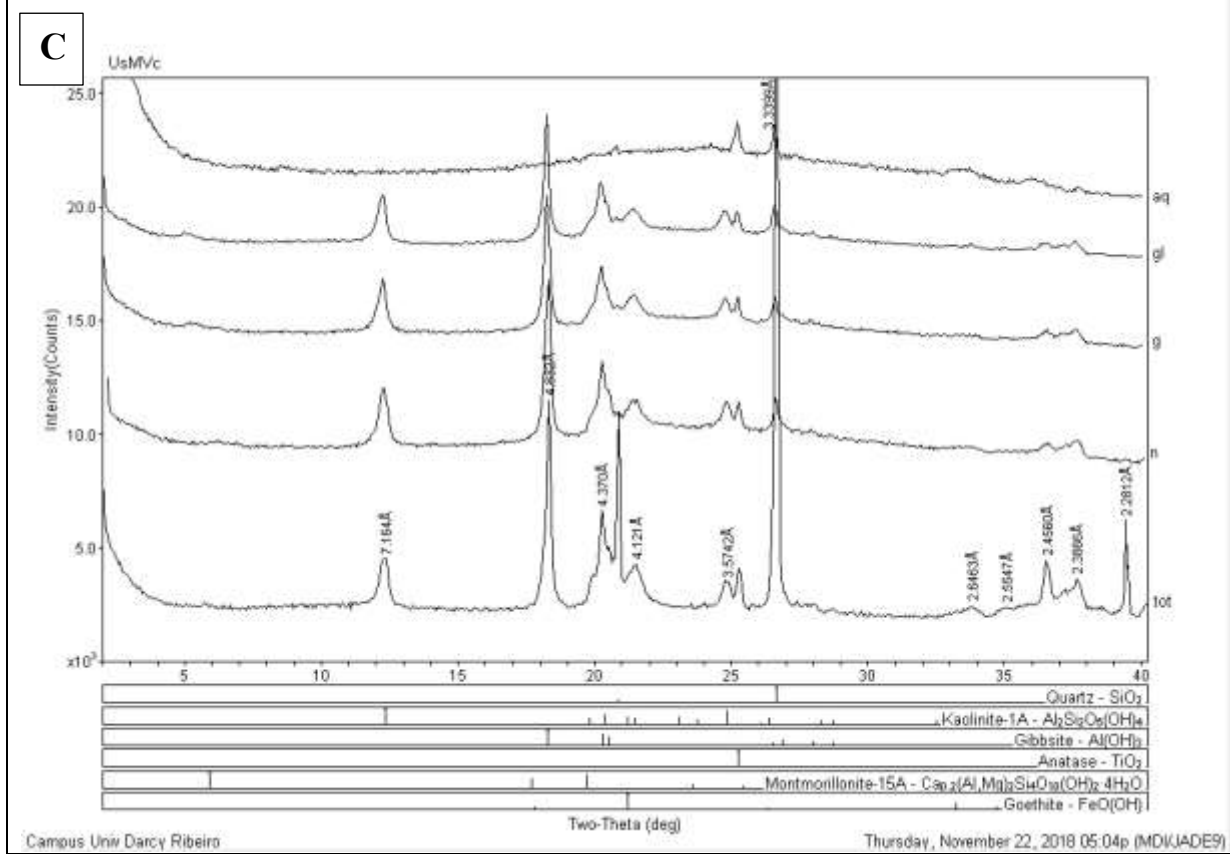
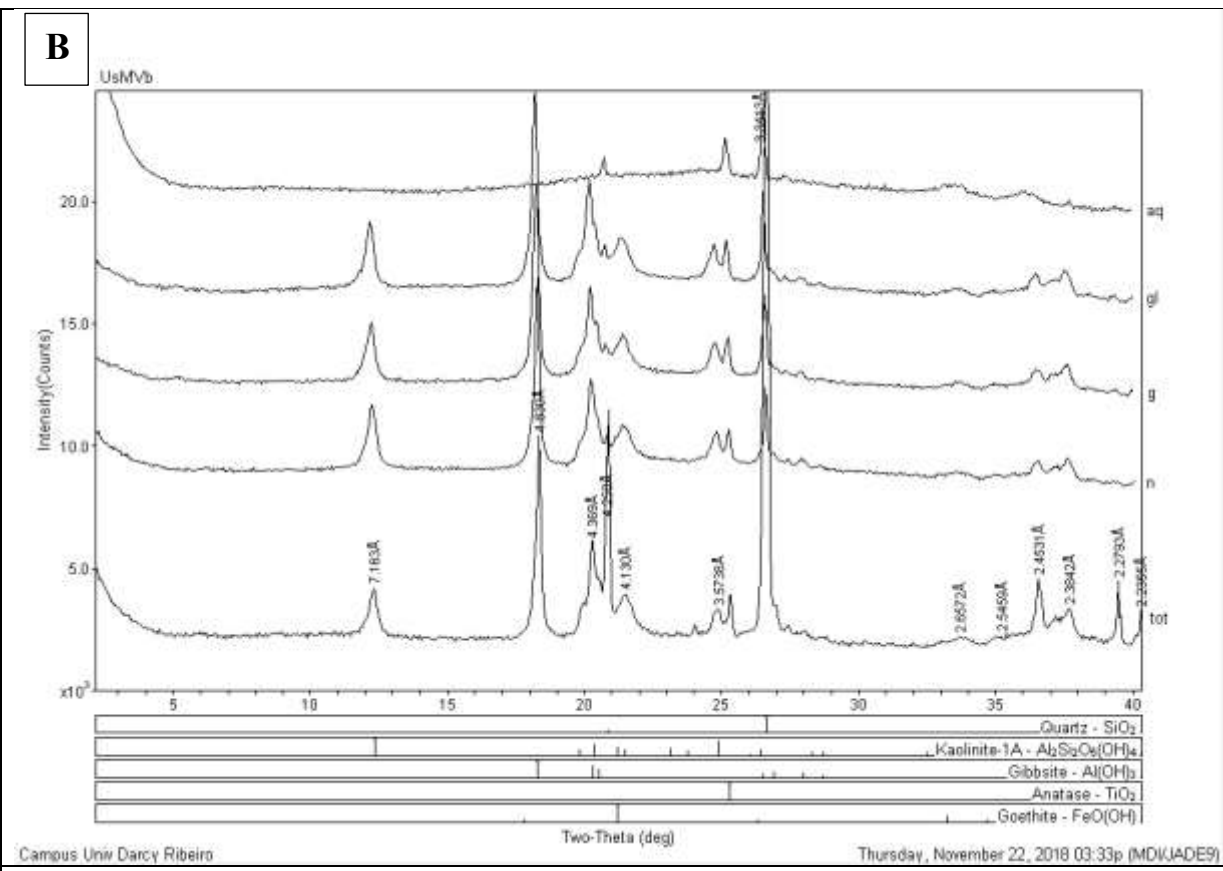
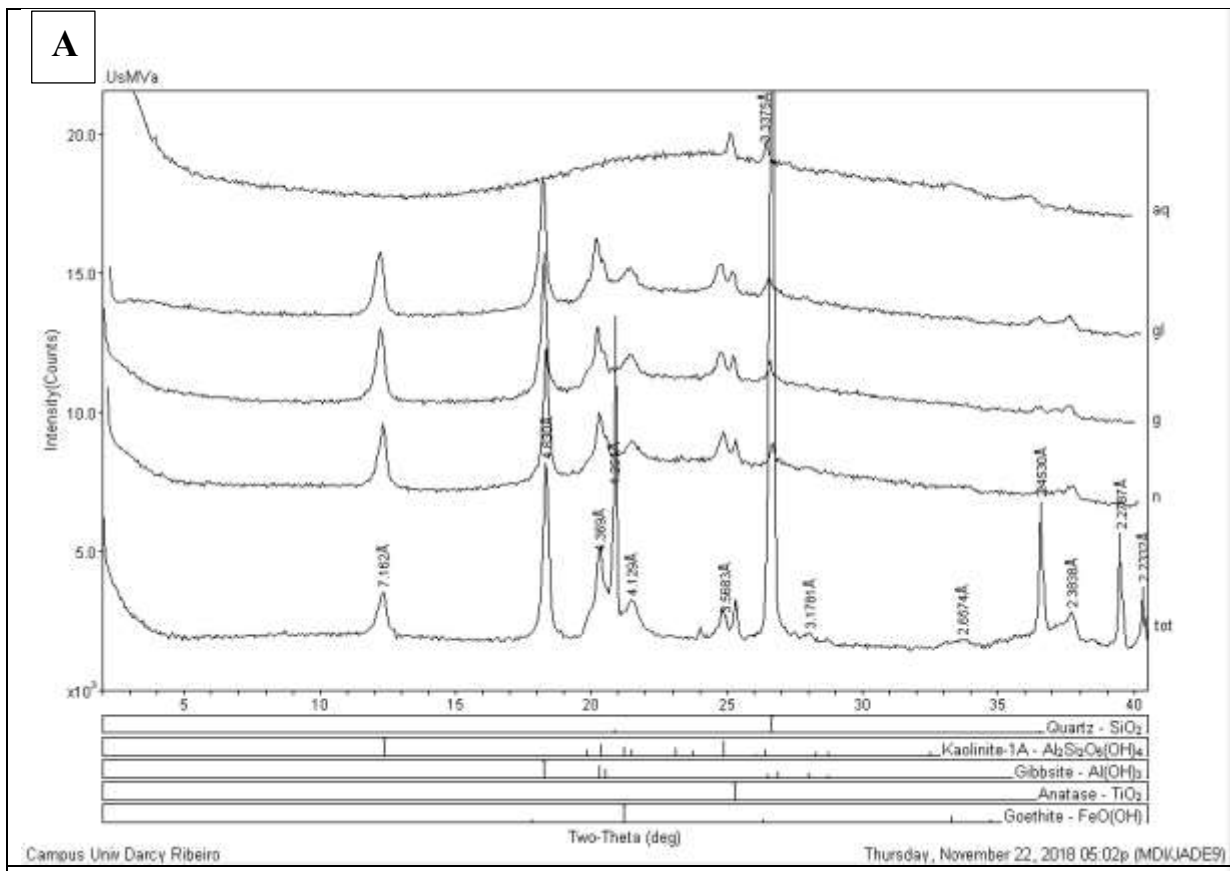


Figura 3: Difratoformas de raios-X do solo Montividiu tratado com a rocha Verdinho nas doses de 2,5 toneladas por hectare (A), 5 toneladas por hectare (B) e 7,5 toneladas pr hectare (C) cultivado com soja até o período de florescimento.

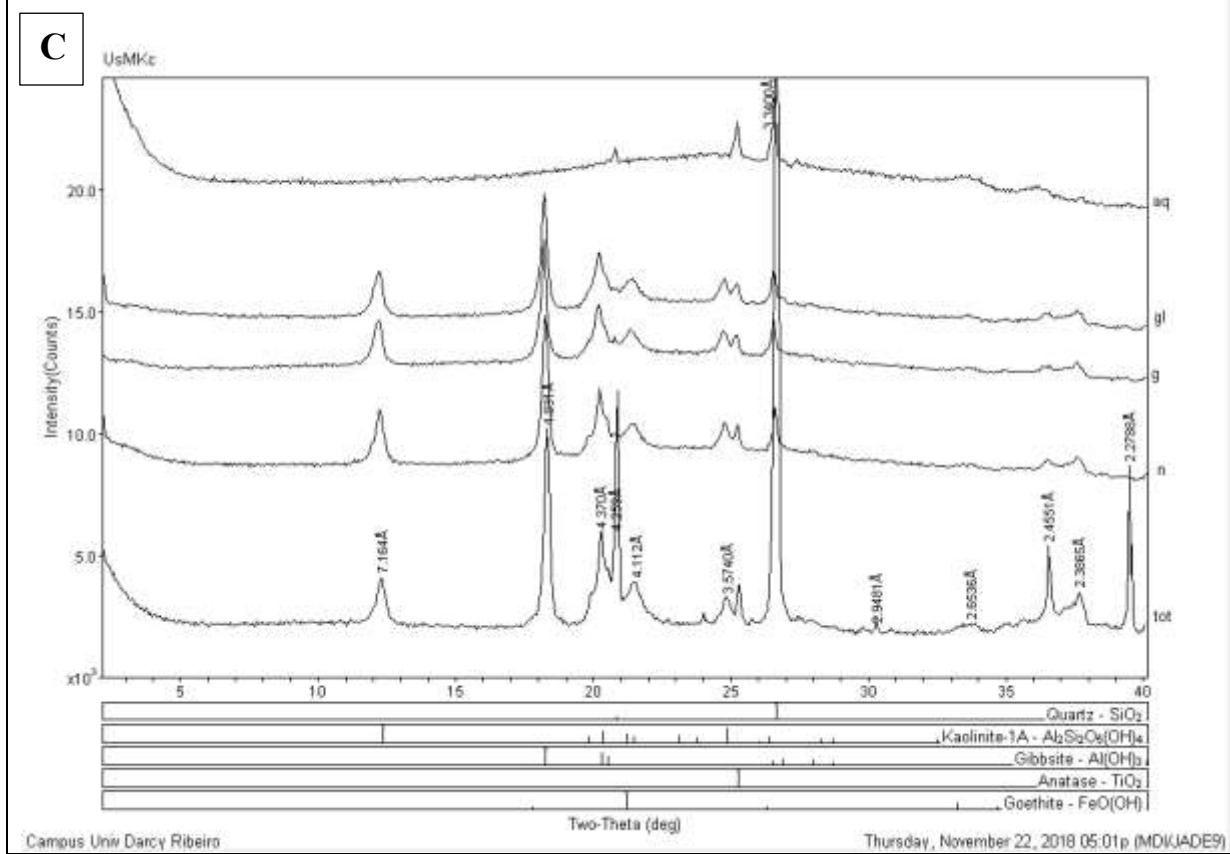
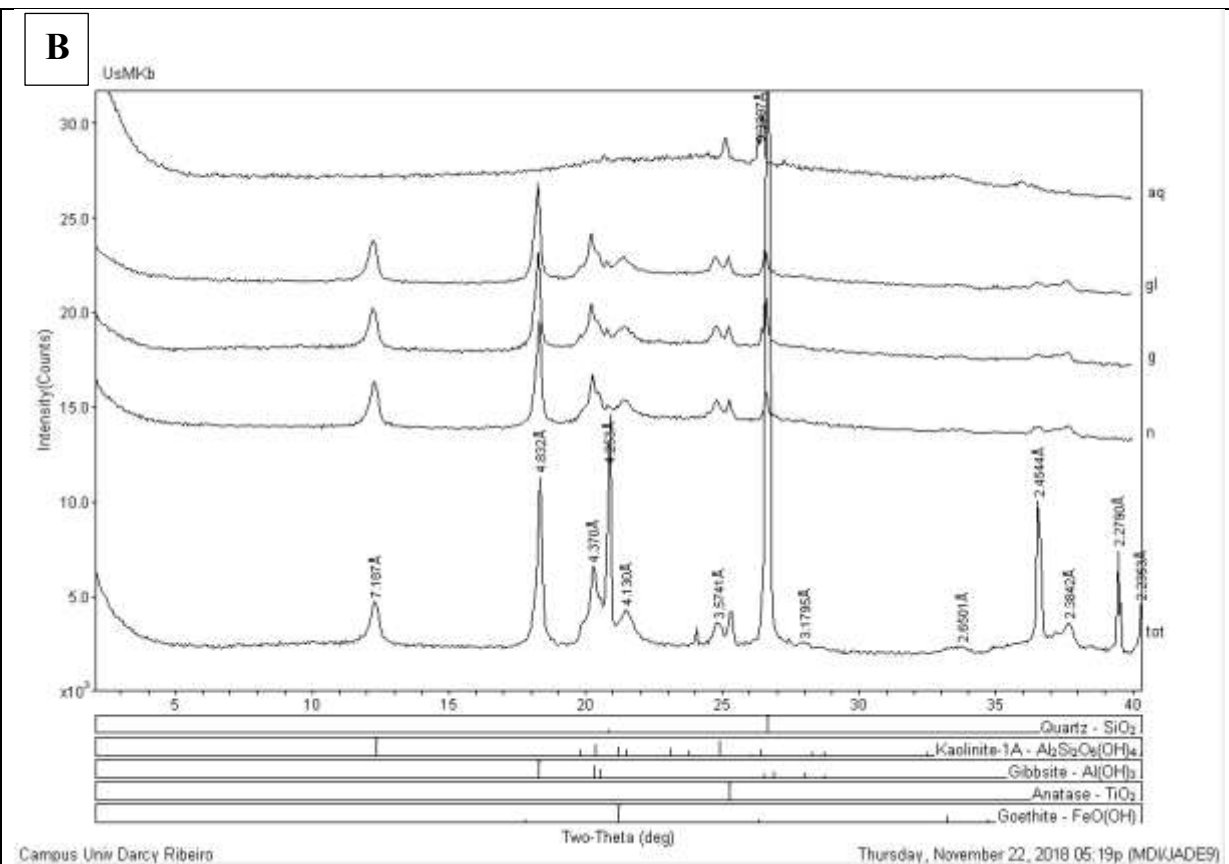
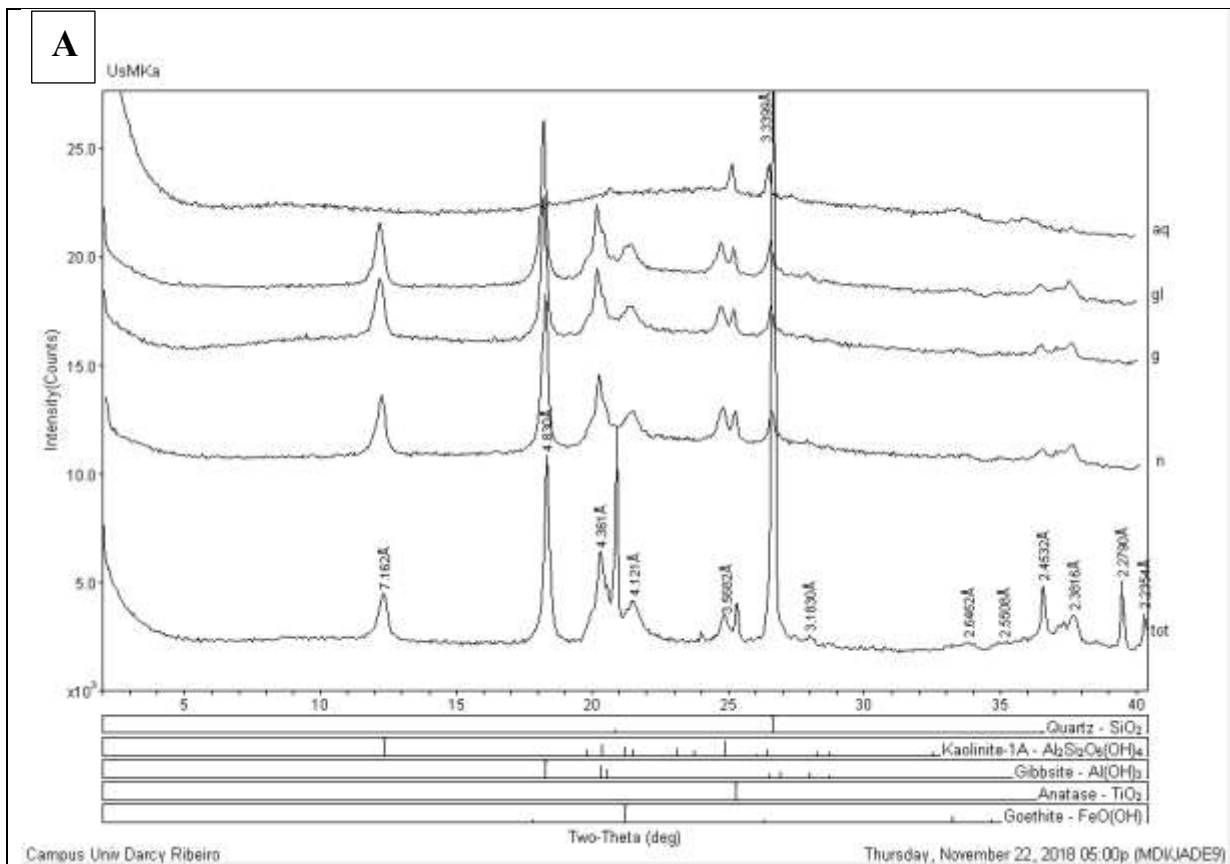


Figura 4: Difratoformas de raios-X do solo Montividiu tratado com a rocha Kamafugito nas doses de 2,5 toneladas por hectare (A), 5 toneladas por hectare (B) e 7,5 toneladas pr hectare (C) cultivado com soja até o período de florescimento.

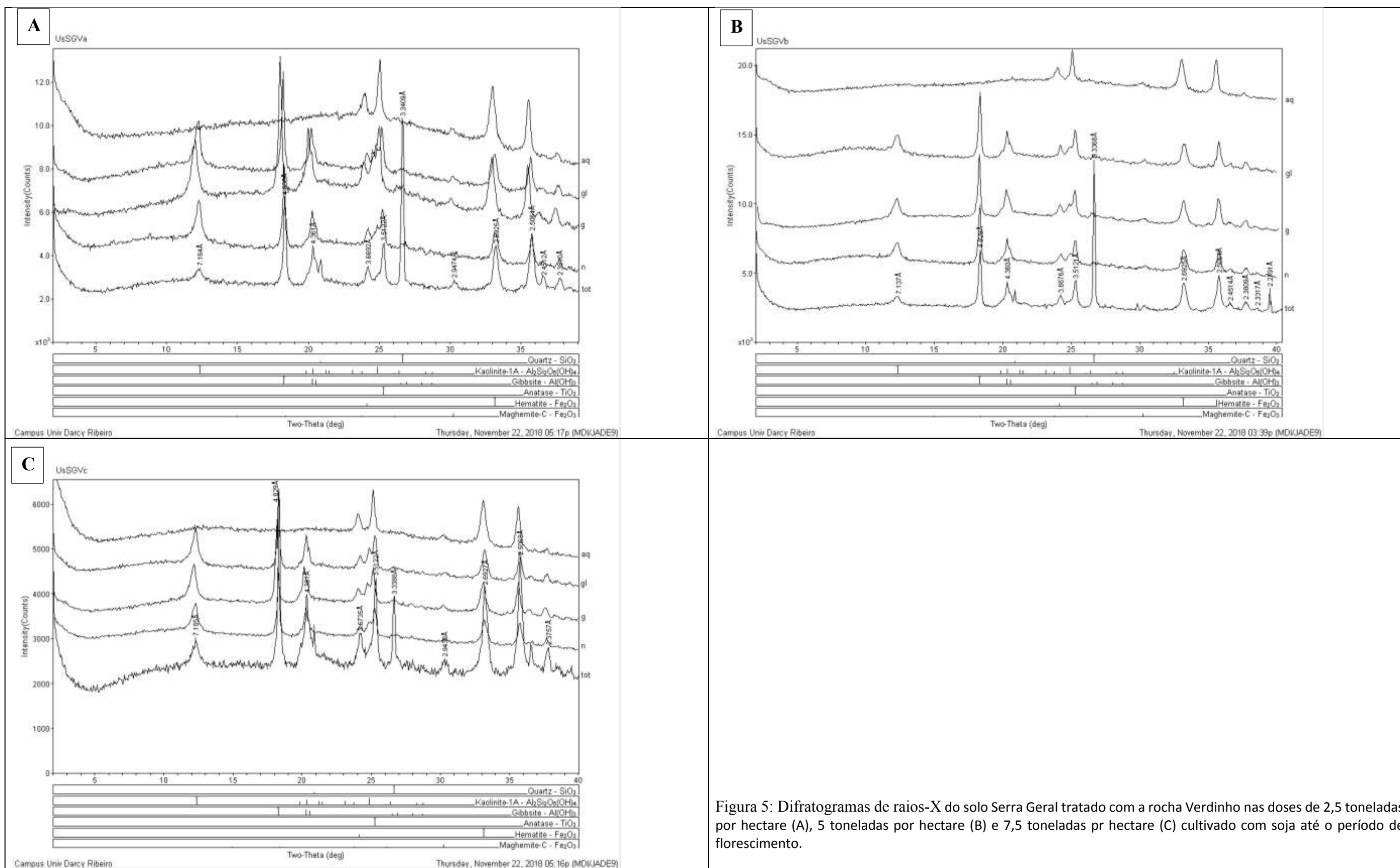


Figura 5: Difratoogramas de raios-X do solo Serra Geral tratado com a rocha Verdinho nas doses de 2,5 toneladas por hectare (A), 5 toneladas por hectare (B) e 7,5 toneladas pr hectare (C) cultivado com soja até o período de florescimento.

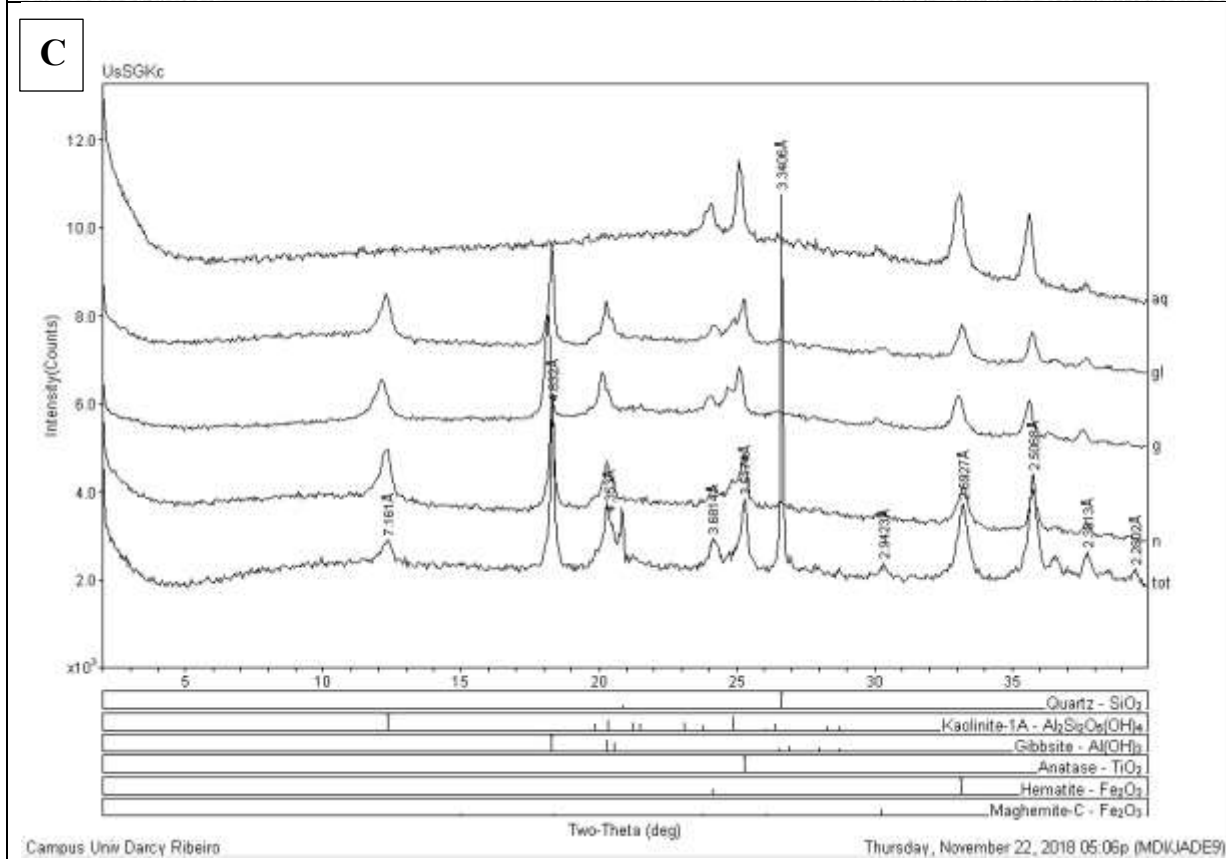
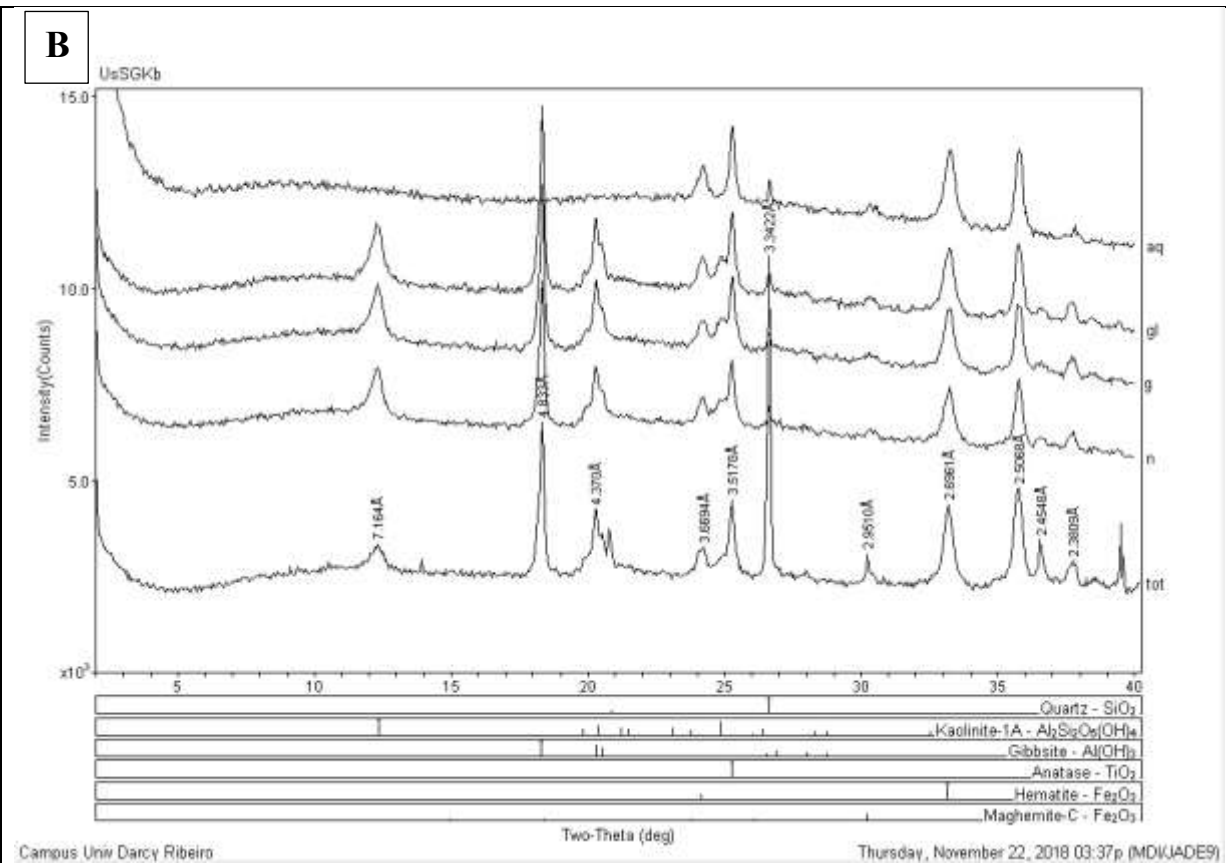
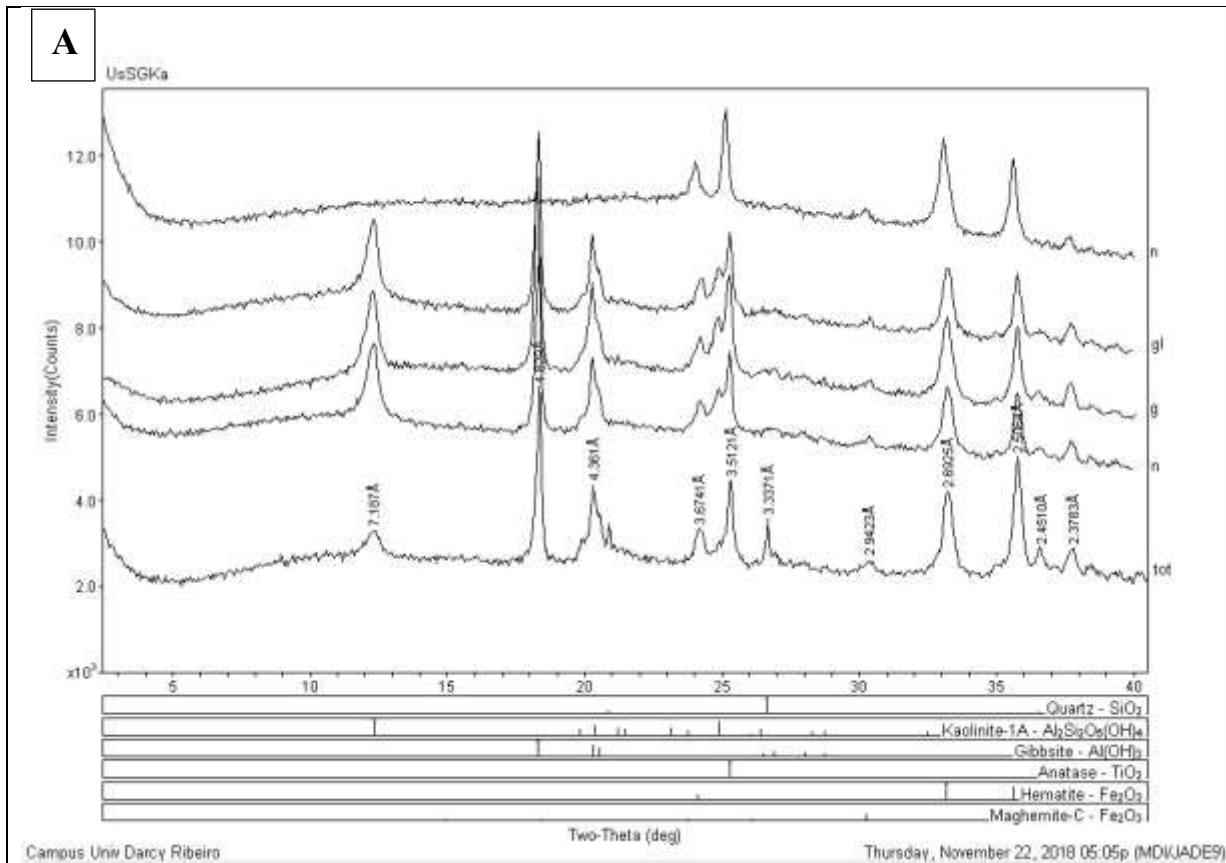


Figura 6: Difractogramas de raios-X do solo Serra Geral tratado com a rocha Kamafugito nas doses de 2,5 toneladas por hectare (A), 5 toneladas por hectare (B) e 7,5 toneladas pr hectare (C) cultivado com soja até o período de florescimento.

