



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de São José do Rio Preto

Erick Paiva Cancelli

Efeito do uso de carvão hidrotérmico em cultivo de beterraba em diferentes
tipos de solos

São José do Rio Preto

2020

Erick Paiva Cancell

Efeito do uso de carvão hidrotérmico em cultivo de beterraba em diferentes tipos de solos.

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Química, junto ao Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Márcia Cristina Bisinoti

Coorientador: Prof. Dr. Altair Benedito Moreira

São José do Rio Preto

2020

C215e Cancelli, Erick Paiva

Efeito do uso de carvão hidrotérmico em cultivo de beterraba em diferentes tipos de solos / Erick Paiva Cancelli. -- São José do Rio Preto, 2020 96 f. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientadora: Márcia Cristina Bisinoti

Coorientador: Altair Benedito Moreira

1. Química. 2. Química Ambiental. 3. Toxicologia Ambiental. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Erick Paiva Cancell

Efeito do uso de carvão hidrotérmico em cultivo de beterraba em diferentes tipos de solos.

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Química, junto ao Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Márcia Cristina Bisinoti

Coorientador: Prof. Dr. Altair Benedito Moreira

Membros componentes da banca examinadora

Presidente e Orientadora: Prof^a. Associada Dr^a. Márcia Cristina Bisinoti

UNESP - São José do Rio Preto

Membro Titular: Prof. Associado Dr. Mauricio Boscolo

UNESP - São José do Rio Preto

Membro Titular: Prof. Adjunto Dr. Odair Pastor Ferreira

UFC – Universidade Federal do Ceará

São José do Rio Preto

31 de Janeiro de 2020

DEDICO

À minha família, em especial aos meus pais Alessandra e Herbert, avós Romildo de Paiva e Elinor Pizzocaro e aos meus amigos que sempre estiveram do meu lado nesses dois anos e por terem sempre acreditado em mim.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais Herbert Conde Cancelli e Alessandra de Paiva Conde Cancelli, por terem me dado todo apoio psicológico e financeiro para que essa etapa da minha vida fosse traçada.

Agradeço também aos meus avós Romildo de Paiva e Elinor Pizzocaro de Paiva por todo o apoio dado juntamente com a torcida para que eu conseguisse chegar onde estou e sempre estarem ao meu lado quando precisei.

À minha namorada Mariana São José Silva, por sempre ter acreditado no meu potencial, ter me ouvido várias vezes e sempre estado ao meu lado durante essa caminhada.

Ao meu professor e amigo Mario Henrique Gonzalez, que está comigo desde a graduação, sempre acreditando em meu potencial e se disponibilizando a me ouvir e me ajudar da melhor forma possível.

À minha orientadora Márcia Cristina Bisinoti e coorientador Altair Benedito Moreira por terem me garantido a possibilidade de fazer parte do grupo de pesquisa Laboratório de Estudos em Ciências Ambientais (LECA). Por todo o auxílio e atenção necessária para a execução deste projeto. Além do ensinamento diário sempre passado a mim.

Aos meus amigos por sempre estarem ao meu lado ajudando nas horas mais difíceis.

Ao Dr. Emílio de Castro Miguel por ter realizado as análises de microscopia eletrônica de varredura na Universidade Federal do Ceará – UFC.

E por fim, ao UNESP-IBILCE por ter disponibilizado toda a estrutura necessária para que meu sonho fosse realizado.

Resumo

Carvão Hidrotérmico (CH) foi produzido a partir carbonização hidrotérmica de subprodutos da indústria sucroenergética sendo que o CH apresentou elevado conteúdo de carbono e nutrientes que sugerem que o mesmo possa ser empregado como condicionador solo. Neste contexto estudos de germinação e crescimento de plantas de diferentes famílias são necessários. Frente ao exposto, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar o efeito do CH no cultivo de beterraba em diferentes tipos de solo. Estudos de germinação foram conduzidos com o carbono solúvel extraídas em água (SAQ) e em solução ácida do CH (SAC) do CH. Para os testes de germinação um total de 40 placas foram montadas nas concentrações de 0; 10; 50; 100 mg de C L⁻¹ dos extratos de carbono solúvel do CH (SAQ e SAQ), seguidas da adição de 10 sementes de beterraba por placa em gel de agarose, mantidas em fotoperíodo por 7 dias. No fim do experimento o comprimento da raiz, o índice de velocidade de germinação (IVG) e a massa seca foram determinados. Dentre as concentrações trabalhadas a melhor germinação ocorreu para a concentração de 50 mg de C L⁻¹ para SAQ, com IVG de 1,4 sementes por dia e maior produção de biomassa (4,39 g) e comprimento total de raiz germinada (1,97 cm). Estudos de crescimento de beterraba foram realizados em quintuplicata empregando 30 vasos sem adição de CH (controle) e com adição de 10 e 20 t ha⁻¹ de CH em argissolo e latossolo. Estes vasos foram mantidos em câmara de crescimento de plantas por 80 dias mantendo fotoperíodo de 16 h dia e 8 h noite, sendo que no final do experimento foram analisados massa seca, comprimento da raiz e parte aérea, imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da raiz e da parte aérea e quantificação de nutrientes totais (cálcio, boro, cobre, ferro e zinco) nos solos. A taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 10 t ha⁻¹ em latossolos, foi o que apresentou o melhor desenvolvimento da planta com maior comprimento. As imagens do MEV condizem com os outros resultados, mostrando que a taxa de aplicação de 10 t ha⁻¹ beneficiou a disponibilidade de água e nutrientes para o solo, pela menor presença de estômatos paracíticos, células mais bem definidas, e com a morfologia da raiz preservada. As maiores concentrações de nutrientes cálcio, boro, cobre, ferro e zinco foram também observadas quando o CH foi aplicado ao solo. Conclui-se que o CH é capaz de melhorar as condições do solo promovendo uma melhor germinação e desenvolvimento da cultura de beterraba.

Palavras-chave: carvão hidrotermico; crescimento; germinação; solos brasileiros; beterraba.

Abstract

Hydrothermal coal (CH) was produced from hydrothermal carbonization of by-products in the sugar energy industry and CH presented high carbon content and nutrients that suggest that it can be used as a soil conditioner. In this context, germination and plant growth studies of different families are needed. In view of the above, the main objective of this work was to evaluate the effect of CH on beet cultivation in different soil types. Germination studies were conducted with soluble carbon extracted in water (SAQ) and in CH acid solution (SAC) for germination tests a total of 40 plates were mounted at concentrations of 0; 10; 50; 100 mg C L⁻¹ of CH soluble carbon extracts (SAQ and SAQ), followed by the addition of 10 beet seeds per plate in agarose gel, kept in photoperiod for 7 days. At the end of the experiment, root length, germination speed index (IVG) and dry mass were determined. Among the concentrations worked, the best germination occurred for the concentration of 50 mg of C L⁻¹ for SAQ, with IVG of 1.4 seeds per day and higher biomass production (4.39 g) and total length of germinated root (1.97 cm). Beet growth studies were conducted in quintuplicate using 30 vessels without the addition of CH (control) and with the addition of 10 and 20 t ha⁻¹ of CH in argisol and latosol. These vessels were kept in a plant growth chamber for 80 days maintaining photoperiod of 16 h day and 8 h night, and at the end of the experiment, dry mass, root length and shoot, scanning electron microscopy images (SEM) of the root and shoot and quantification of total nutrients (calcium, boron, copper, iron and zinc) in soils. The rate of application of hydrothermal coal of 10 t ha⁻¹ in latosols, was the one that presented the best development of the plant with longer length. The Images of the SEM match the other results, showing that the application rate of 10 t ha⁻¹ benefited the availability of water and nutrients to the soil, by the lower presence of paracytic stomata, better defined cells, and with the morphology of the root Preserved. The highest concentrations of nutrients calcium, boron, copper, iron and zinc were also observed when CH was applied to the soil. It is concluded that CH is able to improve soil conditions by promoting better germination and development of beet crop.

keywords: hydrochar; growth; germination; brazilian soils; sugar beet.

Lista de Figuras

Figura 1 Foto das placas dispostas para desmontagem do experimento contendo 10 sementes de beterraba por placa em gel de agarose e carbono no extrato da fração solúvel do carvão hidrotérmico em meio aquoso e ácido.....	28
Figura 2 Esquema utilizado para a determinação do comprimento das raízes de beterraba (<i>Beta vulgaris</i> L.) germinadas após 7 dias na câmara B.O.D em contato com frações solúveis de carbono do carvão hidrotérmico.....	29
Figura 3 Foto das plantas de beterraba (<i>Beta vulgaris</i> L.) que cresceram na presença de solo com diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico durante 60 dias de experimento.	32
Figura 4 Foto de uma planta de beterraba (<i>Beta vulgaris</i> L.) após crescimento de 80 dias em latossolo controle.....	33
Figura 5 Foto das amostras preparadas para digestão ácida para decompor o material vegetal da beterraba (<i>Beta vulgaris</i> L.) (raíz e parte aérea).	35
Figura 6(a) Sementes germinadas por dia no experimento de germinação utilizando SAC. (b) Sementes germinadas por dia no experimento de germinação utilizando SAQ. (c) Correlação do índice de velocidade de germinação das sementes de beterraba com o aumento da concentração da fração solúvel do carvão hidrotérmico em SAC (d) Correlação do índice de velocidade de germinação das sementes de beterraba com o aumento de concentração da fração solúvel do carvão hidrotérmico em SAQ.	38
Figura 7 Valores de comprimento total das raízes germinadas de beterraba nos experimentos de germinação empregando como meio extrator de carbono solúvel (a) SAC (b) SAQ.....	39
Figura 8 Massa seca obtida das raízes de beterraba (<i>Beta vulgaris</i> L.) germinadas após 7 dias na câmara B.O.D em contato com frações solúveis de carbono do carvão hidrotérmico.....	40
Figura 9 Valores dos comprimentos das raízes e parte aérea das plantas de beterraba em argissolo e latossolo com diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico obtidos através do software Image J.....	45
Figura 10 (a) Média obtida de massa seca da parte aérea após a desmontagem do experimento no argissolo. (b) Média obtida de massa seca da raiz após a desmontagem do experimento no argissolo. (c) Média obtida de massa seca da parte aérea após a desmontagem do experimento no latossolo. (d) Média obtida de massa seca da raiz após a desmontagem do experimento no latossolo.	46
Figura 11 Imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da raiz. (a) Latossolo controle (b) Latossolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 10 t ha ⁻¹ (c) Latossolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 20 t ha ⁻¹ (d) Argissolo controle (e) Argissolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 10 t ha ⁻¹ (f) Argissolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 20 t ha ⁻¹	48
Figura 12 Imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da raiz. (a) Latossolo controle (b) Latossolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 10 t ha ⁻¹ (c) Latossolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 20 t ha ⁻¹ (d)	

Argissolo controle (e) Argissolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 10 t ha ⁻¹ (f) Argissolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 20 t ha ⁻¹	50
Figura 13 Valores obtidos de nutrientes da parte aérea e raiz das plantas de beterraba cultivadas em diferentes tipos de solos e para diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico (a) Cálcio (b) Boro (c) Cobre (d) Ferro (e) Zinco.	51

Lista de Tabelas

Tabela 1: Valores de comprimento total e massa seca das plantas de beterraba em contato com diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico retiradas após 7 dias no procedimento de desbaste..... 42

Tabela 2: Valores de pH obtido nos solos utilizados no cultivo da beterraba em diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico antes e depois da realização do experimento. 43

Tabela 3: Resultados de umidade, cinzas e matéria orgânica obtidos dos solos utilizados nos experimentos de crescimento..... 44

Lista de equações

Equação 1 Índice de Velocidade de Germinação 28

Equação 2 Fórmula utilizada para o cálculo da umidade presente no solo. 33

Equação 3 Fórmula utilizada para o cálculo da quantidade de cinza presente no solo. 34

Equação 4 Fórmula utilizada para o cálculo da matéria orgânica presente no solo. 34

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANDA	Associação Nacional de Difusão de Adubos
B.O.D	Biochemical Oxygen Demand/Demanda bioquímica de oxigênio
CH	Carbônio hidrotérmico
CHT	Carbonização hidrotérmica
CTC	Capacidade de troca catiônica
HPA	Hidrocarboneto policíclico aromático
H₃PO₄	Ácido fosfórico
HCl	Ácido clorídrico
IVG	Índice de velocidade de germinação
KOH	Hidróxido de potássio
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
m/m	Relação massa/massa
SAC	Solução extraída aquosa
SAQ	Solução extraída ácida
TOC	Total organic carbon/Carbônio orgânico total
v/v	Relação volume/volume

Sumário

1. Introdução	15
2. Revisão Bibliográfica	17
2.1 Carbonização Hidrotérmica (CHT)	17
2.2 Solos	20
2.2.1 Latossolo	20
2.2.2 Argissolo	21
2.3 Estudos de aplicação de biochar e carvão hidrotérmico no cultivo de plantas	22
3. Objetivos	26
4. Materiais e Métodos	26
4.1 Amostra de solo	26
4.2 Carvão Hidrotérmico	27
4.3 Extração da fração solúvel de carbono do carvão hidrotérmico para estudos de germinação	27
4.4 Experimentos de germinação de beterraba em gel de agarose	27
4.5 Experimentos de crescimento da cultura de beterraba	29
4.6 Análises realizadas em experimentos de germinação e crescimento	36
4.7 Análises Estatísticas	36
5. Resultados e Discussão	36
5.1 Extração do carbono solúvel do carvão hidrotérmico para realização dos experimentos de germinação	36
5.2 Experimentos de germinação de beterraba em diferentes concentrações de carbono solúvel extraído do carvão hidrotérmico	37
5.3 Experimentos de crescimento de beterraba na presença de carvão hidrotérmico	41
5.4 Análises de Microscopia Eletrônica de Varredura da raiz e parte aérea da beterraba	47
5.5.1 Raiz	47
5.5.2 Parte Aérea	49
5.6 Determinação dos nutrientes totais (Ca, B, Cu, Fe e Zn) em raiz e parte aérea de beterraba (<i>Beta vulgaris L.</i>)	51
6. Conclusão	55
7. Referências	56
APÊNDICES	66

APÊNDICE A - IMAGENS DE MICROSCOPIA DA RAIZ DA PLANTA DE BETERRABA.....	66
APÊNDICE B - IMAGENS DE MICROSCOPIA DA PARTE AÉREA DA PLANTA DE BETERRABA.....	76

1. Introdução

Estudos de conversão de biomassa são de grande relevância no cenário nacional, principalmente, no que tange à produção e consumo do etanol que seguem em ritmo crescente (ANDA et al., 2017). Por outro lado, a Associação Nacional para a Difusão de Adubos (ANDA) tem posto em evidência a questão da demanda de alimentos, fato que frente a práticas agronômicas utilizadas consequentemente acarretará o aumento do consumo de fertilizantes. No Brasil, o consumo de fertilizante atinge aproximadamente 30 milhões de toneladas, sendo a maioria (por volta de 70 %), proveniente de importação, encarecendo o cultivo e aumentando a dependência externa (ROQUETTI, 2017). Nesse contexto, o uso de carvão hidrotérmico é interessante para o âmbito econômico, ambiental e sustentável (MAIA; MADARI; NOVOTNY, 2011).

O carvão hidrotérmico é um produto sólido gerado no processo de carbonização hidrotérmica no qual a biomassa em meio aquoso é submetida a médias temperaturas, variando entre 180 e 300 °C em reator fechado, sob pressões autogeradas levando a formação de um material sólido rico em carbono e nutrientes (KAMBO; DUTTA, 2015). A produção do carvão hidrotérmico possui vantagens quando comparada à produção do “biochar” oriundo do processo de pirólise que emprega elevadas temperaturas e está suscetível à formação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) (KAMBO; DUTTA, 2015). As características observadas nos “chars” se originaram nas Terras Pretas de Índio, solos antropogênicos conhecidos por sua alta fertilidade, alta concentração de nutrientes e matéria orgânica humificada (TEIXEIRA et al., 2009).

Em trabalhos já realizados em nosso grupo, foi avaliada a produção de carvão hidrotérmico a partir exclusivamente da vinhaça de cana-de-açúcar e também a partir de uma mistura de bagaço e vinhaça da cana-de-açúcar, cujos resultados apresentaram maior presença de ácidos do tipo húmico no carvão hidrotérmico obtido com subprodutos da indústria sucroalcooleira (BENTO et al., 2019; BISINOTI et al., 2019; FREGOLENTE, 2018; MELO et al., 2017). Foi demonstrado que alterando tempo, temperatura ou ainda em função do aditivo e concentração empregados, é possível a incorporação de nutrientes e a formação de produto sólido rico em carbono com potencial para utilização como condicionante de solos (MELO et al., 2017; SILVA et

al., 2017). Dentre os aditivos adicionados o CH produzido na presença de ácido fosfórico apresentou em sua estrutura a formação de estruvita-K (MELO et al., 2017; SILVA et al., 2017). Estudos da disponibilidade de carbono e nutrientes para solos brasileiros a partir desse carvão hidrotérmico tem sido conduzidos, sendo que os resultados mostraram que o carvão hidrotérmico após 30 dias de experimento não foi observado diferenças entre a estrutura do carvão hidrotérmico e das fases cristalinas, evidenciando então que o carvão possui a capacidade de liberar lentamente os nutrientes presentes em sua estrutura (BENTO et al., 2019; SANTANA et al., 2019).

Para avaliar o potencial de emprego dos carvões em solos é recomendado que seja realizado estudos de crescimento de plantas, com três categorias a serem testadas, dentre elas, das famílias das leguminosas, gramíneas e hortaliças (OECD, 1984). A maior parte dos estudos têm sido conduzidos avaliando o emprego de biochar oriundos de diferentes biomassas (lodo industrial, lodo de esgoto (CHEN et al., 2018), resíduos de carvalho (OLDFIELD et al., 2018), madeira de ageratina *adenophora* (*Eupatorium adenophorum*) (PANDIT et al., 2018), lascas de madeira (PRASAD; TZORTZAKIS; MCDANIEL, 2018), entre outros (LEHMANN et al., 2011; WANG; WANG; WANG, 2018; YUAN; TAN; HUANG, 2018). Os estudos têm sido conduzidos no cultivo de plantas em vários tipos de solos com diferentes taxas de adições de biochar, variando de 0 a 50% (m/m). Os resultados mostraram que a aplicação de biochar pode levar a um acréscimo na disponibilidade de nutrientes (potássio, nitrogênio, fósforo e silício), bem como ao aumento da capacidade de retenção de água no solo, facilitando a disponibilidade de água para as plantas e acarretando num maior desenvolvimento da planta evidenciado pelo crescimento da cultura e no ganho de biomassa microbiana (CHEN et al., 2018; PRASAD; TZORTZAKIS; MCDANIEL, 2018). Para tal avaliação, três categorias de plantas são propostas (OECD, 1984), sendo elas das famílias das leguminosas, gramíneas e hortaliças, dentro das quais algumas espécies em específico têm sido utilizadas (FREGOLENTE et al., 2019). Contudo, vale ressaltar que a depender do interesse do estudo poderá haver variações da classe de plantas a serem empregadas nos experimentos, atendendo assim às necessidades de cada material (OECD, 1984).

Os estudos que avaliaram o efeito da aplicação de carvão hidrotérmico no crescimento e desenvolvimento de plantas, ainda são poucos (GEORGE et al., 2012; GRONWALD et al., 2016; MELO et al., 2018; REIBE et al., 2015; TASKIN et al., 2019). No estudo realizado por George e colaboradores (2012) foi usada a taxa de

aplicação de 0, 5 e 10 % do CH produzido com resíduos de indústria cervejeira e no cultivo de alfafa (*Medicago sativa L.*) em luvisso. Os resultados obtidos pelos autores indicaram uma melhora na agregação dos solos, porém não foi observado melhora de desenvolvimento de fungos nas raízes (GEORGE et al., 2012). Estes resultados reforçam a importância e necessidade de realização de estudos de crescimento de plantas com diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico em diferentes culturas.

A beterraba (*Beta vulgaris L.*) é um legume de alta relevância para o setor agroindustrial por se tratar de um produto utilizado tanto para fins alimentícios quanto para a produção de açúcar e etanol. Apenas na União Europeia, o cultivo de beterraba é bem consolidado, representando aproximadamente 50 % da produção global, com a produção de aproximadamente 730 ton ano⁻¹ (HEIDORN; UTVIK, 2017). O uso da beterraba (*Beta vulgaris L.*) tem sido adotado por estudos que avaliaram sua produção em condições de baixa disponibilidade de água, luz e salinidade (ARTRU et al., 2018; JAMIL, 2005; MAHMOUD et al., 2018; SADEGHIAN; YAVARI, 2004), além de se tratar de uma cultura de ciclo rápido, como função facilitadora, possibilitará a avaliação do efeito do carvão hidrotérmico que estará em contato direto com o produto a ser consumido.. Desta forma, o estudo da aplicação de carvão hidrotérmico no crescimento/desenvolvimento de culturas, embora efetuado, é pouco relatado utilizando a beterraba como cultura de interesse (GAJIĆ; KOCH, 2012).

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Carbonização Hidrotérmica (CHT)

A carbonização hidrotérmica foi proposta em 1932 por Friedrich Bergius descrevendo o processo de carbonização (BERGIUS, 1932). Com o passar do tempo, o processo de carbonização começou a ganhar notoriedade na qualidade de processo hidrotermal de degradação de matéria orgânica para síntese de substâncias químicas importantes, juntamente com o reaproveitamento de combustíveis gasosos e líquidos (KRUSE; FUNKE; TITIRICI, 2013). No entanto, as pesquisas contemporâneas possuem maior foco na produção de produtos sólidos (carvão hidrotérmico) que possuem maior valor agregado e voltados para aplicação em processos industriais e ambientais (KRUSE; FUNKE; TITIRICI, 2013; PETERSON et al., 2008).

A carbonização hidrotérmica é um processo de transformação de biomassa, seja ela úmida ou seca, em um produto sólido que é rico em carbono e nutrientes derivados

da matéria prima (BERGE et al., 2011). O processo de carbonização hidrotérmica é um processo termoquímico em sistema fechado, com pressão autogerada entre 2 e 6 MPa na presença de vapor de água com variação de temperatura entre 180 e 300 °C permanecendo por até 18 h (HOEKMAN et al., 2013; MUMME et al., 2011), sendo monitorados apenas a temperatura e o tempo de reação (LIBRA et al., 2011).

O carvão hidrotérmico difere do biochar devido essencialmente ao processo utilizado para a conversão termoquímica da matéria-prima, dado que o primeiro é obtido pela a carbonização hidrotérmica e o segundo, pela pirólise. Contudo, as variações também decorrem de acordo com a biomassa utilizada no procedimento, onde para a realização da pirólise, a biomassa em questão deve estar seca ou passar por uma etapa de secagem do material (LIBRA et al., 2011; MUMME et al., 2011). O processo termoquímico da pirólise converte a biomassa através de um aquecimento com temperaturas de 300 a 900 °C (EGAMBERDIEVA et al., 2016), sendo mais altas quando comparadas ao processo de carbonização hidrotérmica (180 a 250 °C), e na maioria das vezes o procedimento é realizado utilizando atmosfera inerte de nitrogênio (N₂) (WANG et al., 2018).

As características presentes no carvão hidrotérmico variam de acordo com a temperatura e o tempo de reação empregados para a obtenção do carvão, além também da matéria prima utilizada. Mumme e colaboradores (2011) realizaram um estudo onde a carbonização hidrotérmica foi realizada utilizando silagem de milho como matéria prima. Os resultados obtidos pelos autores evidenciaram a obtenção de carvão hidrotérmicos distintos em suas características físicas e químicas, sendo possível elevar o teor de carbono, porém reduzindo os rendimentos da carbonização e a área superficial dos materiais, essas diferenças foram atribuídas temperatura (MUMME et al., 2011). O aumento dessas propriedades são ocasionadas pela remoção do oxigênio da estrutura lignocelulósica, decorrente de série de reações de desidratação e descarboxilação (MUMME et al., 2011). Fang e colaboradores (2015) realizaram um estudo empregando diferentes resíduos agrícolas (bagaço de cana-de-açúcar, casca de noqueira e casca de amendoim) além de diferentes temperaturas (200, 250 e 300 °C). Com isso, foi possível verificar que os carvões produzidos a partir da temperatura de 200 °C apresentavam maiores áreas superficiais e volume de poro, o que implica em uma elevada capacidade para sorver azul de metileno e chumbo em um meio aquoso.

O carvão hidrotérmico possui diversas aplicações, tais como: catálise heterogênea (TAVASOLI et al., 2018), foto catálise (LIANG et al., 2017), sequestro de CO₂ (SEVILLA; MACIÁ-AGULLÓ; FUERTES, 2011), purificação de água (LI et al., 2019), aplicações biológicas e aplicações agrícolas (TITIRICI et al., 2012). Conforme a literatura, o carvão hidrotérmico pode alterar a morfologia do solo, funcionalidade dos microrganismos (KAMBO; DUTTA, 2015) inseridos no ambiente em geral, e possui efeitos positivos na germinação (FREGOLENTE, 2018), capacidade de retenção de água em solo (AXELSSON et al., 2012; BARGMANN et al., 2014), além da possibilidade de incorporação de determinados metais e nutrientes em sua composição (POERSCHMANN et al., 2015; SCHIMMELPFENNIG, 2015), propriedades essas que convertem o carvão hidrotérmico em um produto de interesse para o estudo que visa melhorias de condições agrícolas (BUSCH; GLASER, 2015).

A utilização de uma mistura de bagaço e vinhaça de cana-de-açúcar para a obtenção do carvão hidrotérmico é recente na literatura (MELO et al., 2017; SILVA et al., 2017). Melo e colaboradores (2017) conseguiram concluir que o carvão hidrotérmico produzido variando as quantidades (1 a 4 % (v/v)) de ácido fosfórico (H₃PO₄, Merck 85%), temperaturas (180 e 230 °C) e tempo de carbonização (13 e 40 h) (MELO et al., 2017). Os autores observaram que o carvão hidrotérmico produzido possui altos teores de carbono, além da grande quantidade de nutrientes presentes (nitrogênio, fósforo, potássio, entre outros), além de ter sido verificado a presença de grupos funcionais orgânicos importantes, que podem contribuir para a disponibilização dos nutrientes em suas formas assimiláveis para a cultura empregada no solo. Contudo, os autores concluíram que ainda é necessário caracterizar esses compostos formados, haja vista que eles podem prover substâncias desejáveis ou indesejáveis para o desenvolvimento vegetal (MELO et al., 2017).

2.2 Solos

O solo é um compartimento ambiental importante para o prosseguimento da vida, proporcionando fontes de alimentos, reciclagem e armazenamento de nutrientes e detritos orgânicos, bem como realiza o controle do fluxo e proteção de águas subterrâneas. No Brasil, os solos mais comuns são os argissolos e latossolos, que juntos representam aproximadamente 55% da área total nacional.

De acordo com (IBGE, 2009) os solos possuem horizontes e camadas, que são seções de constituição mineral ou orgânica. Existem diversos tipos de horizontes, para a nomenclatura de cada horizonte é utilizado letras maiúsculas. As nomenclaturas utilizadas são horizontes O, H, A, E, B, entre outros. Os horizontes A, são referidos a parte superficial do solo, onde está estabelecida a concentração de matéria orgânica decomposta e componentes minerais, tais como ferro, alumínio e argila. Horizontes E, são retratados como horizontes minerais, onde sua característica principal é a perda de argilas silicatas, óxidos de ferro e alumínio ou matéria orgânica, tendo então uma concentração residual de areia e silte. O horizonte B é referido como horizonte subsuperficial de acumulação de minérios (ferro, alumínio, silício), húmus, ou com bom desenvolvimento estrutural (IBGE, 2009).

2.2.1 Latossolo

Latossolo é um tipo de solo derivado de rochas básicas, descrito inicialmente como solos cujas características se relacionavam com intemperização e lixiviação intensas, correspondendo a 31 % dos solos brasileiros em uma área de mais de 2,5 milhões de km² (BATISTA et al., 2014; KER, 1998). Além de profundos, os solos possuem uma coloração homogênea avermelhada e/ou amarelada.

Com o desenvolvimento da classificação americana de solos, os latossolos foram agrupados na categoria “Oxisols” deixando assim o termo “Latosols” de lado. Esse agrupamento recebeu adequações por parte da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), originando assim o horizonte B latossólico (CARVALHO et al., 1988).

O horizonte B dos latossolos possui características específicas, como por exemplo, espessura mínima de 50 cm, textura mais fina que o solo arenoso, com baixos teor de silte e fração argila/silte menor que 0,7. Possui ainda uma relação molecular

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ menor que 2,2, capacidade de troca catiônica (CTC) menor que 13 cmolc/kg e pouca diferenciação entre os subhorizontes (CARVALHO et al., 1988).

Baseado nas características específicas do horizonte B dos solos, foram categorizados sete tipos de latossolos de acordo com sua cor e teores de ferro (CAMARGO et al., 1987; OLIVEIRA et al., 1992), sendo eles: ferrífero (LF), roxo (LR), vermelho-escuro (LE), vermelho-amarelo (LV), amarelo (LA), bruno (LB), vermelho-amarelo variação Una (LU). Quando seu horizonte A é espesso e rico em matéria orgânica, são denominados de latossolos húmicos (LH), fato mais comum nos LV, LB, LU, LR, LF e LV (KER, 1998).

2.2.2 Argissolo

São solos minerais não-hidromórficos, isto é, não se encontram saturados por água. Ainda, seu horizonte A ou E é seguido de horizonte B textural, apresentando desde a cor avermelhada até a amarelada. Podem ser eutróficos, distróficos ou álicos. Tem profundidades variadas e ampla variabilidade de classes texturais. Eles são solos derivados de arenito ou granítica (BATISTA et al., 2014).

Os argissolos possuem uma característica marcante, que é o desenvolvimento de cores diferenciadas, estrutura e diferenciação textural da superfície para baixo. Existem cinco diferenciações baseadas em sua cor e composição, a especificar: acinzentado, bruno-acinzentado, amarelo, vermelho-amarelo e vermelho. Ademais, existem diferenciações de acordo com seu grupo. Os argissolos distróficos se caracterizam por solos que possuem mais de 50 % de capacidade de troca ocupada pelo hidrogênio e alumínio, portanto são menos férteis. De outro modo, os eutróficos são solos que possuem mais de 50 % da capacidade de troca ocupada com as bases (cálcio, magnésio e potássio), sendo, portanto, os mais férteis. Por fim, os argissolos álicos são assim chamados por sua saturação de alumínio, característica evidenciada principalmente no horizonte B, ou mesmo no horizonte A, influenciando negativamente em sua fertilidade por bloquear o crescimento celular (ABRAHÃO et al., 2004).

Depois dos latossolos, o argissolo é o solo que ocupa a maior parte do território brasileiro com aproximadamente 24 % da superfície do país, representando 1.957.440 km², com presença em praticamente todos os estados do país, principalmente na região

amazônica (BATISTA et al., 2014). No estado de São Paulo, os argissolos estão presentes em praticamente todas as regiões, e sua maior concentração se dá na região limítrofe com o centro-oeste brasileiro.

2.3 Estudos de aplicação de biochar e carvão hidrotérmico no cultivo de plantas

O biochar tem sido aproveitado em diversas áreas de estudos, tais como a agricultura, economia e na esfera ambiental. As principais características de sua aplicação são o seu potencial como condicionante de solos, o reaproveitamento dos resíduos gerados de setores industriais, agrícolas e estações de tratamento de esgoto, além da conversão de energia (BEESLEY et al., 2011; LEHMANN; JOSEPH, 2009). O biochar, quando aplicado ao solo, é capaz de alterar seu ambiente microbiano, e reduzir emissões de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) (TAN et al., 2017).

De acordo com os estudos utilizando o biochar, os benefícios trazidos para o solo onde o carvão está inserido são vários, como aumentar a matéria orgânica disponível, aumentar a capacidade de retenção de água e permeabilidade do solo, retenção de nutrientes, aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo e ajustar o clima do micro ambiente (GLASER et al., 2002; KOLTON et al., 2011; LEHMANN et al., 2003). Essas propriedades do carvão são bem vistas para que o emprego do biochar como condicionante de solo seja consolidado através de estudos realizando a aplicação em solo.

Estudos de aplicação de biochar são amplamente realizados (BARGMANN et al., 2013; CHEN et al., 2018; OLDFIELD et al., 2018; PANDIT et al., 2018; PRASAD; TZORTZAKIS; MCDANIEL, 2018; TAN et al., 2017; WANG; WANG; WANG, 2018; YUAN; TAN; HUANG, 2018). Estes estudos tem por objetivo avaliar o efeito do tipo de biochar, da biomassa de partida tais como lodo industrial, lodo de esgoto, resíduos de carvalho, palha de soja, palha de amendoim, dentre outros, da taxa de aplicação, do solo, da cultura a ser estudada por meio de experimentos de crescimento de plantas.

Estudos foram conduzidos com biochar proveniente do lodo de esgoto, a partir da pirólise a 600 °C como condicionante de solo, com taxas de aplicação de 0% até 20 % (v/v). Nestes estudos a capacidade de retenção de água, massa seca, porosidade e pH foram avaliados (CHEN et al., 2018). Para as taxas de aplicação de 10 e 15 % (v/v)

observou-se melhora na capacidade de retenção de água, disponibilidade de água para a planta, promoveu o aumento da disponibilidade de nutrientes indispensáveis para o desenvolvimento vegetal como potássio, nitrogênio e fósforo além de atuar na diminuição da temperatura do substrato da estufa promovendo uma excelente melhoria das condições do ambiente para o desenvolvimento das plantas e da comunidade microbiana (CHEN et al., 2018).

Estudos realizados utilizando o carvão hidrotérmico para determinar o potencial de condicionante de solo para o cultivo foram realizados empregando experimentos em coluna (ABEL et al., 2013), in situ (GRONWALD et al., 2016) cultivo de trigo (REIBE et al., 2015) e caracterização do carvão (FANG et al., 2015; TASCA et al., 2019; TASKIN et al., 2019), são reportados na literatura, demonstrando sua capacidade como uma alternativa para melhorar a fertilidade do solo. As biomassas utilizadas variam desde resíduos de uma estação de tratamento de água (TASKIN et al., 2019) até biomassa de plantas (FANG et al., 2015). O carvão hidrotérmico sofre uma decomposição em solo mais rápida comparado com o biochar devido a sua menor quantidade de estruturas aromáticas e uma maior quantidade de carbono lábil em sua estrutura (CAO et al., 2011; LIBRA et al., 2011; STEINBEISS; GLEIXNER; ANTONIETTI, 2009), portanto o carvão hidrotérmico é capaz de prover um maior acesso ao carbono e nitrogênio para os microrganismos e vegetais presentes no solo (BARGMANN et al., 2014).

Gronwald e colaboradores (2016) realizaram um estudo sobre a estabilidade do biochar e do carvão hidrotérmico. Neste estudo, os autores demonstraram que o carvão hidrotérmico possui uma estabilidade baixa, grande quantidade de grupos funcionais em sua estrutura e uma alta reatividade, podendo então, contribuir para o sequestro de carbono. Quando o carvão hidrotérmico é inserido diretamente ao solo, os nutrientes disponíveis para a planta aparentemente demonstraram uma liberação lenta de aproximadamente $100\text{--}125 \text{ kg N a}^{-1}$ and $13\text{--}16 \text{ kg P a}^{-1}$, sendo categorizado como um fertilizante de entrega lenta (GRONWALD et al., 2016). Reibe e colaboradores (2015) trouxeram em seu estudo, a aplicação de diferentes tipos de carvão hidrotérmico (carvão hidrotérmico não fermentado e carvão hidrotérmico fermentado por fermentação metano gênica) provenientes da silagem do milho com carbonização hidrotérmica a 210°C durante 8 h e diferentes taxas de aplicação (1 %, 2 % e 4 %) para o cultivo de trigo. Os resultados obtidos pelos autores, apresentaram uma melhora na massa seca da raiz e parte aérea da biomassa de acordo com o aumento da taxa de aplicação do carvão

hidrotérmico fermentado, provavelmente sua baixa relação C/N promoveu o aumento de microrganismos presentes, aumentando então o crescimento do trigo, entretanto o carvão hidrotérmico não fermentado, se mostrou acompanhar os resultados obtidos pelo biochar neste estudo, onde em todos os experimentos não mostrou nenhuma diferença estatística em relação ao experimento controle (REIBE et al., 2015).

Bargmann e colaboradores (2013) realizaram um estudo comparativo da aplicação do biochar e carvão hidrotérmico de palha de trigo como condicionante de solo. Testes de germinação foram conduzidos avaliando os efeitos fitotóxicos causados, e pôde-se concluir que o biochar em geral não influencia o processo de germinação de milho *Zeamays*, enquanto o carvão hidrotérmico inibe sua germinação de maneira significativa. Compostos de carbono presentes no carvão hidrotérmico, provavelmente, causaram inibição parcial (guaiacol) ou total (ácido levulínico e ácido glicólico) da germinação. Tais impactos negativos foram reduzidos com pré-tratamentos como lavagem e armazenamento do carvão hidrotérmico. Ademais, outros compostos (ácido acético, dímero de glicol aldeído e catecol) foram identificados como prováveis responsáveis nos impactos negativos observados no crescimento do trigo. Assim, os resultados mostraram que as substâncias com capacidades fitotóxicas estavam presentes apenas no carvão hidrotérmico, tais como ácidos orgânicos e fenóis aldeídos, ao mesmo tempo que no biochar tais substâncias não estavam presentes devido à evaporação destas durante o processo de pirólise (BARGMANN et al., 2013).

Por outro lado, é bastante discutido na literatura a possibilidade de formação de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) quando realizado o processo de pirólise associado às elevadas temperaturas (WANG; WANG; HERATH, 2017), fato esse que seria uma desvantagem quanto à possibilidade de sua utilização no solo. O trabalho conduzido recentemente por De Resende e colaboradores (2018) em estudos de aplicação de biochar em três áreas experimentais mostrou que a concentração de HPA não excedeu o previsto na legislação brasileira e europeia (DE RESENDE et al., 2018).

Estudos já realizados utilizando carvão hidrotérmico apresentam efeitos positivos, como por exemplo o “carbonsink”, termo em inglês que faz referência a um reservatório artificial ou natural que acumula e guarda compostos químicos contendo carbono (C) em sua composição (GEORGE et al., 2012). Em contrapartida, o emprego de carvão hidrotérmico proveniente de lodo de esgoto levou à necrose das folhas, ainda que houvesse acréscimo de colônias de fungos nas raízes de plantas como feijão *Phaseolusvulgaris*, trigo *Hordeumvulgare*, agrião-de-jardim *Lepidiumsativume* e alfafa

Medicago sativa, fator positivo. A ocorrência de ora efeitos positivos, ora negativos observados devido a presença de carvão hidrotérmico evidenciam a necessidade de mais estudos para entender as causas destes efeitos, tornando viável e benéfica a utilização do carvão hidrotérmico em solos (GEORGE et al., 2012; MELO et al., 2018).

Efeitos positivos da aplicação de carvão hidrotérmico, proveniente de lodo de esgoto com taxas de aplicação de 4, 8, 16 e 32 t ha⁻¹ foram observados em estudos de crescimento em vasos utilizando feijão como cultura (MELO et al., 2018). Na primeira safra de feijão não foi observada diferença no total de massa seca entre o controle e os tratamentos com carvão hidrotérmico, porém na segunda colheita os resultados obtidos indicaram a probabilidade de disponibilidade maior de nutrientes para a cultura, resultando em maior teor de massa seca. Taxas de aplicação de 16 t ha⁻¹ e 32 t ha⁻¹ resultaram em melhorias de crescimento, massa seca e nutrientes presentes no solo do cultivo na segunda safra, na qual o aumento da massa seca foi de 96 % e 112 %, respectivamente, comparado ao controle. Embora comprovados os impactos positivos causados pelo carvão hidrotérmico, tais efeitos são dependentes de uma série de variáveis, tais como o tipo do solo empregado, o cultivo, as doses do carvão hidrotérmico utilizado, as condições de processo de transformação da biomassa, matéria-prima, tempo do carvão hidrotérmico no solo e condições dos experimentos realizados (MELO et al., 2018).

Estudos que utilizam a fração aquosa da carbonização hidrotérmica, chamada de água de processo, na germinação e crescimento inicial mostraram efeitos positivos, de alface, milho e tomate, principalmente para os dois últimos (FREGOLENTE, 2018). A concentração de 100 mg C L⁻¹ foi capaz de estimular a germinação e crescimento de milho, enquanto a melhor concentração de água de processo para tomate foi de 50 mg C L⁻¹, assim demonstrando que a água de processo foi capaz de estimular o desenvolvimento destas culturas e que a escolha da taxa de aplicação pode variar de acordo com a cultura avaliada. Assim, tais resultados sugerem que o carvão hidrotérmico também obtido da carbonização de subprodutos da indústria sucroenergética apresentou resultados positivos com diferenças estatística em relação ao grupo controle de $p= 0,006$ na concentração de 100 mg C L⁻¹, $p= 0,0002$ na concentração de 250 mg C L⁻¹ e $p= 0,0004$ na concentração de 500 mg C L⁻¹ no crescimento da parte aérea e raiz de milho, além de resultados positivos também para o crescimento da parte aérea e raiz de tomate, apresentando diferença estatística positiva

em relação ao grupo controle nas concentrações de 50 e 100 mg C L⁻¹ (FREGOLENTE, 2018).

Neste contexto, a viabilidade de emprego do carvão hidrotérmico como condicionante do solo requer conhecimento e estudo detalhado. Para tal, o tipo de biomassa, as condições do processo de carbonização e a taxa de aplicação precisam ser analisados.

3. Objetivos

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações de extrato de carbono da fração solúvel do carvão hidrotérmico em experimentos de germinação e diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico em solos intemperizados tais como argissolo e latossolo no crescimento da beterraba (*Beta vulgaris* L.).

4. Materiais e Métodos

4.1 Amostra de solo

As amostras de solo foram coletadas seguindo as recomendações propostas pelo método proposto (SIMMONS, 2014). O latossolo foi coletado na cidade de Maringá (PR) 23°23'16.63"S e 51°59'29.37"W e o solo argissolo foi coletado na cidade de Quatá (SP) 20°48'19.79"S e 49°19'43.51"W (SANTANA et al., 2019). As amostras de solo foram secas em temperatura ambiente, homogeneizadas, peneiradas a 2 mm e armazenadas. Os solos utilizados neste trabalho foram caracterizados por (BENTO et al., 2019; SANTANA et al., 2019), cujos dados relevantes são elencados em umidade (0,61 % em argissolo e 1,97 % em latossolo), cinzas (96,51 % em argissolo e 87,36 % em latossolo), pH (6,41 em argissolo e 5,39 em latossolo), argila (16,52 % em argissolo e 42,85 % em latossolo) e silte (9,04 % em argissolo e 23,50 % em latossolo).

4.2 Carvão Hidrotérmico

Neste trabalho foi empregado o uso do carvão hidrotérmico produzido a partir da carbonização hidrotérmica a 230 °C durante 13 h, utilizando como matéria prima a mistura de bagaço e vinhaça da cana-de-açúcar em uma razão 1:20 juntamente com a adição de ácido fosfórico (H₃PO₄) 4 % (v/v) cuja produção foi realizada previamente pelo grupo de laboratório (FREGOLENTE, 2018).

O carvão hidrotérmico empregado neste estudo apresenta como principais características a presença de nutrientes essenciais para cultivo agrícola como: C (66,6 %), P (17 g kg⁻¹), N (4,1 %), Ca (24 g kg⁻¹), Mg (15 g kg⁻¹) e K (5 g kg⁻¹), maior carbonização do material e, conseqüentemente, maior quantidade de carbono presente no carvão como evidenciado em (SILVA et al., 2017).

4.3 Extração da fração solúvel de carbono do carvão hidrotérmico para estudos de germinação

A extração da fração solúvel de carbono do carvão hidrotérmico foi realizada utilizando dois extratores, sendo estes: água deionizada (SAQ) (OH et al., 2012) e solução de HCl 0,1 mol L⁻¹ (SAC) (SUN et al., 2017). As extrações foram realizadas utilizando 30 g de carvão hidrotérmico colocadas em erlenmeyer de 500 mL juntamente com 450 mL da solução extratora. As amostras foram agitadas a 170 rpm (0,12 G) por 12 h. Em seguida, as soluções foram centrifugadas para separação da fase aquosa (3500 rpm ou 1.5 G por 15 min), e depois filtradas duas vezes utilizando papel filtro comum, para separação efetiva do sólido (SUN et al., 2017).

4.4 Experimentos de germinação de beterraba em gel de agarose

Nos experimentos de germinação foi feita a análise de carbono orgânico total das soluções de extratos das frações solúveis do carvão hidrotérmico, fazendo uso do analisador de carbono orgânico total (TOC-VCSN, Shimadzu), bem como a avaliação da massa seca das raízes e parte aérea utilizando uma estufa a 110 °C até obter peso constante, além da realização da determinação do comprimento atingido pelas sementes com auxílio do software *Image J* (versão 1.5li).

A partir da solução extraída, foram preparadas diluições nas concentrações de 10, 50 e 100 mg C L⁻¹ utilizando água deionizada no meio reacional. O pH das soluções foi corrigido para cerca de 5,50 (pH da água deionizada) utilizando solução de KOH 0,1 mol L⁻¹. O preparo da agarose foi realizado mediante utilização da proporção 1 g de agarose para 100 mL de solução. Em seguida a solução foi aquecida a 100 °C para a

dissolução da agarose. Uma vez preparadas, as soluções foram adicionadas nas placas de Petri e deixadas para esfriar à temperatura ambiente para a polimerização do gel. As sementes de beterraba sofreram tratamento prévio em solução de hipoclorito de sódio 10 % por 15 min. Elas foram em seguida lavadas abundantemente com água destilada, e depois utilizadas na montagem dos experimentos fazendo-se uso de 10 sementes em cada placa de Petri, como mostrado na Figura 1. Foram preparados os dois ensaios utilizando solução aquosa (SAQ) e solução aquosa ácida (SAC) como extratores, com cinco repetições para cada tratamento (diluições). As placas foram inseridas na câmara de germinação e suas posições foram alternadas diariamente de maneira aleatória. As placas permaneceram em câmara de germinação tipo B.O.D (Biochemical Oxygen Demand ou Demanda Bioquímica de Oxigênio) à 25 °C, por sete dias, com fotoperíodo de 16 h por dia e oito h por noite, monitoradas cotidianamente durante os sete dias de experimento, registrando-se o número de sementes germinadas. Desse modo, foi calculado o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) utilizando a Equação 1.

Equação 1 Índice de Velocidade de Germinação

$$IVG = \Sigma Gi / ni$$

onde, “Gi” equivale ao número de sementes germinadas no dia de contagem e “ni” equivale ao dia da contagem.

Figura 1 Foto das placas dispostas para desmontagem do experimento contendo 10 sementes de beterraba por placa em gel de agarose e carbono no extrato da fração solúvel do carvão hidrotérmico em meio aquoso e ácido.



Fonte: Autoria própria.

Ao final do experimento, foi realizada a contagem do número de sementes germinadas em cada placa e foram medidos o comprimento total de todas as sementes germinadas utilizando o software *Image J (versão 1.5li)*. Para ser realizada a determinação do comprimento total das sementes germinadas, realizou-se um esquema demonstrado na Figura 2, onde foi utilizada uma régua aferida com paquímetro e um fundo de cartolina para que fosse possível a visualização da beterraba germinada. Em seguida, a foto foi levada ao software *Image J (versão 1.5li)*, onde foi determinado o tamanho exato de 1 cm de acordo com a quantidade de pixels presentes nesta reta estipulada, e então é realizado o contorno da planta para a determinação correta em pixels do comprimento e por fim essa medida é convertida em pixels.

Ademais, foi realizado em etapa posterior o procedimento de determinação da massa seca, no qual foram separadas raízes e partes aéreas, mantidas em estufa à 110 °C onde permaneceu até atingir peso constante.

Figura 2 Esquema utilizado para a determinação do comprimento das raízes de beterraba (*Beta vulgaris* L.) germinadas após 7 dias na câmara B.O.D em contato com frações solúveis de carbono do carvão hidrotérmico.



Fonte: Autoria Própria.

4.5 Experimentos de crescimento da cultura de beterraba

Os experimentos de crescimento de beterraba foram realizados utilizando dois tipos de solos, os latossolos e os argissolos. Para latossolo foi realizada correção do pH utilizando calcário. Ainda, foi realizada a adição de fertilizante para uma maior disposição de nutrientes em função dos resultados da análise de solo já conduzidas (SANTANA et al., 2019). Antes de iniciar os experimentos de crescimento, houve outro trabalho conduzido por (FREGOLENTE, 2019) utilizando o mesmo solo e taxas de aplicação de carvão hidrotérmico, apenas variando a cultura empregada (milho) no

experimento, onde o solo esteve em contato com o carvão hidrotérmico durante 100 dias antes de ser iniciado os experimentos de crescimento com a utilização da beterraba, em seguida foram realizados experimentos teste, que consistiu em colocar dois vasos com argissolo e latossolo em diferentes taxas de aplicação na câmara climática recebendo doses de água destilada até que fosse determinada as melhores quantidades de adição de água ao experimento.

Antes do cultivo foi realizada a determinação do pH dos solos para que fosse feita a correção dos solos utilizando calcário, em seguida, foi realizado o cálculo para determinação da quantidade de fertilizante adicionado em cada vaso (SILVA; LOPES, 2012). Cada vaso recebeu uma dose inicial de fertilizante no dia anterior ao plantio, recebendo o equivalente a 41 kg ha⁻¹ de fósforo na forma de P₂O₅, 100 kg ha⁻¹ de potássio na forma de K₂O e 78 kg ha⁻¹ de nitrogênio solúvel em água, utilizando fertilizante mineral misto para aplicação foliar e fertirrigação (Rootex®, Cosmocel) adquirido comercialmente.

Foram avaliadas as seguintes taxas de aplicações de carvão hidrotérmico: 0 % m/m (controle), 0,5 % m/m (10 t ha⁻¹) e 1 % m/m (20 t ha⁻¹). Foram realizados os experimentos em quintuplicata para cada taxa de aplicação de carvão hidrotérmico totalizando 30 vasos. Os experimentos de solo com carvão hidrotérmico, foram colocados em uma câmara climática (TE-4002, Tecnal), mantidos à 25 °C, a um umidade média de 55 % e um fotoperíodo de 16 h por dia e 8 h por noite, irrigados até atingirem a capacidade de campo no primeiro dia de experimento. Após essa etapa, foi realizado o plantio das sementes de beterraba, no qual foram inseridas cinco sementes em cada vaso a uma profundidade entre 1 e 1,5 cm como recomendado (TRANI; TIVELLI, 2013). Após um período de sete dias, foi feito o desbaste das sementes germinadas, que consistiu na contagem total de folhas e uma análise qualitativa para determinar a planta que obteve o melhor desenvolvimento durante o início do experimento, fazendo a remoção das outras quatro plantas restando apenas uma, onde foi irrigada e monitorada todos os dias.

Os vasos contendo as plantas foram mantidas em câmara climática durante 80 dias (Figura 3). Após este período realizou-se a desmontagem dos experimentos. Para tal, cada planta foi retirada do vaso e imediatamente levada para a bancada na qual foi dado início ao procedimento de preparo da amostra para as análises de MEV, devido a necessidade de que essa fosse realizada com agilidade para que não ocorresse nenhum tipo de degradação da matéria vegetal analisada. Em seguida as amostras foram colocadas em uma bancada de fundo branco contendo uma régua, aferida por paquímetro, para que elas fossem fotografadas (Figura 4). Com o emprego do software *Image J* (versão 1.5li), as medidas de comprimento da raiz, parte aérea e total da planta foram realizadas.

As raízes e parte aérea foram separadas seguidas de pesagem de amostras representativas para a determinação de nutrientes totais (cálcio, boro, cobre, ferro e zinco) e o restante da amostra submetida a determinação de massa seca.

Nas amostras de solo de cada vaso foi medido o pH antes e após o cultivo da beterraba (80 dias) utilizando as recomendações do método EPA 9045D, que consiste em pesar 20 gramas de amostras transferir para um erlenmeyer com adição de 20 mL de água e agitação por 5 minutos. Em seguida a medição de pH foi realizada em um pHmetro previamente aferido com tampão pH 7,0 e 4,0 (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2004).

Figura 3 Foto das plantas de beterraba (*Beta vulgaris L.*) que cresceram na presença de solo com diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico durante 60 dias de experimento.



Fonte: Autoria Própria.

As amostras remanescentes foram encaminhadas para ser tirada uma foto utilizada régua aferida por paquímetro como mostrada na Figura 4 para posteriormente encaminhar ao software *Image J* (versão 1.5li), onde foram realizadas a determinação de comprimento total da planta. Ainda, em balança semi-analítica, realizou-se a pesagem da planta completa, sua parte aérea, raízes e levadas para a determinação de nutrientes o solo remanescente foi analisado o pH antes e depois do cultivo utilizando o método EPA 9045D (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2004).

Figura 4 Foto de uma planta de beterraba (*Beta vulgaris L.*) após crescimento de 80 dias em latossolo controle.



Fonte: Autoria Própria.

A determinação de cinzas, umidade e matéria orgânica do solo foi realizada utilizando o método ASTM Standard D653 (ASTM INTERNATIONAL, 2014) e consistiu da pesagem de 0,1 g de cada solo em balança analítica, colocados em cadinhos. Em seguida, os cadinhos foram levados para a estufa a 110 ± 5 °C durante 16 h. Ao retirar os cadinhos da estufa, esses foram colocados em um dessecador de vidro, e pesados novamente. Por fim foi realizado o cálculo de umidade utilizando a Equação 2:

Equação 2 Fórmula utilizada para o cálculo da umidade presente no solo.

$$Umidade, \% = [(A - B) \times 100] / B$$

Fonte: ASTM Standards

D653.

onde, A= Massa do solo utilizada e B= Massa do solo após 16 h a 100 °C na estufa.

Para a determinação de cinzas do solo, o método empregado neste trabalho foi de pesar em balança semi-analítica uma massa de 50 g de cada tipo de solo, colocar as amostras em cadinho e levar a uma mufla onde permaneceram a 750 ± 38 °C até a completa carbonização dos solos. Em seguida, os cadinhos foram colocados em um dessecador a sílica gel, onde permaneceram até o completo resfriamento até atingida a temperatura ambiente e foram levados novamente a uma balança para ser medido o seu peso, e então, realizado o cálculo de cinzas, utilizando a Equação 3.

Equação 3 Fórmula utilizada para o cálculo da quantidade de cinza presente no solo.

$$\text{Cinzas, \%} = (C \times 100)/B$$

Fonte: ASTM Standards

D653.

Onde, C= Solo calcinado a 750 °C na mufla durante 4 h e B= Massa do solo após 16 h a 100 °C na estufa.

Para a determinação de matéria orgânica, foi utilizado os resultados dos procedimentos anteriores e a equação 4 para o cálculo.

Equação 4 Fórmula utilizada para o cálculo da matéria orgânica presente no solo.

$$\text{Matéria Orgânica, \%} = 100 - D$$

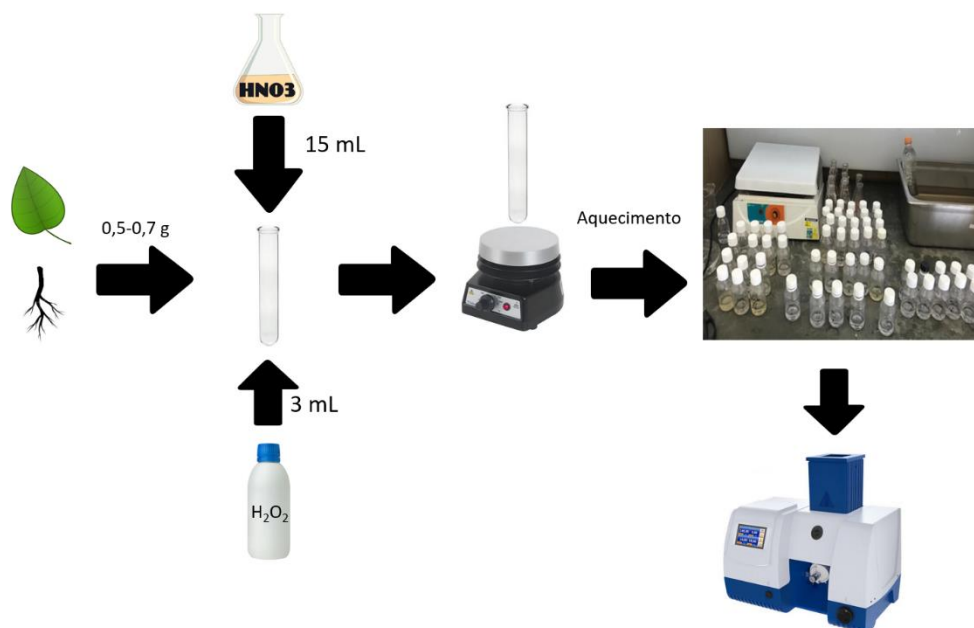
Fonte: ASTM Standards

D653.

Onde, D= Porcentagem de cinzas presente no solo.

A decomposição da parte aérea e da raiz de beterraba (*Beta vulgaris L.*) está mostrada na Figura 5 onde foi realizada seguindo o método por via úmida proposto por Embrapa-CNPAP (EMBRAPA-CNPAP et al., 1986). Para isto uma massa entre 0,5 e 0,7g da parte aérea e raiz foram pesadas, seguida da adição de 15,0 mL de ácido nítrico concentrado 70% Synth (HNO₃) e 5,0 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) 35 % Synth. As amostras permaneceram em bloco digestor a 85 °C até a digestão completa do material em torno de 3 dias sendo feita adições de ácido nítrico concentrado e peróxido de hidrogênio sempre que necessário.

Figura 5 Foto das amostras preparadas para digestão ácida para decompor o material vegetal da beterraba (*Beta vulgaris L.*) (raíz e parte aérea).



Fonte: Autoria Própria

As amostras de parte aérea e raiz das plantas de beterraba foram submetidas a determinação de: cálcio (Ca) (comprimento de onda: 422,7 nm; abertura: 0,5 nm; corrente de lâmpada: 10 mA; chama de N₂O/Acetileno), boro (B) (comprimento de onda: 249,8 nm; abertura: 0,2 nm; corrente de lâmpada: 20 mA; chama de N₂O/Acetileno), cobre (Cu) (comprimento de onda: 324,8 nm; abertura: 0,5 nm; corrente de lâmpada: 5 mA; chama de O₂/Acetileno), ferro (Fe) (comprimento de onda: 372 nm; abertura: 0,2 nm; corrente de lâmpada: 5 mA; chama de O₂/Acetileno), e zinco (Zn) (comprimento de onda: 213,9 nm; abertura: 1 nm; corrente de lâmpada: 5 mA; chama de O₂/Acetileno), por espectrometria de absorção atômica com atomização por chama (FAAS) (AA240FS Varian).

As amostras utilizadas seguiram as seguintes denominações: Arg, para os argissolos, Lat para latossolos, P e R para parte aérea e raiz respectivamente, e C,10 e 20 para as taxas de aplicações utilizadas nas análises, por exemplo: Arg P C e Lat R 20.

4.6 Análises realizadas em experimentos de germinação e crescimento

4.6.1.1 Microscopia Eletrônica de Varredura

Uma massa da raiz e parte aérea (aproximadamente 0,1 g) foi colocada em um béquer seguida da adição de 2 mL de solução fixadora contendo 4% de paraformaldeído ($((\text{CH}_2\text{O})_n)$) e 2,5% glutaraldeído ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$) em meio de solução tampão fosfato (pH entre 6,4 e 7,4). As amostras foram colocadas em tubo de micro centrífuga e refrigeradas (ABRAHÃO et al., 2004; GROSS; PIRES; FERNANDES, 2014). As amostras foram submetidas a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) das raízes e parte aérea empregando equipamento Quanta 450-FEG/FEI com aceleração de voltagem de 20kV.

4.7 Análises Estatísticas

Como teste estatístico foi utilizado o modelo linear generalizado (GLM, ANOVA) juntamente com o uso do software STATISTICA para avaliar diferença entre os grupos controle, 10, 50 e 100 mg de C/L em experimentos de germinação e controle, 10 e 20 t ha⁻¹ nos experimentos de crescimento. Quando observada significância estatística, será aplicado o teste Tukey HSD. Para $p < 0,05$ ou 5 % (parâmetro de confiança) para indicar diferença estatística.

5. Resultados e Discussão

5.1 Extração do carbono solúvel do carvão hidrotérmico para realização dos experimentos de germinação

Os valores de TOC das frações de carbono solúvel empregando o extrator H_2O e HCl foram de 139,2 mg de C/L e 272,8 mg de C/L, respectivamente. Com base nos resultados obtidos, observa-se que a solução extratora aquosa foi capaz de extrair uma maior quantidade de carbono orgânico total quando comparado a solução extratora aquosa ácida, provavelmente o pH da solução extratora favoreceu a extração de compostos com grupos funcionais contendo oxigênio em sua estrutura, como por exemplo ésteres alifáticos, grupos carboxilas e álcoois (LI et al., 2017; WU; DONG; LIU, 2018). Este resultado sugere que se o carvão hidrotérmico for aplicado ao solo liberará uma maior quantidade de carbono após cada evento de chuva e que, a acidificação que ocorrerá após o crescimento da planta não afetará a liberação de carbono.

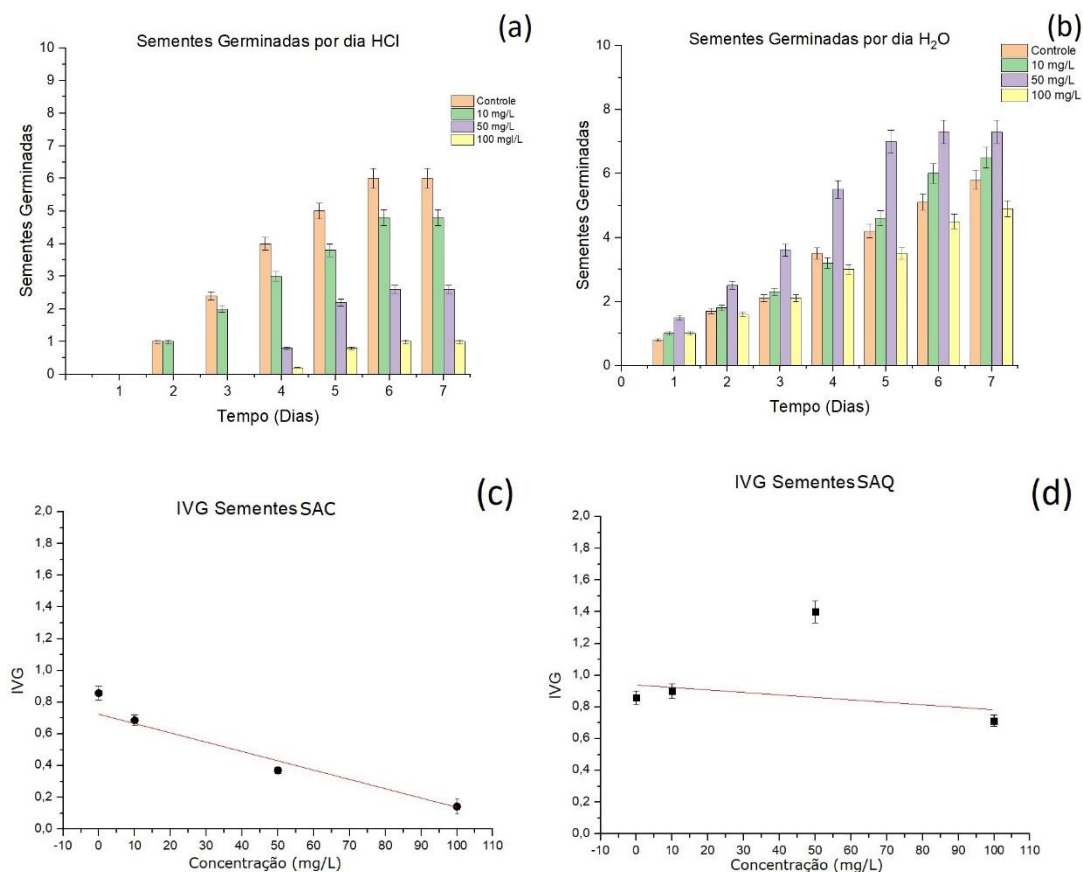
Vale destacar que estudos realizados de caracterização de compostos orgânicos voláteis, semivoláteis e não voláteis no carvão hidrotérmico obtido com a mesma biomassa e condições do carvão empregado neste trabalho indicaram uma variedade de compostos orgânicos incluindo fenóis, compostos nitrogenados, ácidos carboxílicos, derivados de benzeno e derivados de açúcares (DA SILVA, 2018; LARANJA, 2018).

5.2 Experimentos de germinação de beterraba em diferentes concentrações de carbono solúvel extraído do carvão hidrotérmico

Nas Figuras 6a e 6b são apresentados os dados de germinação das sementes (quantidade de sementes germinadas por dia) de beterraba. Os resultados indicaram um aumento da quantidade de raízes germinadas das sementes com o passar dos dias, sendo estas mais intensas empregando carbono solúvel do carvão hidrotérmico extraídas com H₂O (SAQ), o que deve estar associado ao tipo de carbono e nutrientes liberados na solução com este extrator ser mais benéfico ao desenvolvimento das sementes. No entanto, nota-se uma diminuição gradativa da taxa de germinação quando essas frações são extraídas utilizando solução extratora ácida (SAC).

O desenvolvimento das sementes de beterraba pode ser observado nas Figuras 6 e 7, sendo que houve um aumento da quantidade de sementes germinadas até concentração a concentração de 50 mg de CL⁻¹(Figura 6a e b). Parece ter ocorrido inibição da taxa de germinação para a concentração de 100mg de CL⁻¹ quando comparado ao do grupo controle. O mesmo comportamento foi observado quando se avaliou o índice de velocidade de germinação (Figuras 6c e 6d).

Figura 6(a) Sementes germinadas por dia no experimento de germinação utilizando SAC. **(b)** Sementes germinadas por dia no experimento de germinação utilizando SAQ. **(c)** Correlação do índice de velocidade de germinação das sementes de beterraba com o aumento da concentração da fração solúvel do carvão hidrotérmico em SAC **(d)** Correlação do índice de velocidade de germinação das sementes de beterraba com o aumento de concentração da fração solúvel do carvão hidrotérmico em SAQ.

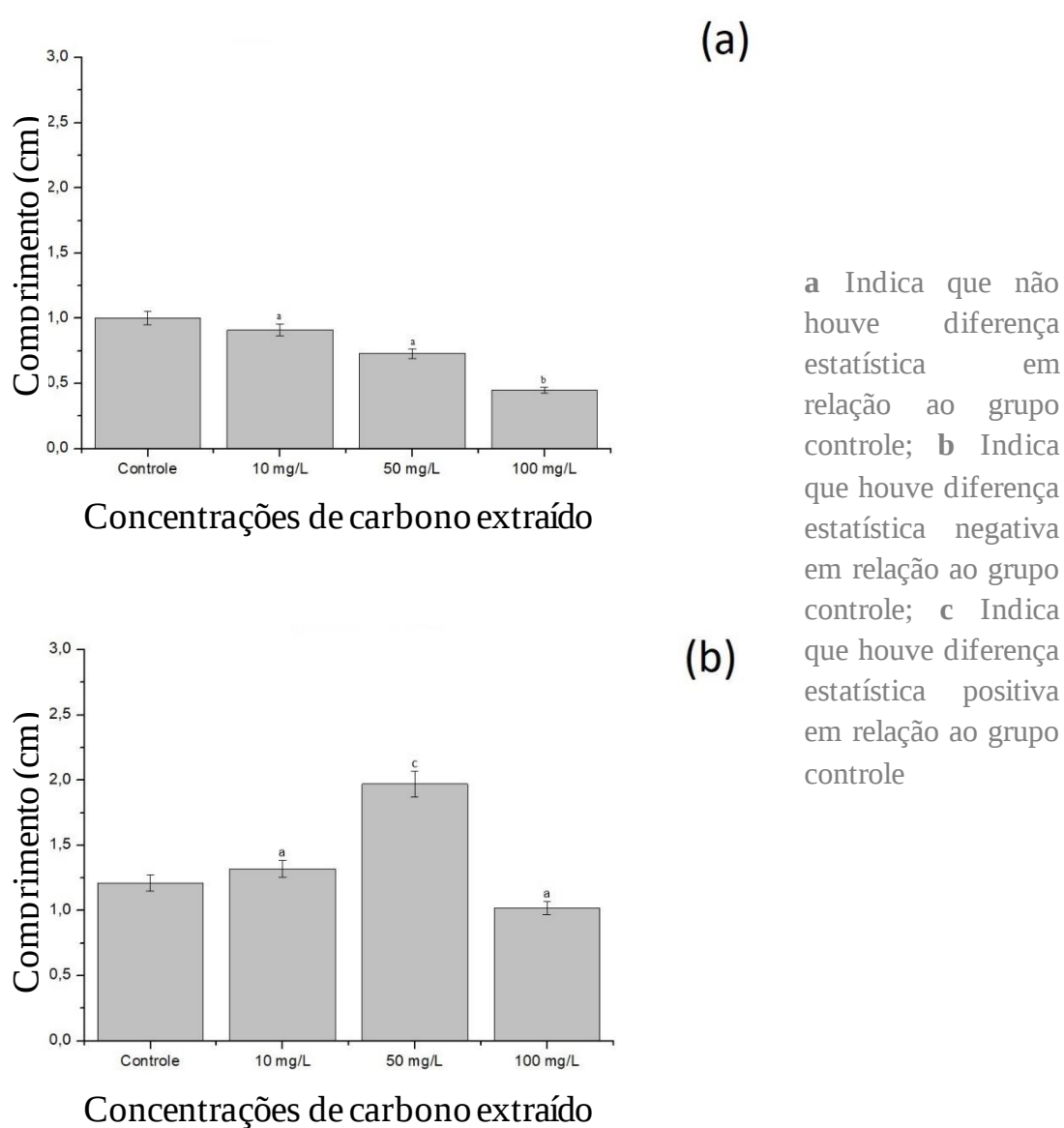


Fonte: Autoria Própria

O comprimento total das sementes germinadas de beterraba, representado nas Figuras 7a e 7b, também foi estimulado utilizando a SAQ principalmente para as concentrações de 10 e 50 mg de C L⁻¹, ainda que não haja diferença estatística positiva em relação a $p < 0,05$. Para a SAC, quanto maior a concentração utilizada, menor foi a taxa de crescimento, dado confirmado por meio do tratamento estatístico que apresentou, para a concentração de 100 mg de C L⁻¹, a diferença estatística negativa em relação ao experimento controle. Observa-se o crescimento mais favorável com SAQ.

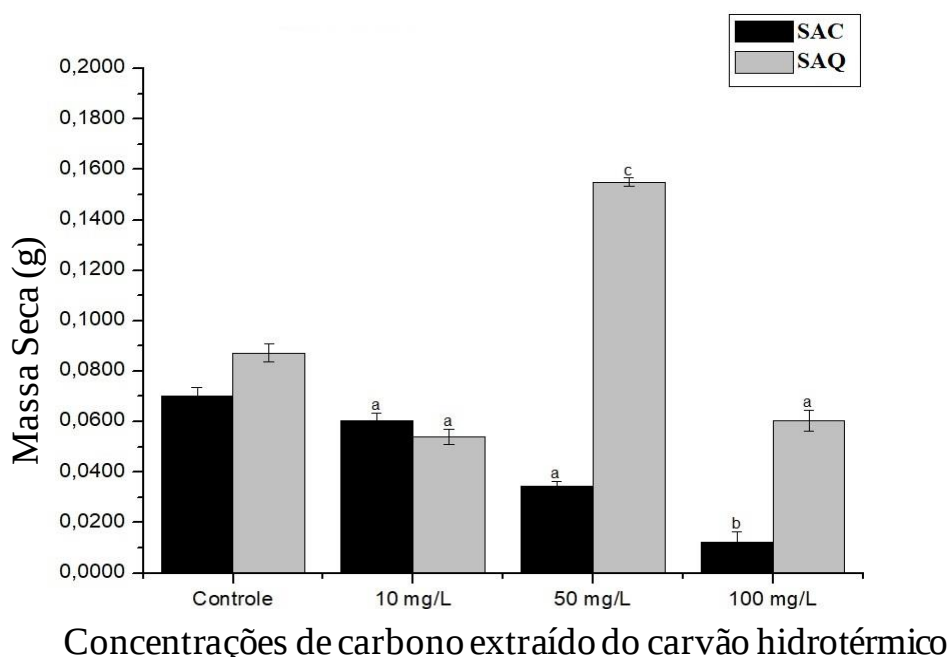
Dentre as concentrações testadas o melhor desenvolvimento para a cultura de beterraba foi observado para a concentração de 50 mg de CL⁻¹ de carbono orgânico total (Figuras 6 e 7). Os resultados de massa seca também confirmam o observado (Figura 8), sendo que para a concentração de 50mg de CL⁻¹ com SAQ foi observado diferença estatística positiva em relação ao grupo controle, indicando que ocorreu um estímulo da germinação da cultura de beterraba nesta concentração.

Figura 7 Valores de comprimento total das raízes germinadas de beterraba nos experimentos de germinação empregando como meio extrator de carbono solúvel (a) SAC (b) SAQ.



Fonte: Autoria Própria

Figura 8 Massa seca obtida das raízes de beterraba (*Beta vulgaris L.*) germinadas após 7 dias na câmara B.O.D em contato com frações solúveis de carbono do carvão hidrotérmico.



Fonte: Autoria Própria

a Indica que não houve diferença estatística em relação ao grupo controle; **b** Indica que houve diferença estatística negativa em relação ao grupo controle; **c** Indica que houve diferença estatística positiva em relação ao grupo controle

A inibição ou estímulo observados na germinação e crescimento das sementes de beterraba empregando os extratores SAQ e SAC podem ser atribuídas aos compostos extraídos e presentes na solução. A solução extratora ácida é capaz de remover nutrientes e/ou metais presentes no carvão hidrotérmico cuja parcela se divide entre aqueles que agem como nutriente para a planta, e outra parte dos metais retirados que age como agente tóxico para o desenvolvimento das plantas, à exemplo do Fe que em altas concentrações (acima de 10 mg L^{-1}) apresenta potencial negativo no crescimento das plantas (LYU et al., 2018). Silva e colaboradores (2017) caracterizaram o carvão hidrotérmico utilizado neste trabalho. A quantidade de ferro presente no carvão hidrotérmico apresentado no estudo foi de aproximadamente 5 g kg^{-1} (SILVA et al., 2017). Levando em consideração a quantidade de ferro presente no carvão hidrotérmico, e supondo que todo o ferro foi extraído, concentrações maiores que as definidas como tóxicas por Lyu et al. (2018) estariam presentes na solução ácida utilizada, cujo impacto no desenvolvimento das sementes seria negativo. O trabalho realizado por Santana (2019) demonstrou que a taxa de liberação de Fe em meio aquoso em experimentos

realizados em coluna foi de: argissolo controle (3,7 a 0,6 $\mu\text{g g}^{-1}$), argissolo com adição de carvão hidrotérmico 1,0% (2,9 a 0,2 $\mu\text{g g}^{-1}$), argissolo com adição de carvão hidrotérmico 2,5% (10,2 a 0,1 $\mu\text{g g}^{-1}$), argissolo com adição de carvão hidrotérmico 5,0% (12,5 a 0,1 $\mu\text{g g}^{-1}$), argissolo com adição de carvão hidrotérmico 10% (19,2 a 0,1 $\mu\text{g g}^{-1}$), latossolo controle (2,1 a 0,2 $\mu\text{g g}^{-1}$), latossolo com adição de carvão hidrotérmico de 1,0% (2,7 a 0,1 $\mu\text{g g}^{-1}$), latossolo com adição de carvão hidrotérmico de 2,5% (3,7 a 0,06 $\mu\text{g g}^{-1}$), latossolo com adição de carvão hidrotérmico de 5,0% (0,63 a 0,05 $\mu\text{g g}^{-1}$) e latossolo com adição de carvão hidrotérmico de 10% (0,40 a 0,1 $\mu\text{g g}^{-1}$) (SANTANA,2019). Os resultados mostraram que os lixiviados tenderam a um aumento de acordo com o acréscimo da taxa de aplicação do carvão hidrotérmico, obtendo as maiores concentrações do lixiviado em argissolo seguido do latossolo.

Outra possível explicação para o melhor desenvolvimento com a fração aquosa se deve aos compostos orgânicos extraídos. Estudos de germinação de sementes empregando biochar evidenciam que não houve diferença significativa no processo de desenvolvimento (SUN et al., 2017). Sun e colaboradores (2017) avaliaram o crescimento utilizando condições reproduzidas apenas com os elementos inorgânicos identificados na extração. O resultado que os autores obtiveram mostrou que não houve distinção entre solução extraída e solução reproduzida, indicando a probabilidade da atribuição das distinções encontradas à fração orgânica do carvão em questão (SUN et al., 2017). (SUN et al., 2017). Fregolente e colaboradores (2018) realizaram experimentos utilizando a fração solúvel de carvão hidrotérmico e água de processo nas mesmas concentrações utilizadas nesta pesquisa com as culturas (tomate, alface e milho) para a realização do experimento. Os resultados obtidos corroboraram com os obtidos por Fregolente (2018) empregando o extrator água tendo o melhor desenvolvimento sido observado para a concentração de 10 mg/L (FREGOLENTE, 2018).

5.3 Experimentos de crescimento de beterraba na presença de carvão hidrotérmico

A avaliação do desenvolvimento da beterraba no sistema solo/carvão hidrotérmico para os dois tipos de solo, foi realizada em dois momentos: o primeiro se deu após sete dias do plantio, no momento do desbaste durante o qual se realizou a contagem de folhagem para a verificação de qual planta estava apresentando o melhor crescimento. As demais plantas foram retiradas do vaso mantendo-se uma única planta

por vaso, seguido da desmontagem do experimento após 80 dias de cultivo (segundo momento de avaliação).

Encontram-se na Tabela 1 os resultados de crescimento e massa seca no dia do desbaste. A conclusão dos experimentos aponta os melhores resultados para a taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 10 t ha⁻¹ em quase todos os parâmetros analisados.

Houve uma diferença no crescimento e na massa seca das beterrabas para os solos que receberam as taxas de aplicação de 10 t ha⁻¹ e 20 t ha⁻¹. Diferença estatística positiva foi observada para os experimentos realizados em argissolo com aplicação de 10 t ha⁻¹ em relação ao grupo controle. Melo et al. (2018) encontraram resultados semelhantes para a aplicação de carvão hidrotérmico de 4, 8, 16 e 32 t ha⁻¹ na primeira safra de feijões. Quando realizou-se o experimento de crescimento para a segunda safra de plantação foram observados resultados positivos em relação à massa seca, sendo que a taxa de aplicação de 16 t/ha⁻¹ foi a que foi observado os melhores resultados, chegando a apresentar o dobro de massa seca quando comparada ao experimento controle, além de uma comprovada melhoria do solo em termos de nutrientes (MELO et al., 2018).

Tabela 1: Valores de comprimento total e massa seca das plantas de beterraba em contato com diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico retiradas após 7 dias no procedimento de desbaste.

	Controle	10 t ha ⁻¹	20 t ha ⁻¹
Comprimento	9,2±0,46	9,07±0,45	9,17±0,45
Desbaste Latossolo (cm)			
Comprimento	9,1±0,45	9,57±0,478	8,91±0,445
Desbaste Argissolo (cm)			
Massa Seca Latossolo (g)	0,0224±0,001	0,0259±0,001	0,0243±0,001
Massa Seca Argissolo (g)	0,0758±0,003	0,0926±0,004 a	0,0728±0,003

^a Diferença estatística positiva em relação ao controle

Fonte: Autoria Própria.

Decorrido o período de 80 dias, os experimentos foram desmontados e teve início o preparo de amostra do MEV, pH do solo, umidade, cinzas, matéria orgânica do solo, medidas de crescimento das plantas, massa seca da parte aérea e raízes e análise de nutrientes totais. Inicialmente, foi medido o pH do solo antes e depois do experimento de crescimento. As principais propriedades do carvão hidrotérmico são seu pH levemente ácido de aproximadamente 5,11, fato relevante para a solubilidade da maioria dos nutrientes, e possuir uma porcentagem de matéria volátil e cinzas, indicando a presença de frações orgânicas e inorgânicas no carvão, demonstrando potencial para aplicações como fertilizante (MELO et al., 2017).

Os resultados obtidos estão descritos na Tabela 2. Os resultados do pH da etapa inicial permitem inferir uma maior acidez nos latossolos, fato que pode ser associado à quantidade elevada de óxidos de ferro. Esse pH foi corrigido para 6 utilizando corretores de pH, como o calcário. Era esperado que a aplicação do carvão hidrotérmico no solo diminuísse o seu pH pelo fato de seu processo ocorrer em meio ácido (H_3PO_4), porém não foi o evidenciado. Rillig e colaboradores (2010) também observaram um resultado inesperado de aumento do pH aplicando um carvão hidrotérmico ácido (pH 4,1). Os autores verificaram aumento do pH do solo com o acréscimo da taxa de aplicação de carvão hidrotérmico e com o aumento do tempo de contato. Os autores atribuíram este resultado aos microrganismos presentes no solo, uma vez que experimentos conduzidos com solos auto clavados não apresentam esta propriedade de aumento de pH. Portanto, como o meio onde foram conduzidos os experimentos de crescimento não era um meio esterilizado, o aumento do pH foi confirmado (RILLIG et al., 2010).

Tabela 2: Valores de pH obtido nos solos utilizados no cultivo da beterraba em diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico antes e depois da realização do experimento.

	pH antes	pH depois
Latossolo Controle	5,8	6,0
Latossolo 10 t ha ⁻¹	5,5	6,4
Latossolo 20 t ha ⁻¹	5,6	6,5
Argissolo Controle	6,7	6,4
Argissolo 10 t ha ⁻¹	6,4	6,4
Argissolo 20 t ha ⁻¹	6,5	6,5

Fonte: Autoria Própria.

Com o uso das equações 2, 3 e 4 descritas no método, foi possível obter os valores para cada solo utilizado durante o experimento de crescimento mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados de umidade, cinzas e matéria orgânica obtidos dos solos utilizados nos experimentos de crescimento.

	Umidade (%)	Cinza (%)	Matéria Orgânica (%)
Latossolo Controle	1,17	91,3	8,67
Latossolo 10 t ha ⁻¹	0,86	91,2	8,80
Latossolo 20 t ha ⁻¹	1,00	90,5	9,46
Argissolo Controle	0,00	96,8	3,20
Argissolo 10 t ha ⁻¹	0,27	96,7	3,25
Argissolo 20 t ha ⁻¹	0,53	96,9	3,13

Fonte: Autoria Própria

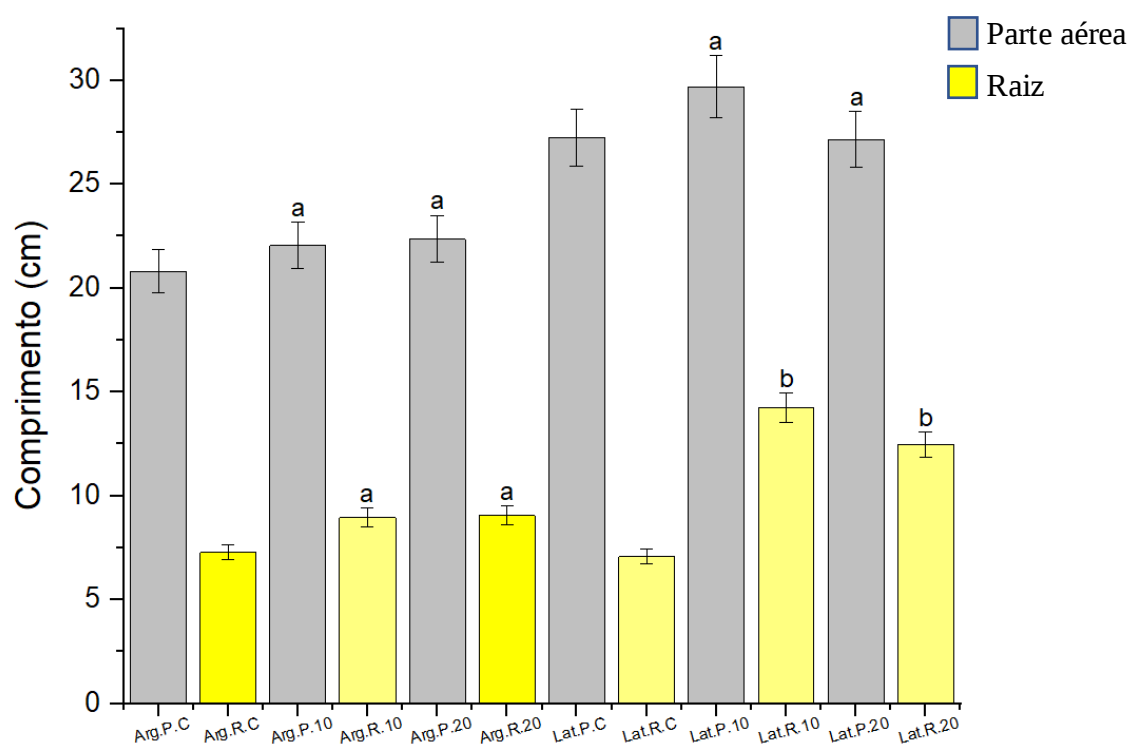
Os latossolos possuem em média de 4 a 6% de matéria orgânica presente em sua composição (SILVA; DE DIAS; LEITE, 2010). Pode se observar na Tabela 3 que a aplicação de carvão hidrotérmico aos solos contribuiu para o aumento do conteúdo de matéria orgânica. A matéria orgânica presente no solo tem impacto direto em sua fertilidade, regulando a CTC (Capacidade de troca de cátions) (HELLING; CHESTERS; COREY, 1964; PARFITT; GILTRAP; WHITTON, 1995). A matéria orgânica mantém o solo com estrutura bem definida e com distribuição equilibrada das partículas ali presentes. No caso dos argissolos, pôde-se verificar uma queda abrupta da porcentagem de matéria orgânica presente no solo quando comparados aos valores obtidos pelo latossolo, conforme esperado, uma vez que argissolos não possuem uma grande quantidade de matéria orgânica presente (ABRÃO et al., 1988; ALMEIDA et al., 2010; DA SILVA; CABEDA; DE CARVALHO, 2006; SOARES, 2011; TRINDADE et al., 2009). Contudo, analisada a comparação com os dados obtidos em uma análise do solo feita antes da adição de carvão hidrotérmica, foi possível verificar o aumento da quantidade de matéria orgânica presente no argissolo, o que indica potencial de alteração positiva em ambos os solos, podendo contribuir para a fertilidade dos que possuem baixo índice de germinação.

Foi então realizada a determinação do crescimento após o período de 80 dias de cada planta após o desmonte dos vasos onde foram medidos os tamanhos aparentes de

cada planta com uma régua comum, e registrados em fotografia. Na sequência, as fotos de cada planta foram encaminhadas ao software *Image J* (versão 1.5li), como mostrado na Figura 4, para determinação dos comprimentos da raiz e parte aérea. Os valores obtidos estão exibidos na Figura 9.

Os resultados nos mostram uma resposta positiva da cultura plantada frente à aplicação de carvão hidrotérmico, principalmente na concentração de 10 t ha⁻¹, onde é observado maior desenvolvimento das plantas de beterraba. Contudo, foi observada diferença estatística quando comparada ao grupo controle apenas nas raízes do latossolo, bem como, quando observamos os maiores pontos de crescimento entre os dois solos, é possível verificar uma diferença significativa (29,69 cm da parte aérea no latossolo contra 22,35 cm da parte aérea no argissolo) na média entre eles.

Figura 9 Valores dos comprimentos das raízes e parte aérea das plantas de beterraba em argissolo e latossolo com diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico obtidos através do software Image J.



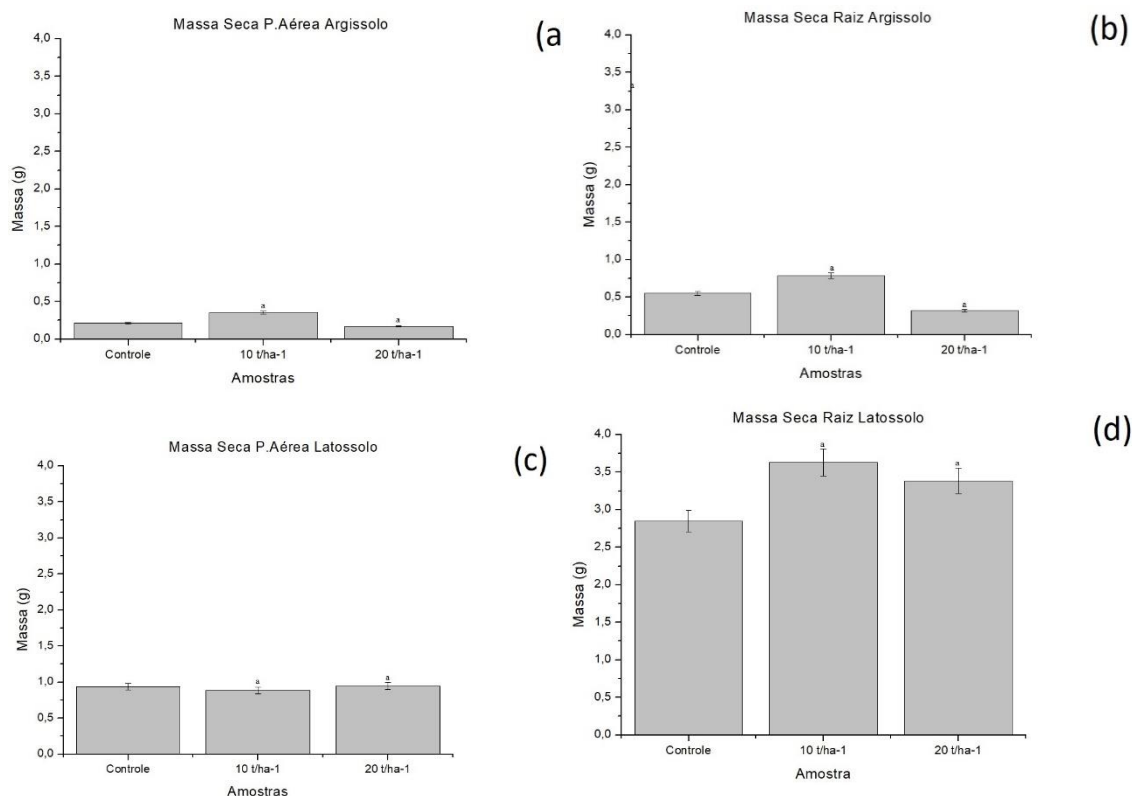
a Indica que não houve diferença estatística em relação ao grupo controle;

b Indica que houve diferença estatística positiva em relação ao grupo controle.

Fonte: Autoria Própria

Com o experimento de massa seca, realizado mediante separação da planta em parte aérea e raiz, pôde-se verificar o impacto da taxa de aplicação de acordo com os resultados obtidos no crescimento da planta, identificados na Figura 10.

Figura 10 (a) Média obtida de massa seca da parte aérea após a desmontagem do experimento no argissolo. (b) Média obtida de massa seca da raiz após a desmontagem do experimento no argissolo. (c) Média obtida de massa seca da parte aérea após a desmontagem do experimento no latossolo. (d) Média obtida de massa seca da raiz após a desmontagem do experimento no latossolo.



a Indica que não houve diferença estatística em relação ao grupo controle;

Fonte: Autoria Própria

Os resultados de massa seca da parte aérea e raiz foram melhores para os experimentos realizados com latossolo, sendo este quatro vezes maior que os experimentos conduzidos com argissolo. A taxa de aplicação de 10 t ha⁻¹ foi a que apresentou os melhores resultados de crescimento quando comparado ao grupo controle (Figura 10). Estes resultados corroboram com os obtidos por outros autores (GEORGE et al., 2012; MELO et al., 2018) e sugerem que o carvão hidrotérmico possa melhorar as características do solo favorecendo o desenvolvimento de algumas culturas. No entanto, parâmetros tais como taxa de aplicação, tipo de solo e tipo de cultura precisam ser

estudados para adequar a condição em que será observado o melhor desempenho de cada cultura.

5.4 Análises de Microscopia Eletrônica de Varredura da raiz e parte aérea da beterraba

Foram retiradas amostras de todos os experimentos, separados parte aérea e a raiz para a realização da microscopia eletrônica de varredura, obtendo assim imagens do perfil estrutural das raízes das plantas, identificadas na Figura 11 e Apêndice A, e as imagens da morfologia da parte aérea representadas na Figura 12.

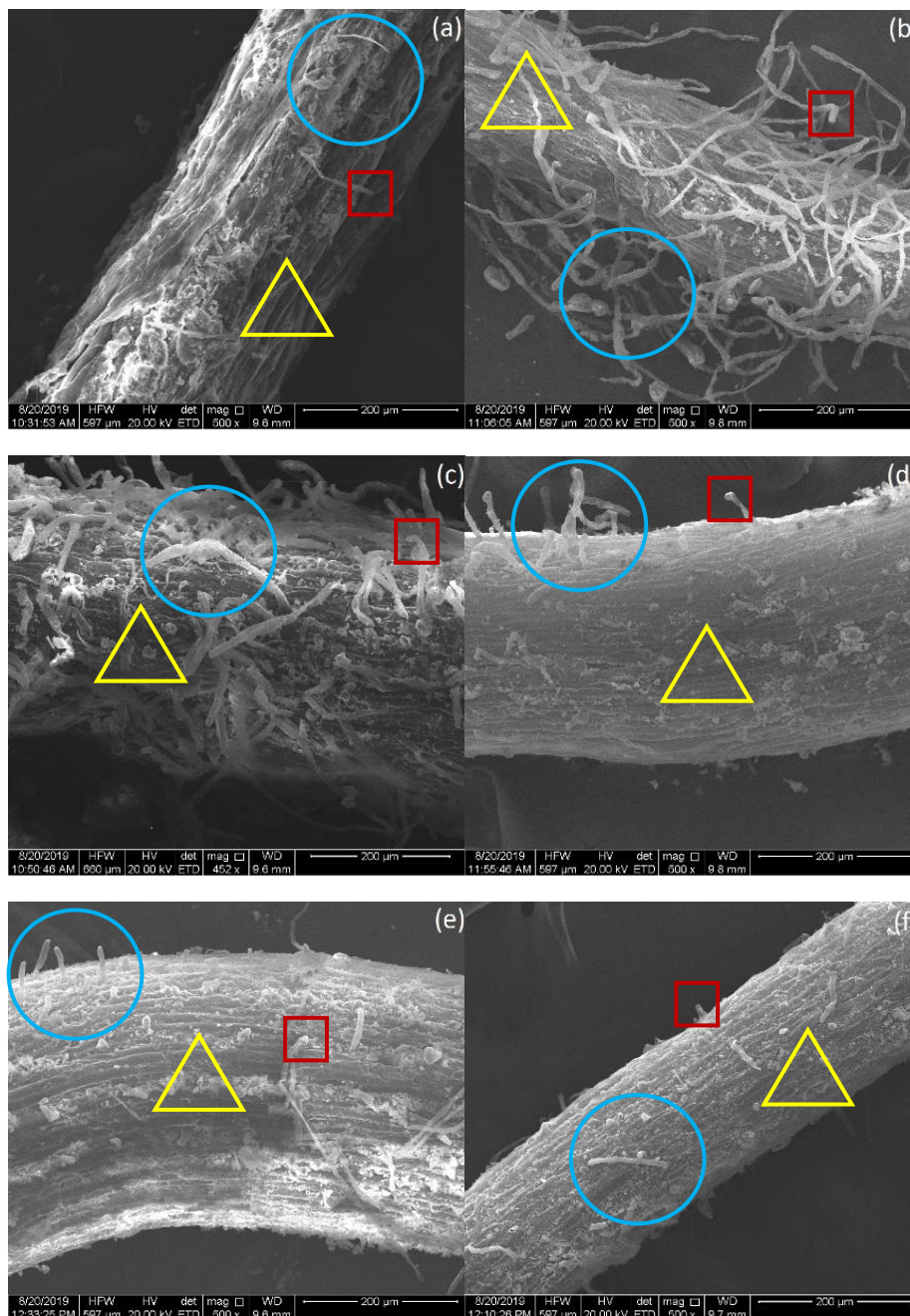
5.5.1 Raiz

A imagem referente ao experimento controle em latossolo (Figura 11a) demonstra uma zona pilífera (círculo azul) com pelos curtos, porém com a estrutura da raiz principal é possível a visualização bem definida das principais estruturas presentes como a região lisa (triângulo amarelo), coifa (quadrado vermelho) e zona de ramificação (apêndices). Na amostra controle realizada com argissolo (Figura 11d), é possível a verificação de um crescimento dos pelos na zona pilífera, sendo possível a diferenciação entre a região lisa e zona pilífera. No entanto, supostamente não é possível a visualização da estrutura da raiz como principal de regiões como a zona de ramificação, coifa, região lisa e região suberosa.

A estrutura das raízes como um todo, cultivada nos latossolos, está mais bem definida quando comparada com as raízes cultivadas no argissolo, podendo visualizar sua morfologia. Na Figura 11b e c é possível a observação que a morfologia da raiz, não está tão saudável quanto em latossolo (ALMEIDA; ALMEIDA, 2014), porém não é possível sua identificação nos experimentos conduzidos em argissolo como trata a Figura 11d, e e f. Uma zona pilífera bem estruturada, situada entre a zona lisa e a zona suberosa, destacada nas imagens pelo círculo (Figura 11), é responsável pelo aumento da área superficial de absorção da raiz, otimizando a capacidade de absorção de nutrientes e da água presentes no solo. Devido a isso, na Figura 11b, é possível observar uma melhor morfologia da região, otimizando assim sua absorção e consequentemente, melhorando seu desenvolvimento, entrando de acordo com os resultados antes mostrados, onde a taxa de aplicação de 10 t ha⁻¹ se mostrou benéfico para a planta. Na

Figura 11d, e e f, além do encurtamento da zona pilífera, houve também mudanças na morfologia da sua estrutura que podem ter sido causadas devido a algum stress hídrico ou alteração em processos fisiológicos.

Figura 11 Imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da raiz. **(a)** Latossolo controle **(b)** Latossolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 10 t ha⁻¹ **(c)** Latossolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 20 t ha⁻¹ **(d)** Argissolo controle **(e)** Argissolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 10 t ha⁻¹ **(f)** Argissolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 20 t ha⁻¹.



Fonte: Autoria Própria

5.5.2 Parte Aérea

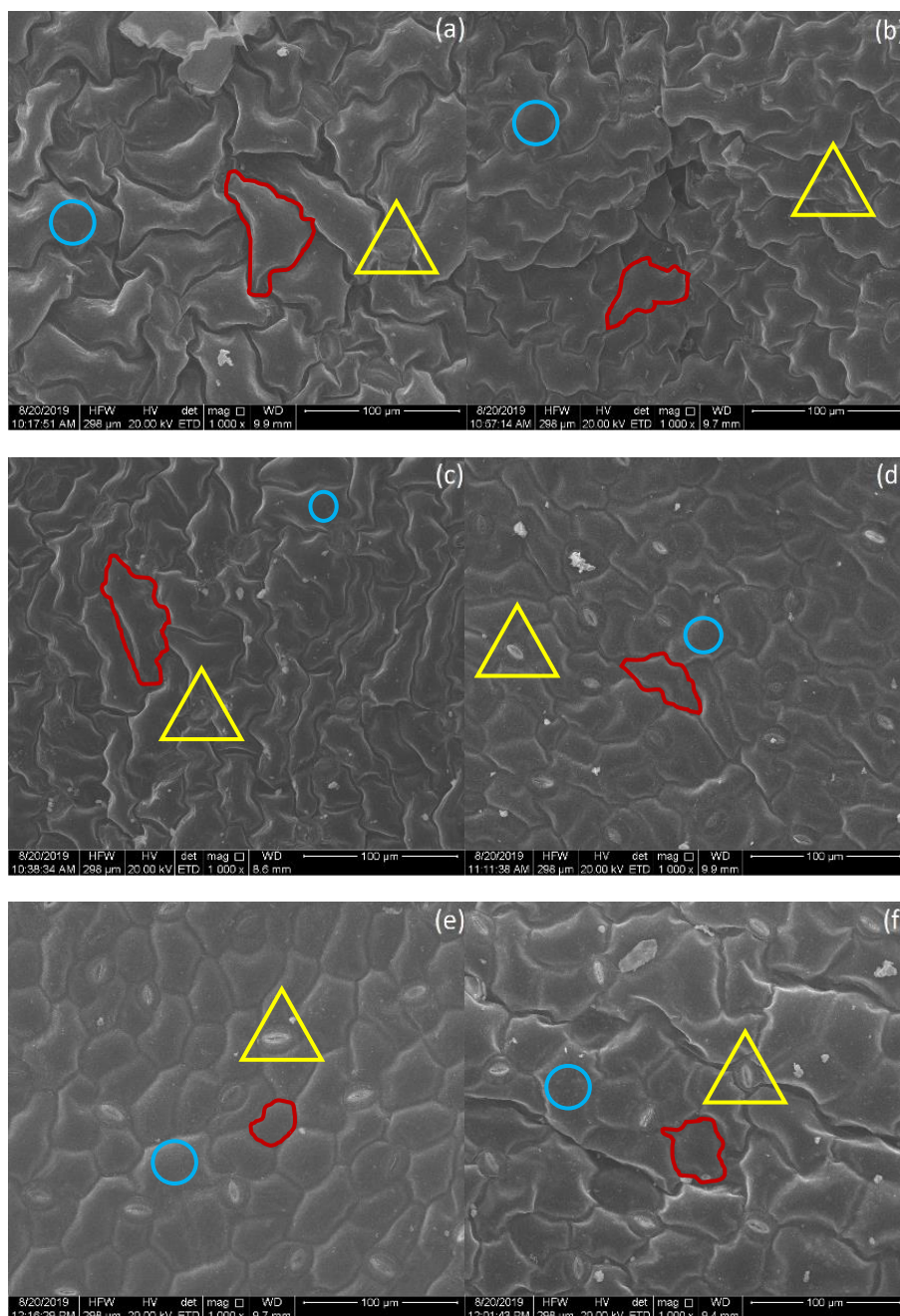
Nos experimentos da aplicação de carvão hidrotérmico em latossolos, foi possível verificar uma maior quantidade de células vegetais de tamanho menor que constam na imagem (Figura 12b e c). Esse comportamento aparentemente ocorre devido ao maior crescimento obtido nas duas amostras quando comparado ao controle. As paredes da célula vegetal permaneceram com a mesma sinuosidade aparente, porém com uma diminuição de sua convexidade e diminuição da presença de cera epicuticular (círculo azul), possivelmente pela disponibilidade de água (BJELAKOVIC et al., 2007). Os estômatos paracíticos fechados (triângulo amarelo) se mostraram presentes em uma quantidade aparentemente menor, evidenciando o provável aumento de disponibilidade de água no solo na presença de carvão hidrotérmico conforme a presença da cera epicuticular.

Na amostra do experimento controle utilizando argissolo (Figura 12d) foi possível a observação de células menores com uma menor sinuosidade e em maior quantidade com sua parede anticlinal convexa e uma presença maior de cera epicuticular (círculo azul), limite entre as células menos definidas, todos os estômatos paracíticos fechados e numerosos (GALMÉS et al., 2007; SAGARDOY et al., 2010).

Nas imagens resultantes dos experimentos utilizando diferentes taxas de aplicação do carvão hidrotérmico em argissolo (Figura 12e e f), foi factível a observação de uma manutenção aparente do tamanho das células vegetais, ainda que com uma perda de sinuosidade de sua parede celular (contornada em vermelho na imagem) e um possível aumento da presença de cera epicuticular (responsável por apresentar uma maior perda de visibilidade da imagem), evidenciando a possível necessidade da maior manutenção da água presente nas folhas, não sendo possível a perda por evaporação devido a um stress hídrico (BJELAKOVIC et al., 2007). Há ainda uma elevada quantidade de estômatos paracíticos presentes na parte aérea das amostras quando comparadas com os experimentos realizados em latossolo, o que pode indicar que as amostras passaram por um stress hídrico sob a suspeita de que o fato se deva ao solo arenoso, onde há naturalmente menos disponibilidade de água. No entanto, em comparação ao controle realizado em argissolo houve uma diminuição de estômatos presentes (triângulos amarelos), demonstrando novamente a possibilidade da

colaboração do carvão hidrotérmico com o aumento da disponibilidade de água para a planta (GALMÉS et al., 2007; SAGARDOY et al., 2010).

Figura 12 Imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da raiz. **(a)** Latossolo controle **(b)** Latossolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 10 t ha⁻¹ **(c)** Latossolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 20 t ha⁻¹ **(d)** Argissolo controle **(e)** Argissolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 10 t ha⁻¹ **(f)** Argissolo com taxa de aplicação de carvão hidrotérmico de 20 t ha⁻¹.

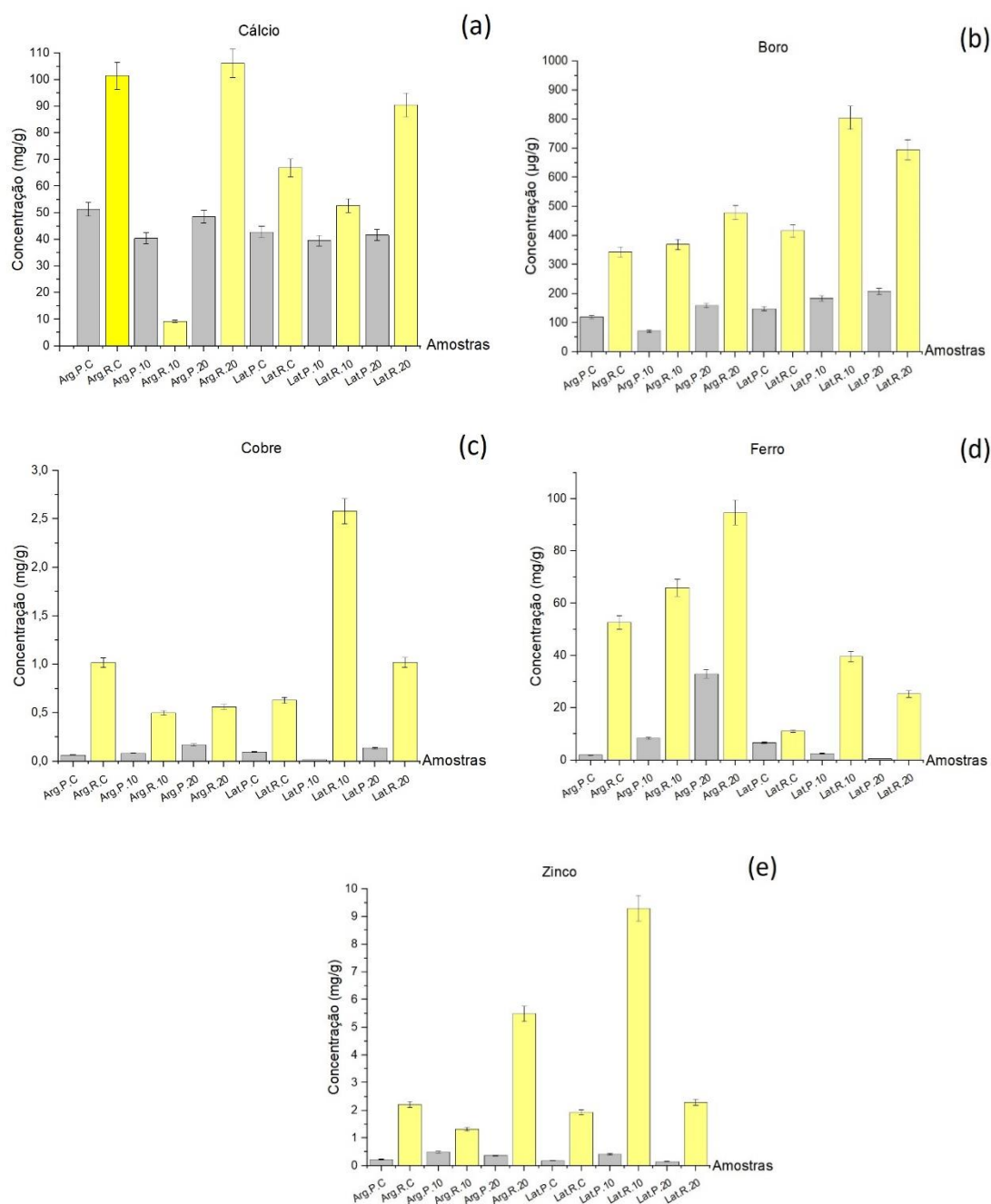


Fonte: Autoria Própria

5.6 Determinação dos nutrientes totais (Ca, B, Cu, Fe e Zn) em raiz e parte aérea de beterraba (*Beta vulgaris* L.)

Após a desmontagem do experimento e a execução do procedimento proposto para o preparo da amostra, para o qual foram separadas a parte aérea e a raiz de todas as amostras, após decomposição os nutrientes totais foram quantificados sendo os resultados, evidenciados na Figura 13.

Figura 13 Valores obtidos de nutrientes da parte aérea e raiz das plantas de beterraba cultivadas em diferentes tipos de solos e para diferentes taxas de aplicação de carvão hidrotérmico (a) Cálcio (b) Boro (c) Cobre (d) Ferro (e) Zinco.



Fonte: Autoria Própria

As concentrações de todos os nutrientes analisados foram em sua maioria mais elevadas nas raízes, principalmente nas amostras utilizando a taxa de aplicação de 10 t ha⁻¹, em conformidade com as imagens obtidas por meio da microscopia eletrônica de varredura. O cálcio desempenha um papel importante tanto para a planta como para o solo. Os solos utilizados nos experimentos passaram pelo processo de calagem, elevando a concentração de cálcio presente na amostra e no solo. Da mesma maneira, esse elemento desempenha papel fundamental no controle de salinização do solo e outros papéis essenciais para a planta, melhorando a tolerância do vegetal aos efeitos da salinidade, facilitando a seletividade Na/K e protegendo a membrana celular (HASEGAWA; BRESSAN, 2000; LARBI et al., 2020). Nas análises realizadas, a concentração de cálcio se mostrou maior quando comparada à de todos os outros nutrientes, variando entre 9 mg g⁻¹ e 106 mg g⁻¹, porém apresentou grande quantidade absorvida em sua parte aérea, sinalizando a incorporação em suas membranas celulares (HASEGAWA; BRESSAN, 2000; LARBI et al., 2020).

Para as plantas superiores, como é o caso da beterraba, um dos principais nutrientes para o desenvolvimento é o Boro (B) (TRANI; TIVELLI, 2013), de cuja deficiência é reportada na literatura (POWER; WOODS, 1997) como prejudicial para a parede celular da planta. Em especial nos latossolos, os resultados apresentaram as maiores concentrações (Figura 13b), fato que condiz com seu crescimento e com as imagens obtidas por meio da microscopia eletrônica de varredura.

Os micronutrientes em concentrações apropriadas são fatores essenciais para uma planta, cuja participação se faz presente nas funções fisiológicas, como fotossíntese e respiração, dentre outras. Entretanto, a presença desses elementos em excesso performam papel tóxico para o desenvolvimento da planta. Com isso, quantificou-se os micronutrientes como Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Zinco (Zn) (AMBROSINI et al., 2016; KOBAYASHI; NOZOYE; NISHIZAWA, 2019; SINGH; DWIVEDI, 2019). O cobre exerce funções importantes para a planta, tais como: ativador ou componente de enzimas, metabolismo de carboidratos, lipídeos e nitrogênio (AMBROSINI et al., 2016). Nas análises realizadas, pudemos observar que a média de absorção de cobre foi maior na região das raízes em todas as amostras, variando entre 0,5 mg g⁻¹ e 2,57 mg g⁻¹. Nos latossolos, a quantidade absorvida foi maior em ambas as taxas de aplicação (Figura 13c) cujo destaque é a taxa de aplicação de 10 t ha⁻¹, que apresentou a maior concentração dentre todos os experimentos.

O ferro desempenha outro papel importante no crescimento vegetal, como a biossíntese da clorofila e a fotossíntese, além de exercer função de cofator para enzimas (KOBAYASHI; NOZOYE; NISHIZAWA, 2019). As análises realizadas para o ferro obtiveram resultados melhores nos experimentos realizados com argissolo devido ao fato de tal solo utilizado no experimento conter altos teores de ferro em forma de óxidos, provenientes de hematita e goethita, além do ferro advindo do carvão hidrotérmico, cenário no qual essas concentrações aumentam em conformidade com o aumento da taxa de aplicação de carvão hidrotérmico, fato que estava previsto pois Silva et al. (2017), apresentou dados que informavam que o carvão hidrotérmico produzido possui aproximadamente 2 g kg⁻¹ imobilizado em sua composição. As concentrações atingidas variaram entre 11 mg g⁻¹ e 94 mg g⁻¹ (Figura 13d) (SILVA et al., 2017).

O zinco é um dos principais constituintes de muitas enzimas e é um grande responsável por afetar a síntese de proteínas e o metabolismo vegetal (SINGH; DWIVEDI, 2019). Novamente, os resultados indicaram uma maior quantidade do nutriente presente na região da raiz, em especial nos experimentos realizados em latossolo, obtendo concentrações que variam entre 2 mg g⁻¹ e 9 mg g⁻¹. Todos os experimentos realizados mostraram uma maior presença dos nutrientes em sua parte radicular, sempre obtendo melhores resultados onde a estrutura radicular está mais bem definida no caso dos experimentos em latossolo.

(SANTANA et al., 2019) e (BENTO et al., 2019) realizaram um estudo sobre a disponibilidade de nutrientes utilizando experimentos em coluna. Na realização do experimento (SANTANA et al., 2019) utilizou dois tipos de carvão, o carvão hidrotérmico não-lavado (CHSL) e carvão hidrotérmico lavado (CHL) nas taxas de aplicação de 1 %, 2,5 %, 5 % e 10 %. O estudo demonstrou que quanto maior a taxa de aplicação, maior a liberação de ânions e matéria orgânica, além da liberação lenta de nutrientes como: sulfato (SO₄⁻²) e carbono orgânico total. Os resultados obtidos mostraram que o carvão hidrotérmico possui a capacidade de alterar a disponibilidade de nutrientes e do teor de carbono presentes no solo. No estudo realizado por (BENTO et al., 2019) foi demonstrado novamente que com o aumento da porcentagem de aplicação do carvão hidrotérmico, maior a liberação de nutrientes e carbono orgânico para os solos. Além de ter sido comprovado que devido as propriedades dos latossolos,

esse solo é capaz de realizar uma maior retenção da fração de carbono lixiviado e menor concentração de nutrientes.

No estudo aqui trazido foi demonstrado que a taxa de aplicação de 10 t ha⁻¹ no latossolo, todas as análises realizadas, com exceção do ferro, apresentaram uma maior concentração em sua estrutura, levando-nos a acreditar na eficiência da presença do carvão hidrotérmico no solo no papel de disponibilizar nutrientes essenciais para o desenvolvimento e crescimento vegetal corroborando com resultados atingidos por outros autores (BENTO et al., 2019; SANTANA et al., 2019).

6. Conclusão

Conclui-se que o extrato de carbono solúvel do carvão hidrotérmico obtido em meio ácido revelou ter inibido o processo de germinação e desenvolvimento da beterraba em todas as concentrações estudadas. Os melhores valores foram observados para o carbono solúvel obtido com o extrator água, tendo um efeito estimulante para a concentração de 50 mg de CL⁻¹ que se mostrou ser a melhor.

Nos experimentos de crescimento da beterraba (*beta vulgaris L*) a taxa de aplicação do carvão hidrotérmico de 10 t ha⁻¹ em latossolos favoreceu o desenvolvimento da cultura, comparada ao grupo controle, sendo que o carvão hidrotérmico não melhorou o cultivo da beterraba em argissolo. Foi observado melhor nas características do solo e nas imagens de microscopia da raiz e parte aérea sugerindo que o carvão hidrotérmico tem potencial para ser empregado como condicionante do solo.

7. Referências

- ABRÃO, P. U. R.; GIANLUPPI, D.; AZOLIN, M. A. D. Levantamento semi-detalhado dos solos da estação experimental de silvicultura de Santa Maria. Porto Alegre: IPRNR, 1988. 75 p.
- ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONSKY, H.; FACKLAM, M.; WESSOLEK, G. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellence of sandy soil. **Geoderma**, Holanda, v. 202–203, p. 183–191, 2013.
- ABRAHÃO, D. S. .; PIZA TOLEDO, A. R.; MARTINS, M. D. A.; SILVA NETO, J. C. .; FERREIRA, E. C. J. .; RAPADO, L. N.; HOSODA, T. M.; C.SILVA, R.; AZZUZ, A. C.; TANIWAKI, N. N.; PIRES, M. D. F. C. A comparative study on several fixatives applied in transmission electron microscopy procedure. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 63, n. 2, p. 248–254, 2004.
- ALMEIDA, K. De; CARNEIRO, A.; DANTAS, B. L.; PEREIRA, A.; FRAGA, S.; FERNANDES, R.; ROCHA, L. **Fracionamento da Matéria Orgânica de um Argissolo Vermelho-Amarelo**. Natal: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2010.
- ALMEIDA, M. De; ALMEIDA, C. V. De. Morfologia do caule de plantas com sementes. In: **Coleção Botânica**. 1ª ed. São Paulo. p. 75.
- AMBROSINI, V. G.; SORIANI, H. H.; JOSÉ, D.; TADEU, R.; TIECHER, L.; GIROTTO, E.; GUIMARÃES, D.; GEORGE, S.; BASTOS DE MELO, W.; ZALAMENA, J.; BRUNETTO, G. Impacto do excesso de cobre e zinco no solo sobre videiras e plantas de cobertura. In: **Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras**. 1. ed. Bento Gonçalves: Embrapa RS, 2016. p. 91–110.
- AMÉRICO PEREIRA DE CARVALHO, JORGE OLMOS ITURRI LARACH, PAULO KLINGER TITO JACOMINE, M. N. C. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento**. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1988.
- ARTRU, S.; LASSOIS, L.; VANCUTSEM, F.; REUBENS, B.; GARRÉ, S. Sugar beet development under dynamic shade environments in temperate conditions. **European Journal of Agronomy**, Holanda, v. 97, n. April, p. 38–47, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.04.011>>
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM D 2974 - Standard test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils. **ASTM International**, Estados Unidos, 2014. p. 1–4.
- AXELSSON, L.; FRANZÉN, M.; OSTWALD, M.; BERNDES, G.; LAKSHMI, G.; RAVINDRANATH, N. H. Perspective: Jatropha cultivation in southern India: Assessing farmers' experiences. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Reino Unido, v. 6, n. 3, p. 246–256, 2012.
- BARGMANN, I.; RILLIG, M. C.; BUSS, W.; KRUSE, A.; KUECKE, M. Hydrochar and biochar effects on germination of spring barley. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Alemanha, v. 199, n. 5, p. 360–373, 2013.

BARGMANN, I.; RILLIG, M. C.; KRUSE, A.; GREEF, J. M.; KÜCKE, M. Effects of hydrochar application on the dynamics of soluble nitrogen in soils and on plant availability. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Alemanha, v. 177, n. 1, p. 48–58, 2014.

BATISTA, MOEMA DE ALMEIDA, DENISE WERNECK DE PAIVA, A. M. Solos para todos: perguntas e respostas. In: 1ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2014. p. 89.

BEESELEY, L.; MORENO-JIMÉNEZ, E.; GOMEZ-EYLES, J. L.; HARRIS, E.; ROBINSON, B.; SIZMUR, T. A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. **Environmental Pollution**, Reino Unido, v. 159, n. 12, p. 3269–3282, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.07.023>>

BENTO, L. R.; CASTRO, A. J. R.; MOREIRA, A. B.; FERREIRA, O. P.; BISINOTI, M. C.; MELO, C. A. Release of nutrients and organic carbon in different soil types from hydrochar obtained using sugarcane bagasse and vinasse. **Geoderma**, Holanda, v. 334, n. July 2018, p. 24–32, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.034>>

BERGE, N. D.; RO, K. S.; MAO, J.; FLORA, J. R. V.; CHAPPELL, M. A.; BAE, S. Hydrothermal Carbonization of Municipal Waste Streams. **Environmental Science & Technology**, Estados Unidos, v. 45, n. 13, p. 5696–5703, 2011. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es2004528>>

BERGIUS, F. Chemical reactions under high pressure. **Nobel Lecture: Chemistry**, Alemanha, p. 244–276, 1932.

BISINOTI, M. C.; MOREIRA, A. B.; MELO, C. A.; FREGOLENTE, L. G.; BENTO, L. R.; VITOR DOS SANTOS, J.; FERREIRA, O. P. Application of Carbon-Based Nanomaterials as Fertilizers in Soils. In: **Nanomaterials Applications for Environmental Matrices**. 1. ed. Fortaleza: Elsevier, 2019. p. 305–333.

BJELAKOVIC, G.; NIKOLOVA, D.; GLUUD, L. L.; SIMONETTI, R. G.; GLUUD, C. Mortality in randomized trials of antioxidant supplements for primary and secondary prevention: Systematic review and meta-analysis. **Journal of the American Medical Association**, Estados Unidos, v. 297, n. 8, p. 842–857, 2007.

BUSCH, D.; GLASER, B. Stability of co-composted hydrochar and biochar under field conditions in a temperate soil. **Soil Use and Management**, Reino Unido, v. 31, n. 2, p. 251–258, 2015.

CAO, X.; RO, K. S.; CHAPPELL, M.; LI, Y.; MAO, J. Chemical structures of swine-manure chars produced under different carbonization conditions investigated by advanced solid-state ¹³C nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. **Energy and Fuels**, Estados Unidos, v. 25, n. 1, p. 388–397, 2011.

CHEN, H.; MA, J.; WEI, J.; GONG, X.; YU, X.; GUO, H.; ZHAO, Y. Biochar increases plant growth and alters microbial communities via regulating the moisture and temperature of green roof substrates. **Science of the Total Environment**, Holanda, v. 635, p. 333–342, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.127>>

DA SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; DE CARVALHO, F. G. Organic matter and physical properties of a Cohesive Yellow Argisol under different management systems with sugar cane. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Paraíba, v. 10, n. 3, p. 579–585, 2006.

DA SILVA, R. C. J. **Identificação de compostos orgânicos não voláteis no carvão hidrotérmico e na água de processo obtidos da carbonização hidrotérmica de subprodutos da indústria sucroenergética**. 2018. São José do Rio Preto, 2018.

DE RESENDE, M. F.; BRASIL, T. F.; MADARI, B. E.; PEREIRA NETTO, A. D.; NOVOTNY, E. H. Polycyclic aromatic hydrocarbons in biochar amended soils: Long-term experiments in Brazilian tropical areas. **Chemosphere**, Reino Unido, v. 200, p. 641–648, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.139>>

EGAMBERDIEVA, D.; WIRTH, S.; BEHRENDT, U.; ABD-ALLAH, E. F.; BERG, G. Biochar treatment resulted in a combined effect on soybean growth promotion and a shift in plant growth promoting rhizobacteria. **Frontiers in Microbiology**, Suíça, v. 7, n. FEB, p. 1–11, 2016.

FANG, J.; GAO, B.; CHEN, J.; ZIMMERMAN, A. R. Hydrochars derived from plant biomass under various conditions: Characterization and potential applications and impacts. **Chemical Engineering Journal**, Holanda, v. 267, p. 253–259, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2015.01.026>>

FREGOLENTE, L.; DE CASTRO, A.; MOREIRA, A.; FERREIRA, O.; BISINOTI, M. New Proposal for Sugarcane Vinasse Treatment by Hydrothermal Carbonization: An Evaluation of Solid and Liquid Products. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 00, n. 00, p. 1–11, 2019.

FREGOLENTE, L. G. Toxicity evaluation of process water from hydrothermal carbonization of sugarcane industry by-products. **Environmental Science and Pollution Research**, Alemanha, p. 1–11, 2018.

FREGOLENTE, L. G. **Carvão Hidrotérmico: avaliação das características húmicas e do efeito no desenvolvimento de plantas**. 2019. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto, 2019.

GAJIĆ, A.; KOCH, H. J. Sugar beet (*beta vulgaris* l.) Growth reduction caused by hydrochar is related to nitrogen supply. **Journal of Environmental Quality**, Estados Unidos, v. 41, n. 4, p. 1067–1075, 2012.

GALMÉS, J.; FLEXAS, J.; SAVÉ, R.; MEDRANO, H. Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: Responses to water stress and recovery. **Plant and Soil**, Holanda, v. 290, n. 1–2, p. 139–155, 2007.

GEORGE, C.; WAGNER, M.; KÜCKE, M.; RILLIG, M. C. Divergent consequences of hydrochar in the plant-soil system: Arbuscular mycorrhiza, nodulation, plant growth and soil aggregation effects. **Applied Soil Ecology**, Holanda, v. 59, p. 68–72, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.02.021>>

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - A review. **Biology and Fertility of Soils**, Alemanha, v. 35, n. 4, p. 219–230, 2002.

GRONWALD, M.; VOS, C.; HELFRICH, M.; DON, A. Stability of pyrochar and hydrochar in agricultural soil - a new field incubation method. **Geoderma**, Holanda, v. 284, p. 85–92, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.08.019>>

GROSS, E.; PIRES, M.; FERNANDES, V. **Curso teórico prático de técnicas em microscopia eletrônica** Centro de Microscopia Eletrônica. Bahia.

HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Biology**, Estados Unidos, v. 51, p. 463–499, 2000.

HEIDORN, E.; UTVIK, K. **Agriculture , forestry and fishery statistics**. 2017. ed. Luxemburgo: União Européia, 2017. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/8538823/KS-FK-17-001-EN-N.pdf>>

HELLING, C. S.; CHESTERS, G.; COREY, R. B. Contribution of Organic Matter and Clay to Soil Cation-Exchange Capacity as Affected by the pH of the Saturating Solution1. **Soil Science Society of America Journal**, Estados Unidos, v. 28, n. 4, p. 517, 1964.

HOEKMAN, S. K.; BROCH, A.; ROBBINS, C.; ZIELINSKA, B.; FELIX, L. Hydrothermal carbonization (HTC) of selected woody and herbaceous biomass feedstocks. **Biomass Conversion and Biorefinery**, Alemanha, v. 3, n. 2, p. 113–126, 2013.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia 2ª edição**. 2. ed. Rio de Janeiro. v. 5 Disponível em: <<http://www.energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2015/08/1-diagnostico-da-rede-de-monitoramento-da-qualidade-do-ar-no-brasil.pdf%0Ahttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:No+Title#0>>

JAMIL. Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. **Journal of Central European Agriculture**, Croácia, n. April 2016, p. 273–281, 2005.

KAMBO, H. S.; DUTTA, A. A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Reino Unido, v. 45, p. 359–378, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.050>>

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, Minas Gerais, v. 5, n. 1, p. 17–40, 1998.

KOBAYASHI, T.; NOZOYE, T.; NISHIZAWA, N. K. Iron transport and its regulation in plants. **Free Radical Biology and Medicine**, Estados Unidos, v. 133, p. 11–20, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.10.439>>

KOLTON, M.; HAREL, Y. M.; PASTERNAK, Z.; GRABER, E. R.; ELAD, Y.; CYTRYN, E. Impact of biochar application to soil on the root-associated bacterial community structure of fully developed greenhouse pepper plants. **Applied and Environmental Microbiology**, Estados Unidos, v. 77, n. 14, p. 4924–4930, 2011.

KRUSE, A.; FUNKE, A.; TITIRICI, M. M. Hydrothermal conversion of biomass to fuels and energetic materials. **Current Opinion in Chemical Biology**, Reino Unido, v. 17, n. 3, p. 515–521, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.05.004>>

LARANJA, M. J. **Identificação de compostos orgânicos semivoláteis e voláteis nos produtos obtidos a partir do processo de carbonização hidrotérmica de bagaço de cana e vinhaça**. 2018. São José do Rio Preto, 2018.

LARBI, A.; KCHAOU, H.; GAALICHE, B.; GARGOURI, K.; BOULAL, H.; MORALES, F. Supplementary potassium and calcium improves salt tolerance in olive plants. **Scientia Horticulturae**, Holanda, v. 260, n. October 2019, p. 108912, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108912>>

LEHMANN, J.; DA SILVA, J. P.; STEINER, C. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, Holanda, v. 249, n. 15, p. 343–358, 2003.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management : An introduction. In: JOHANNES LEHMANN AND STEPHEN JOSEPH (Ed.). **Biochar for Environmental Management - Science and Technology**. Estados Unidos. v. 1, p. 1–12.

LEHMANN, J.; RILLIG, M. C.; THIES, J.; MASIELLO, C. A.; HOCKADAY, W. C.; CROWLEY, D. Biochar effects on soil biota - A review. **Soil Biology and Biochemistry**, Reino Unido, v. 43, n. 9, p. 1812–1836, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>>

LI, B.; GUO, J.; LV, K.; FAN, J. Adsorption of methylene blue and Cd(II) onto maleylated modified hydrochar from water. **Environmental Pollution**, Reino Unido, v. 254, p. 113014, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113014>>

LI, M.; ZHANG, A.; WU, H.; LIU, H.; LV, J. Predicting potential release of dissolved organic matter from biochars derived from agricultural residues using fluorescence and ultraviolet absorbance. **Journal of Hazardous Materials**, Holanda, v. 334, p. 86–92, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.03.064>>

LIANG, C.; LIU, Y.; LI, K.; WEN, J.; XING, S.; MA, Z.; WU, Y. Heterogeneous photo-Fenton degradation of organic pollutants with amorphous Fe-Zn-oxide/hydrochar under visible light irradiation. **Separation and Purification Technology**, Reino Unido, v. 188, p. 105–111, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2017.07.027>>

LIBRA, J. A.; RO, K. S.; KAMMANN, C.; FUNKE, A.; BERGE, N. D.; NEUBAUER, Y.; TITIRICI, M.-M.; FÜHNER, C.; BENS, O.; KERN, J.; EMMERICH, K.-H. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. **Biofuels**, Reino Unido,

v. 2, n. 1, p. 71–106, 2011. Disponível em:
<<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.4155/bfs.10.81>>

LYU, J.; PARK, J.; KUMAR PANDEY, L.; CHOI, S.; LEE, H.; DE SAEGER, J.; DEPUYDT, S.; HAN, T. Testing the toxicity of metals, phenol, effluents, and receiving waters by root elongation in *Lactuca sativa* L. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Estados Unidos, v. 149, n. December 2017, p. 225–232, 2018.

MAHMOUD, E. S. A.; HASSANIN, M. A.; BORHAM, T. I.; EMARA, E. I. R. Tolerance of some sugar beet varieties to water stress. **Agricultural Water Management**, Holanda, v. 201, n. January, p. 144–151, 2018. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.024>>

MAIA, C. M. B. F.; MADARI, B. E.; NOVOTNY, E. H. Advances in Biochar Research in Brazil. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, Reino Unido, p. 53–58, 2011. Disponível em:
<<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/915016/1/AdvancesinBiocharResearchinBrazil.pdf>>

MELO, C. A.; JUNIOR, F. H. S.; BISINOTI, M. C.; MOREIRA, A. B.; FERREIRA, O. P. Transforming Sugarcane Bagasse and Vinasse Wastes into Hydrochar in the Presence of Phosphoric Acid: An Evaluation of Nutrient Contents and Structural Properties. **Waste and Biomass Valorization**, Holanda, v. 8, n. 4, p. 1139–1151, 2017.

MELO, T. M.; BOTTLINGER, M.; SCHULZ, E.; MOZENA, W.; MENEZES, A.; FILHO, D. A.; WANG, H.; SIK, Y. Plant and soil responses to hydrothermally converted sewage sludge (sewchar). **Chemosphere**, Reino Unido, v. 206, p. 338–349, 2018.

MORAES, J. F. V.; RABELO, N. A. **Um Método Simples Para a Digestão De Amostras De Plantas**, EMBRAP-CNPAF, 1986.

MUMME, J.; ECKERVOGT, L.; PIELERT, J.; DIAKITÉ, M.; RUPP, F.; KERN, J. Hydrothermal carbonization of anaerobically digested maize silage. **Bioresource Technology**, Holanda, v. 102, n. 19, p. 9255–9260, 2011. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.099>>

OECD. Terrestrial Plants, Growth Test. **Guidelines for the Testing of Chemicals, Terrestrial Plant Test Seedling Emergence and Seedling Growth Test**, França, n. April, p. 6, 1984.

OH, T. K.; SHINOBI, Y.; CHIKUSHI, J.; LEE, Y. H.; CHOI, B. Effect of Aqueous Extract of Biochar on Germination and Seedling Growth of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University**, Japão, v. 57, n. 1, p. 55–60, 2012.

OLDFIELD, T. L.; SIKIRICA, N.; MONDINI, C.; LÓPEZ, G.; KUIKMAN, P. J.; HOLDEN, N. M. Biochar, compost and biochar-compost blend as options to recover nutrients and sequester carbon. **Journal of Environmental Management**, Reino Unido, v. 218, p. 465–476, 2018.

PANDIT, N. R.; MULDER, J.; HALE, S. E.; MARTINSEN, V.; SCHMIDT, H. P.; CORNELISSEN, G. Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil. **Science of the Total Environment**,

Holanda, v. 625, p. 1380–1389, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.022>>

PARFITT, R. L.; GILTRAP, D. J.; WHITTON, J. S. Contribution of organic matter and clay minerals to the cation exchange capacity of soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Estados Unidos, v. 26, n. 9–10, p. 1343–1355, 1995.

PETERSON, A. A.; VOGEL, F.; LACHANCE, R. P.; FRÖLING, M.; ANTAL, JR., M. J.; TESTER, J. W. Thermochemical biofuel production in hydrothermal media: A review of sub- and supercritical water technologies. **Energy & Environmental Science**, Reino Unido, v. 1, n. 1, p. 32, 2008. Disponível em: <<http://xlink.rsc.org/?DOI=b810100k>>

POERSCHMANN, J.; WEINER, B.; WEDWITSCHKA, H.; ZEHNSDORF, A.; KOEHLER, R.; KOPINKE, F. D. Characterization of biochars and dissolved organic matter phases obtained upon hydrothermal carbonization of *Elodea nuttallii*. **Bioresource Technology**, Holanda, v. 189, p. 145–153, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.146>>

POWER, P. P.; WOODS, W. G. The chemistry of boron and its speciation in plants. **Plant and Soil**, Holanda, v. 193, n. 1–2, p. 1–13, 1997.

PRASAD, M.; TZORTZAKIS, N.; MCDANIEL, N. Chemical characterization of biochar and assessment of the nutrient dynamics by means of preliminary plant growth tests. **Journal of Environmental Management**, Reino Unido, v. 216, p. 89–95, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.020>>

REIBE, K.; GÖTZ, K. P.; ROSS, C. L.; DÖRING, T. F.; ELLMER, F.; RUESS, L. Impact of quality and quantity of biochar and hydrochar on soil Collembola and growth of spring wheat. **Soil Biology and Biochemistry**, Reino Unido, v. 83, p. 84–87, 2015.

RILLIG, M. C.; WAGNER, M.; SALEM, M.; ANTUNES, P. M.; GEORGE, C.; RAMKE, H. G.; TITIRICI, M. M.; ANTONIETTI, M. Material derived from hydrothermal carbonization: Effects on plant growth and arbuscular mycorrhiza. **Applied Soil Ecology**, Holanda, v. 45, n. 3, p. 238–242, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.04.011>>

ROQUETTI, D. CTIA – MAPA CÂMARA TEMÁTICA DE INSUMOS AGROPECUÁRIOS 89ª REUNIÃO FERTILIZANTES (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA A DIFUSÃO DE ADUBOS). In: FERTILIZANTES 2017, Brasília. **Anais...** Brasília: Associação Nacional para a Difusão de Adubos, 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-tematicas/insumos-agropecuarios/2017/89a-ro/app_davi-89a_ctia_17_04_2017_vf_89ro_insumos.pdf>

SADEGHIAN, S. Y.; YAVARI, N. Effect of water-deficit stress on germination and early seedling growth in sugar beet. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Alemanha, v. 190, n. 2, p. 138–144, 2004.

SAGARDOY, R.; VÁZQUEZ, S.; FLOREZ-SARASA, I. D.; ALBACETE, A.; RIBAS-CARBÓ, M.; FLEXAS, J.; ABADÍA, J.; MORALES, F. Stomatal and

mesophyll conductances to CO₂ are the main limitations to photosynthesis in sugar beet (*Beta vulgaris*) plants grown with excess zinc. **New Phytologist**, Reino Unido, v. 187, n. 1, p. 145–158, 2010.

SANTANA, A.; BISINOTI, M.; MELO, C.; FERREIRA, O.; MOREIRA, A. Disponibilidade De Nutrientes E Carbono Orgânico Em Solos Contendo Carvão Hidrotérmico Lavado E Não Lavado E Comparação Com Solos Antropogênicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. 262–272, 2019.

SANTANA, A. M. **Liberação de nutrientes de carvão hidrotérmico em latossolo e argissolo : comparação com solos antropogênicos**. 2019. Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto, 2019.

SCHIMMELPFENNIG, S. **Carbon sequestration in temperate grassland soil -Risks and opportunities of biochar and hydrochar**. 2015. Justus Liebig University Giessen, Alemanha, 2015.

SEVILLA, M.; MACIÁ-AGULLÓ, J. A.; FUERTES, A. B. Hydrothermal carbonization of biomass as a route for the sequestration of CO₂: Chemical and structural properties of the carbonized products. **Biomass and Bioenergy**, Washington, v. 35, n. 7, p. 3152–3159, 2011.

SILVA, A. R.; DE DIAS, M. S.; LEITE, F. P. Propriedades físicas e mecânicas de latossolos em diferentes manejos florestais. **Ciencia e Agrotecnologia**, Brasil, v. 34, n. 6, p. 1483–1491, 2010.

SILVA, C. C.; MELO, C. A.; SOARES JUNIOR, F. H.; MOREIRA, A. B.; FERREIRA, O. P.; BISINOTI, M. C. Effect of the reaction medium on the immobilization of nutrients in hydrochars obtained using sugarcane industry residues. **Bioresource Technology**, Holanda, v. 237, p. 213–221, 2017.

SILVA, D. R. G.; LOPES, A. S. **Princípios Básicos Para Formulação E Mistura De Fertilizantes** Editora UFLA. Minas Gerais.

SIMMONS, K. U. E. **Soil Sampling**, United States Environmental Protection Agency, 2014.

SINGH, P.; DWIVEDI, P. Micronutrients zinc and boron enhance stevioside content in *Stevia rebaudiana* plants while maintaining genetic fidelity. **Industrial Crops and Products**, Holanda, v. 140, n. January, p. 111646, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111646>>

SOARES, J. C. W. **Matéria orgânica de um argissolo vermelho distrófico úmbrico após a introdução de fitofisionomias antrópicas**. 2011. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2011.

STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Reino Unido, v. 41, n. 6, p. 1301–1310, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.03.016>>

SUN, J.; DROSOS, M.; MAZZEI, P.; SAVY, D.; TODISCO, D.; VINCI, G.; PAN, G.; PICCOLO, A. The molecular properties of biochar carbon released in dilute acidic solution and its effects on maize seed germination. **Science of the Total Environment**, Holanda, v. 576, n. September, p. 858–867, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.095>>

TAN, Z.; LIN, C. S. K.; JI, X.; RAINEY, T. J. Returning biochar to fields: A review. **Applied Soil Ecology**, Holanda, v. 116, n. March, p. 1–11, 2017.

TASCA, A. L.; PUCCINI, M.; GORI, R.; CORSI, I.; GALLETTI, A. M. R.; VITOLO, S. Hydrothermal carbonization of sewage sludge: A critical analysis of process severity, hydrochar properties and environmental implications. **Waste Management**, Reino Unido, v. 93, p. 1–13, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.027>>

TASKIN, E.; DE CASTRO BUENO, C.; ALLEGRETTA, I.; TERZANO, R.; ROSA, A. H.; LOFFREDO, E. Multianalytical characterization of biochar and hydrochar produced from waste biomasses for environmental and agricultural applications. **Chemosphere**, Reino Unido, v. 233, p. 422–430, 2019.

TAVASOLI, A.; ASLAN, M.; SALIMI, M.; BALOU, S.; PIRBAZARI, S. M.; HASHEMI, H.; KOHANSAL, K. Influence of the blend nickel/porous hydrothermal carbon and cattle manure hydrochar catalyst on the hydrothermal gasification of cattle manure for H₂ production. **Energy Conversion and Management**, Reino Unido, v. 173, n. April, p. 15–28, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.061>>

TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. **EMBRAPA Amazônia Ocidental**, Amazônia, p. 420, 2009. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/684554>>

TITIRICI, M.-M.; WHITE, R. J.; FALCO, C.; SEVILLA, M. Black perspectives for a green future: hydrothermal carbons for environment protection and energy storage. **Energy & Environmental Science**, Reino Unido, v. 5, n. 5, p. 6796, 2012. Disponível em: <<http://xlink.rsc.org/?DOI=c2ee21166a>>

TRANI, P. E.; TIVELLI, W. S. **Calagem e adubação da beterraba** Instituto Agrônômico. Campinas: Instituto Agrônômico, 2013.

TRINDADE, E. F. da S.; RODRIGUES, T. E.; CARVALHO, E. J. M.; CORRÊA, P. C. S. **Matéria orgânica e atributos físicos de um argissolo amarelo distrófico no nordeste paraense**. 2009. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2009.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. METHOD 9045D SOIL AND WASTE pH. **United States Environmental Protection Agency**, Estados Unidos, n. 3, p. 1–21, 2004.

WANG, C.; WANG, Y.; HERATH, H. M. S. K. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in biochar – Their formation, occurrence and analysis: A review. **Organic Geochemistry**, Reino Unido, v. 114, p. 1–11, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2017.09.001>>

WANG, M.; WANG, J. J.; WANG, X. Effect of KOH-enhanced biochar on increasing soil plant-available silicon. **Geoderma**, Holanda, v. 321, n. January, p. 22–31, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.001>>

WANG, T.; ZHAI, Y.; ZHU, Y.; LI, C.; ZENG, G. A review of the hydrothermal carbonization of biomass waste for hydrochar formation: Process conditions, fundamentals, and physicochemical properties. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Reino Unido, v. 90, n. December 2016, p. 223–247, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.071>>

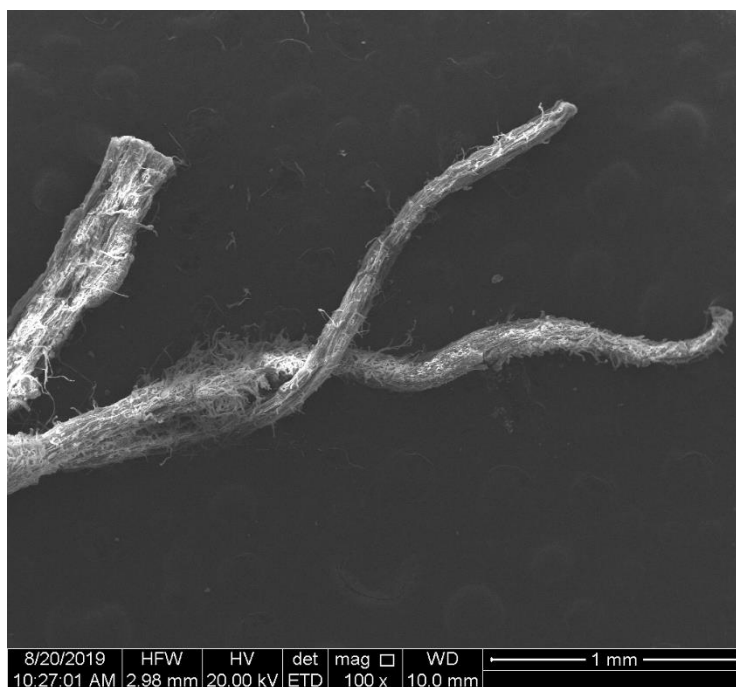
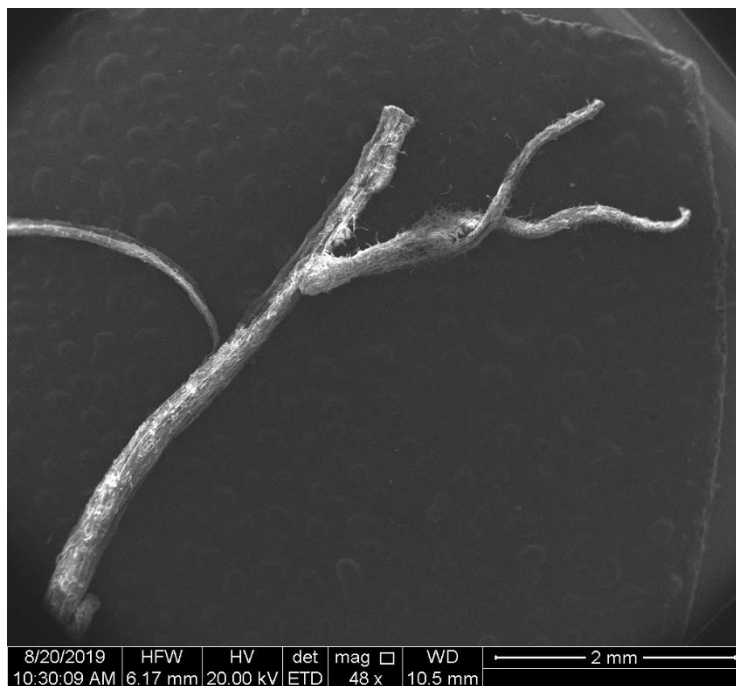
WU, H.; DONG, X.; LIU, H. Evaluating fluorescent dissolved organic matter released from wetland-plant derived biochar: Effects of extracting solutions. **Chemosphere**, Reino Unido, v. 212, p. 638–644, 2018.

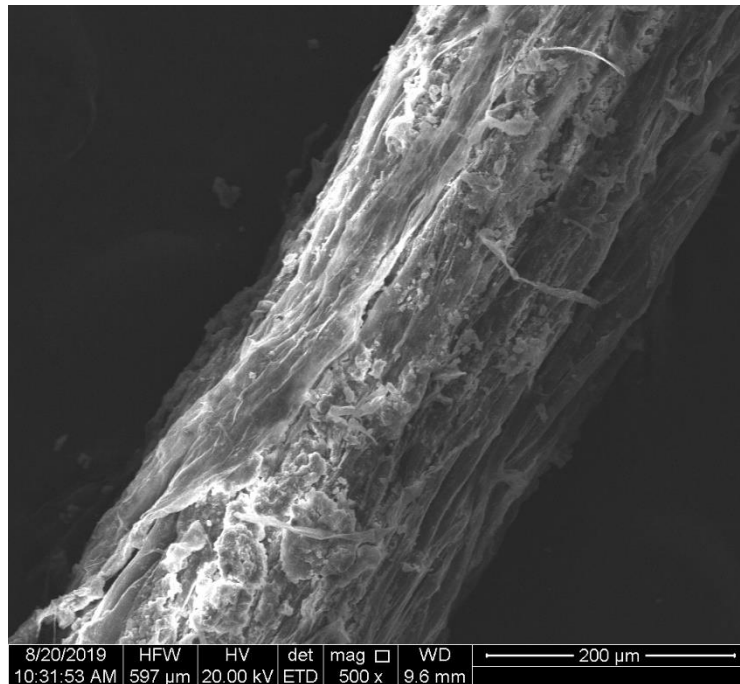
YUAN, S.; TAN, Z.; HUANG, Q. Migration and transformation mechanism of nitrogen in the biomass–biochar–plant transport process. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Reino Unido, v. 85, n. June 2017, p. 1–13, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.008>>

APÊNDICES

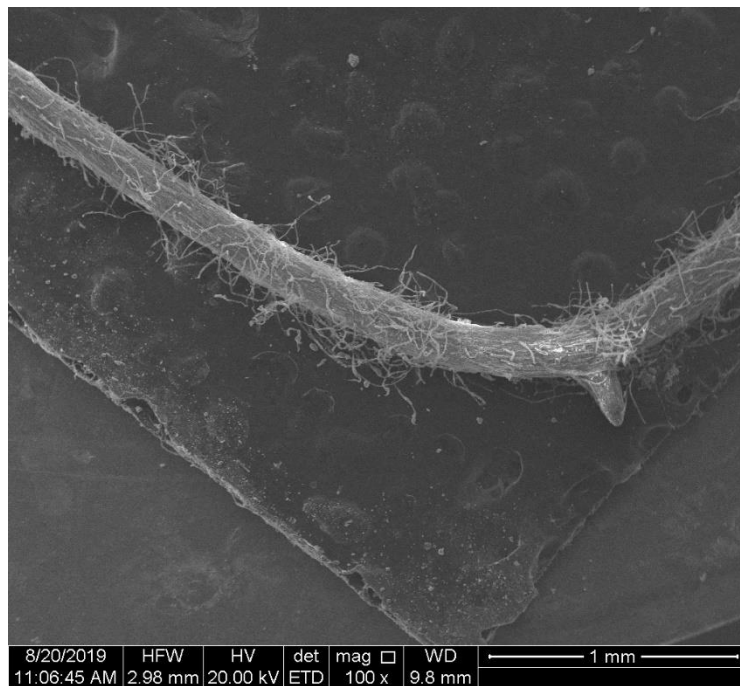
APÊNDICE A - IMAGENS DE MICROSCOPIA DA RAIZ DA PLANTA DE BETERRABA

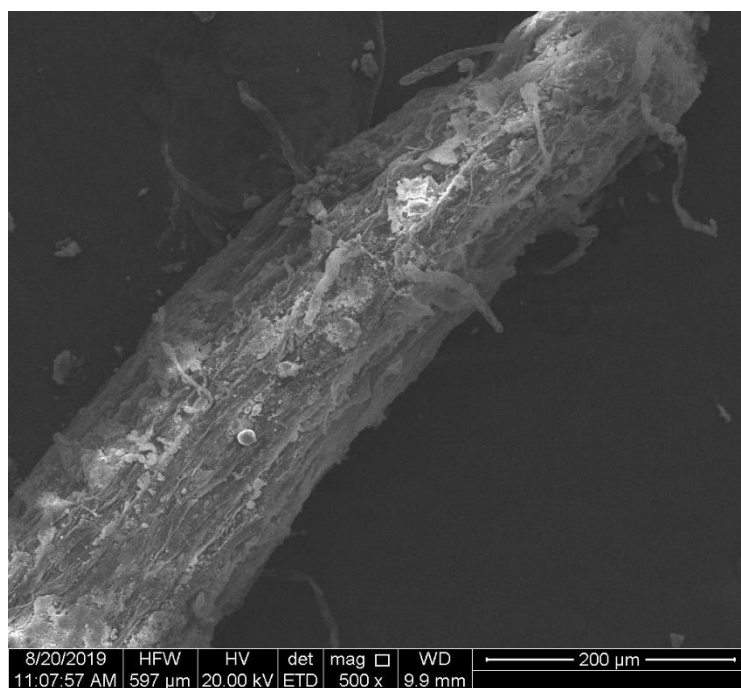
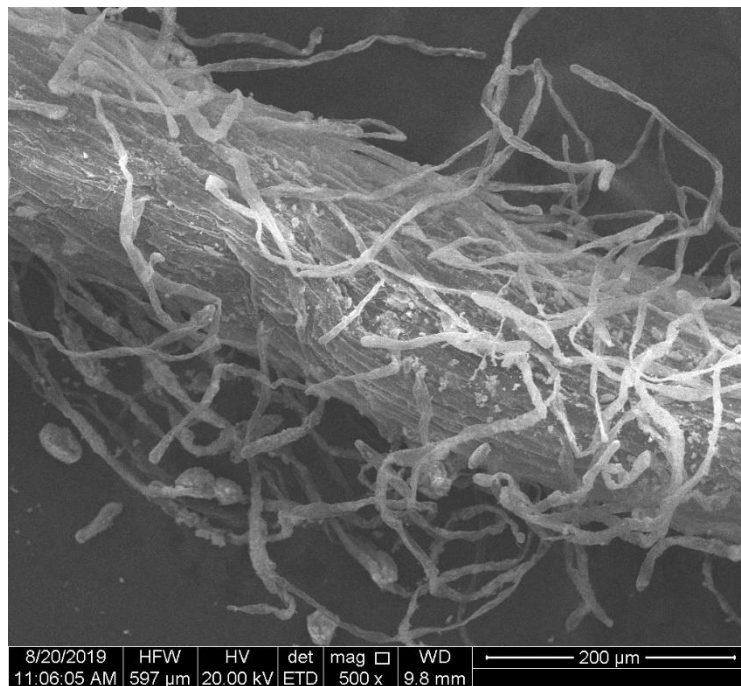
- Latossolo controle



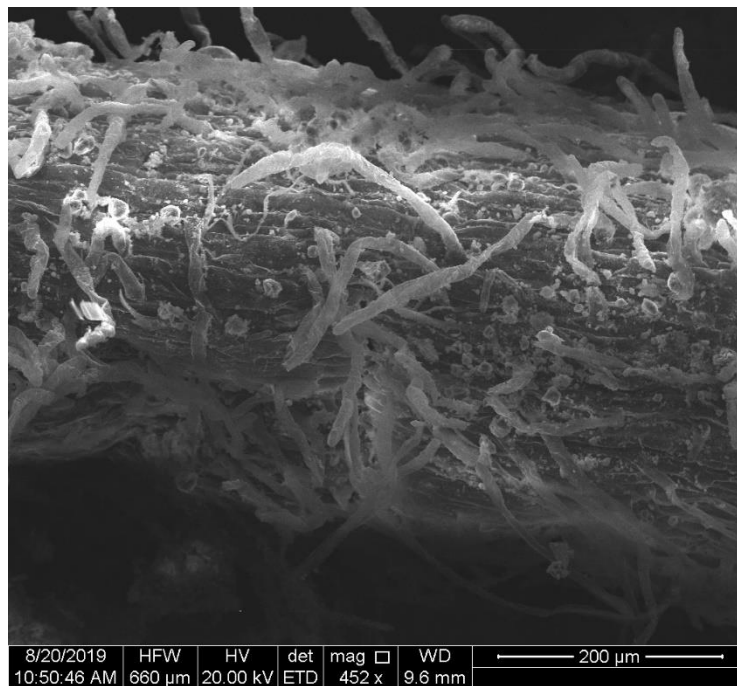
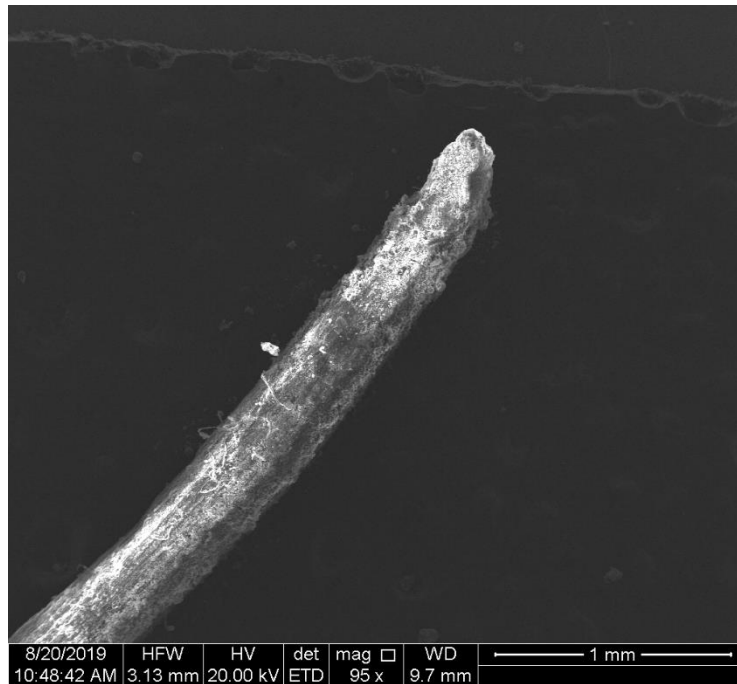


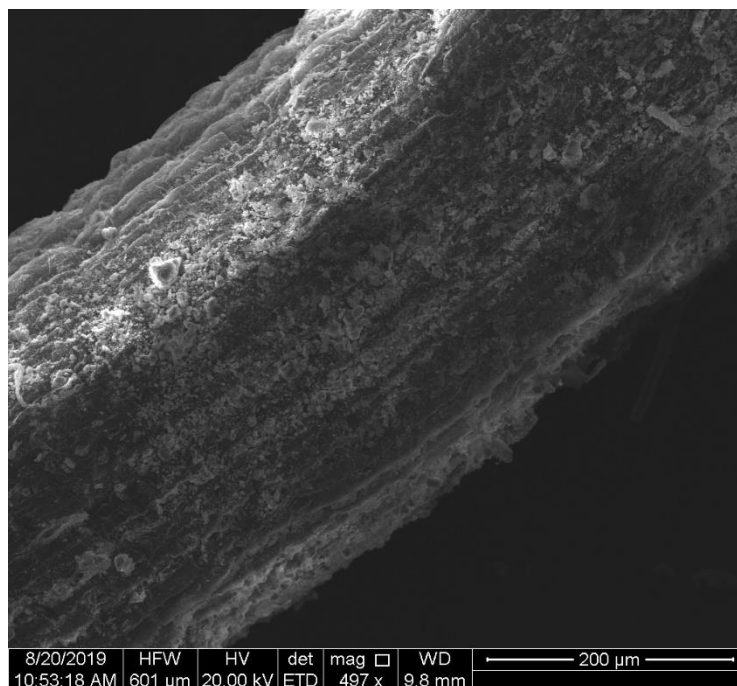
- **Latossolo 10 t ha⁻¹**



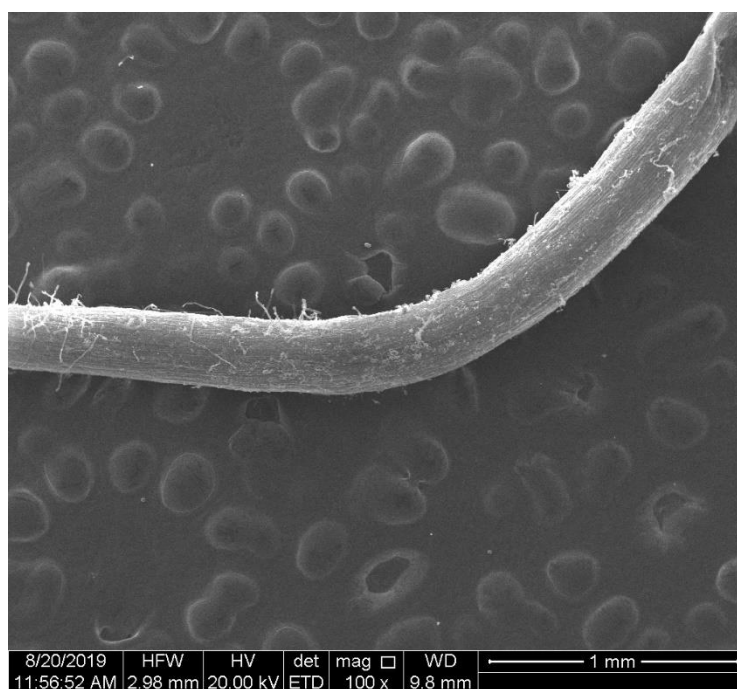


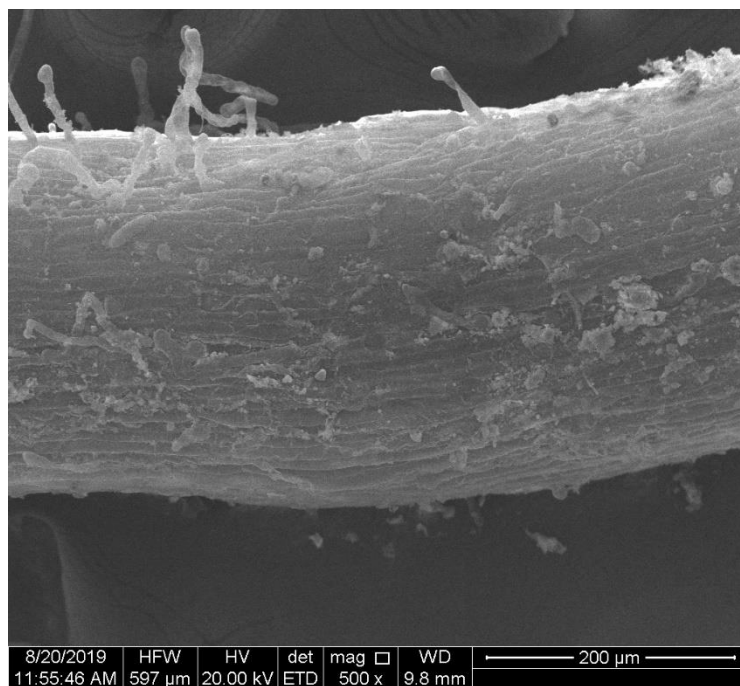
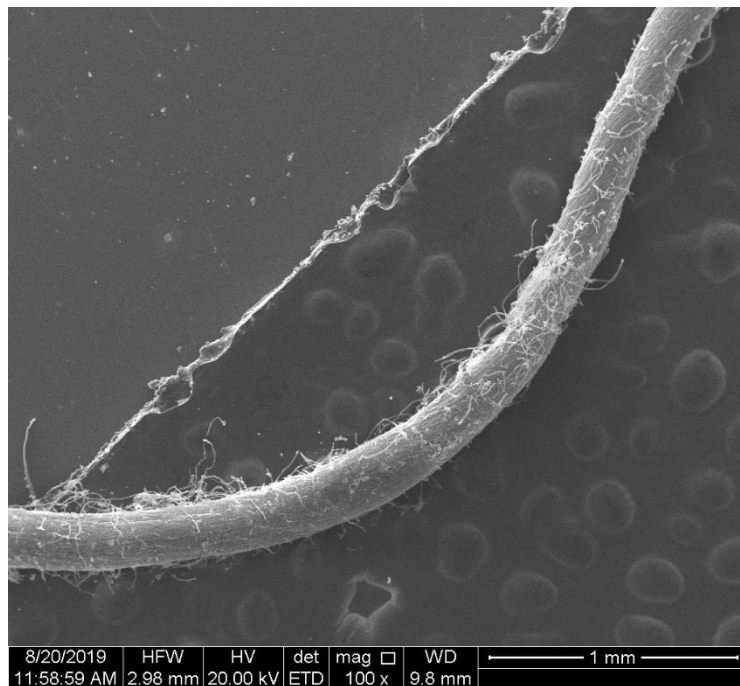
- Latossolo 20 t ha⁻¹

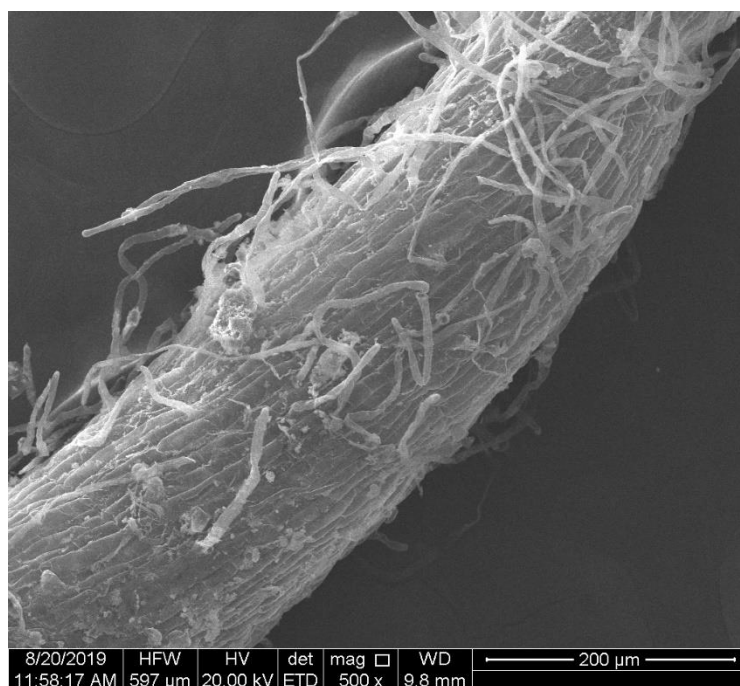
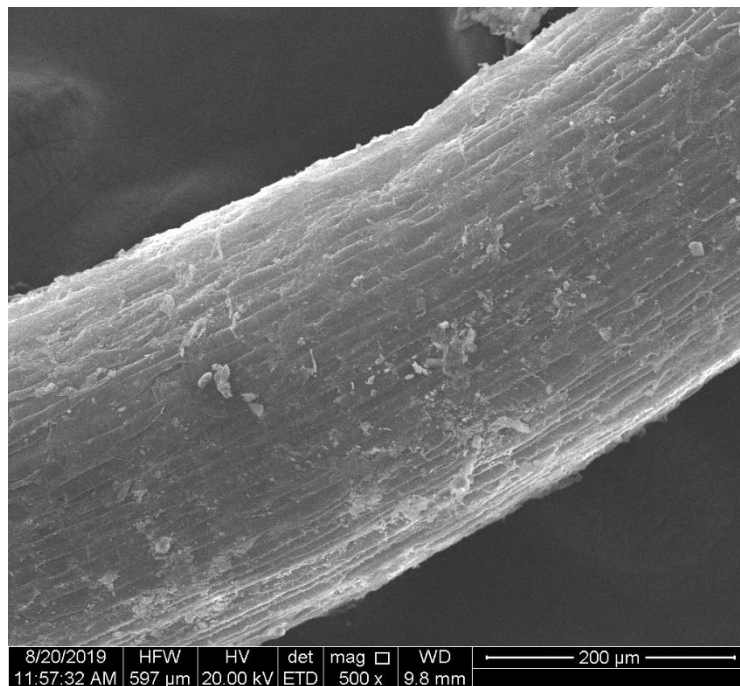




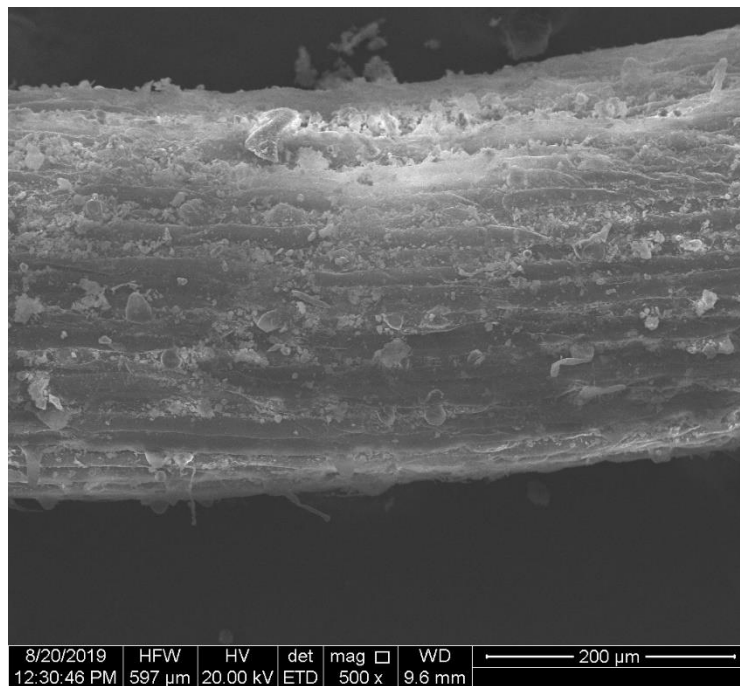
- **Argissolo Controlo**

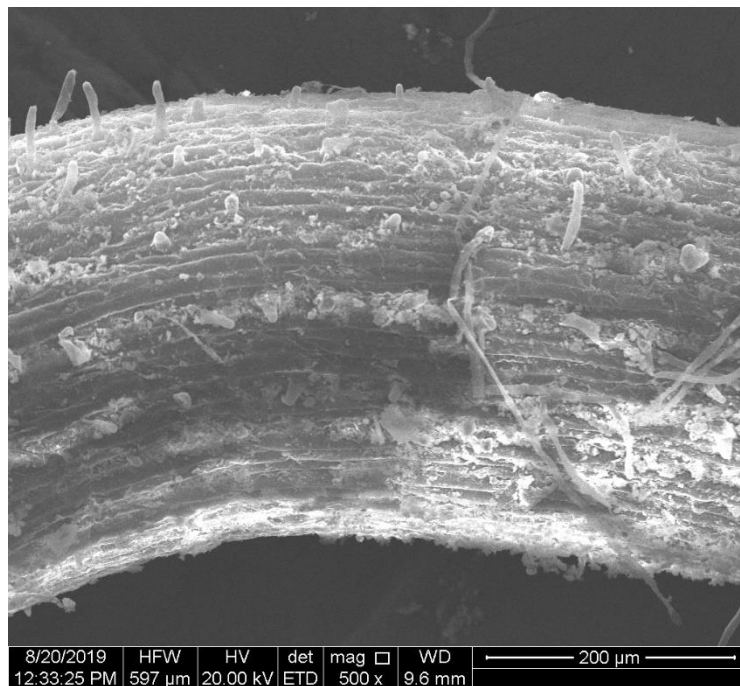




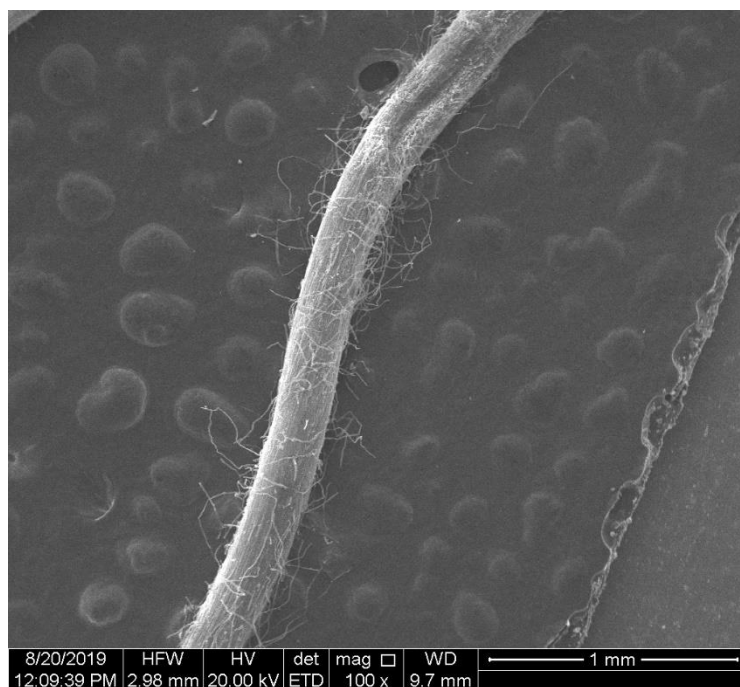


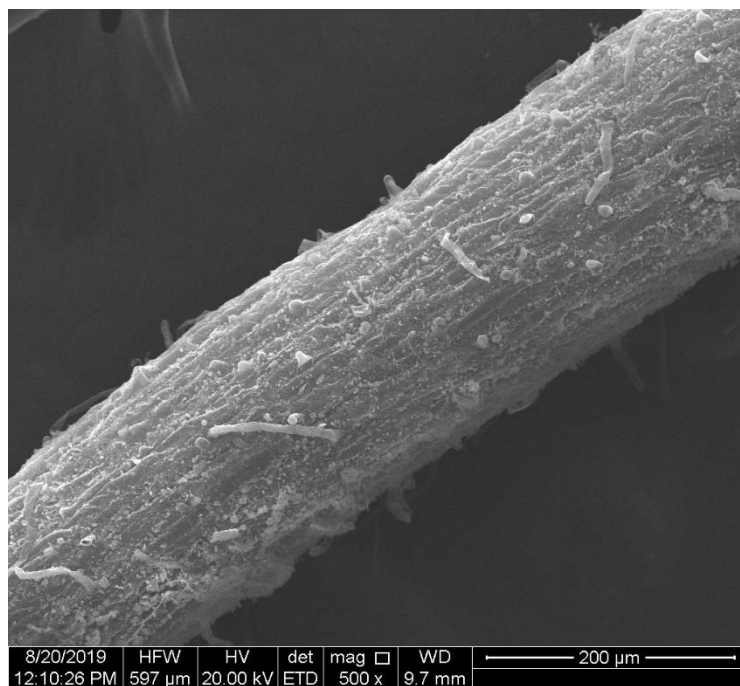
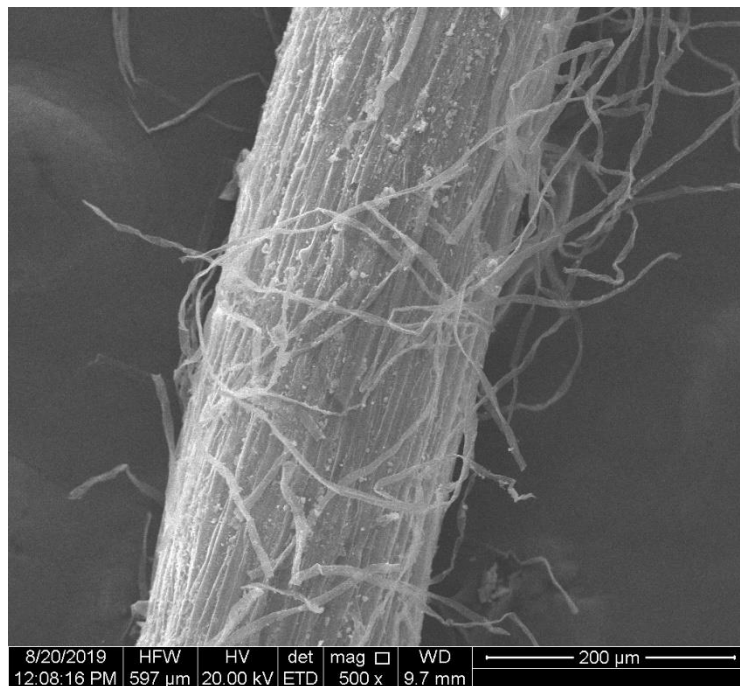
- Argissolo 10 t ha⁻¹





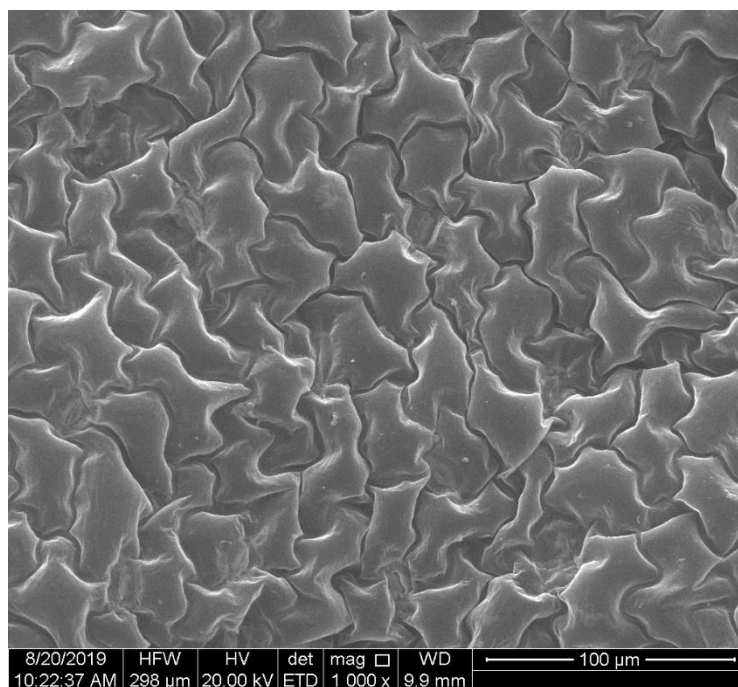
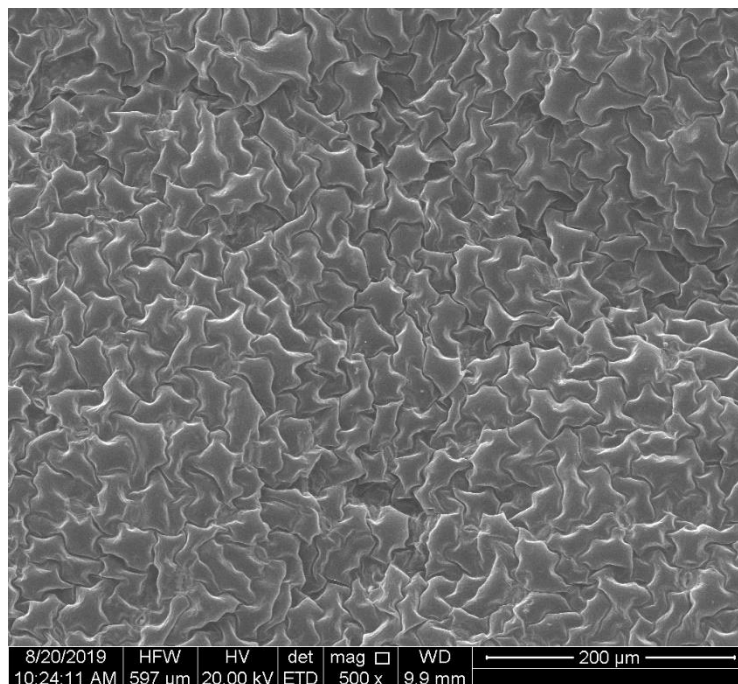
- Argissolo 20 t ha⁻¹

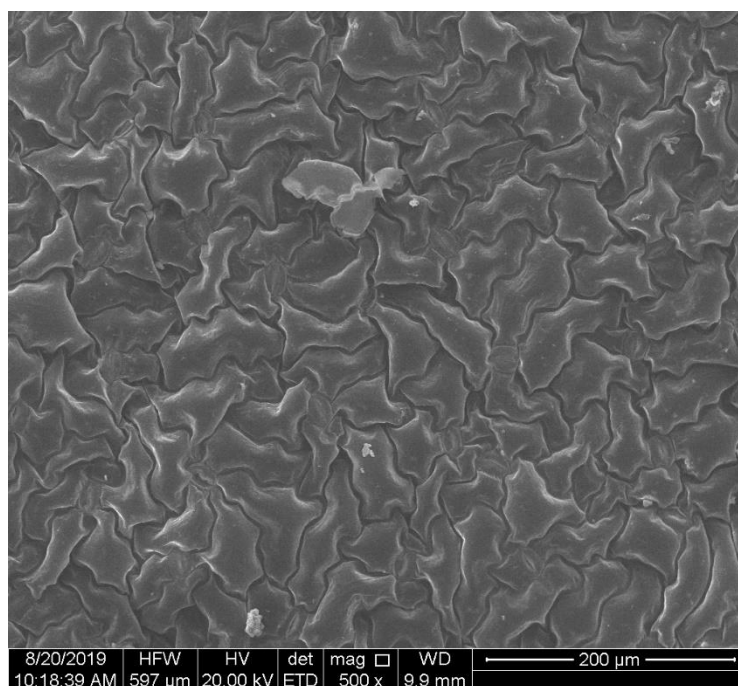
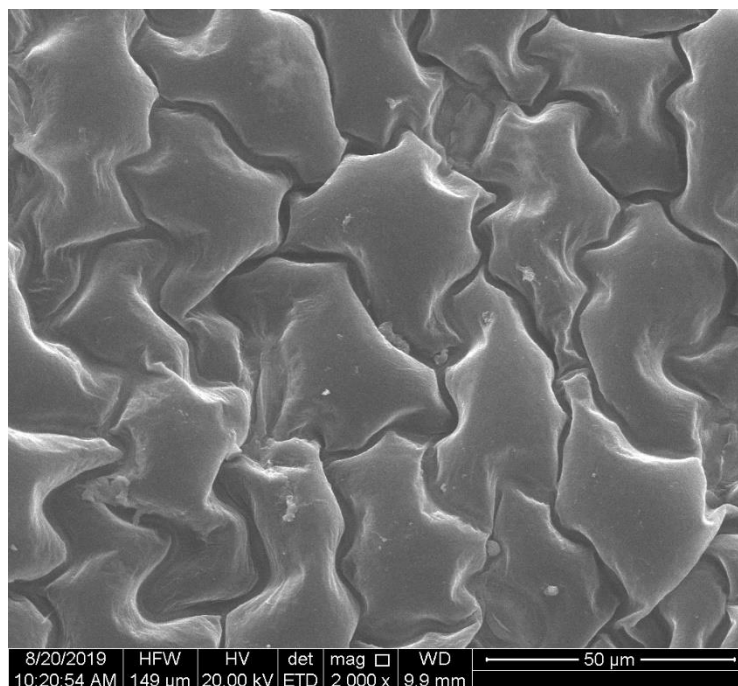


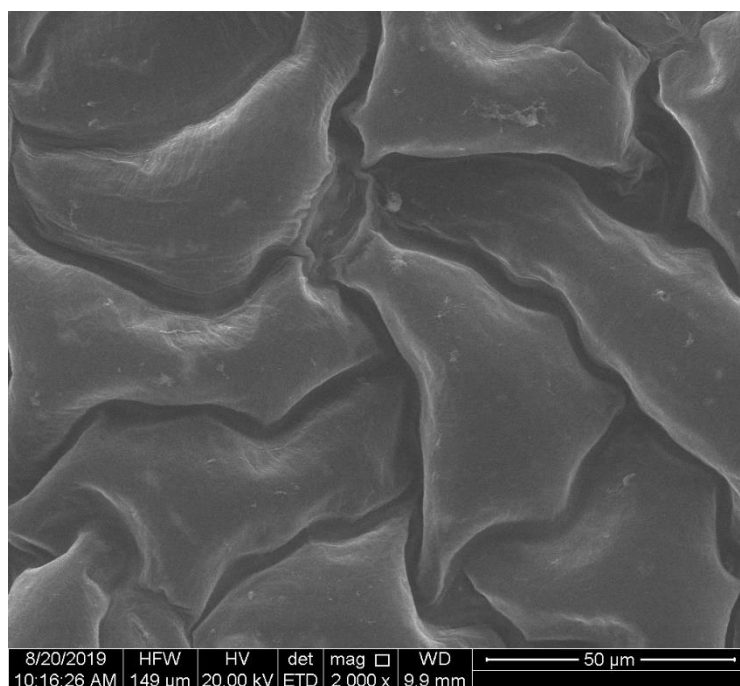
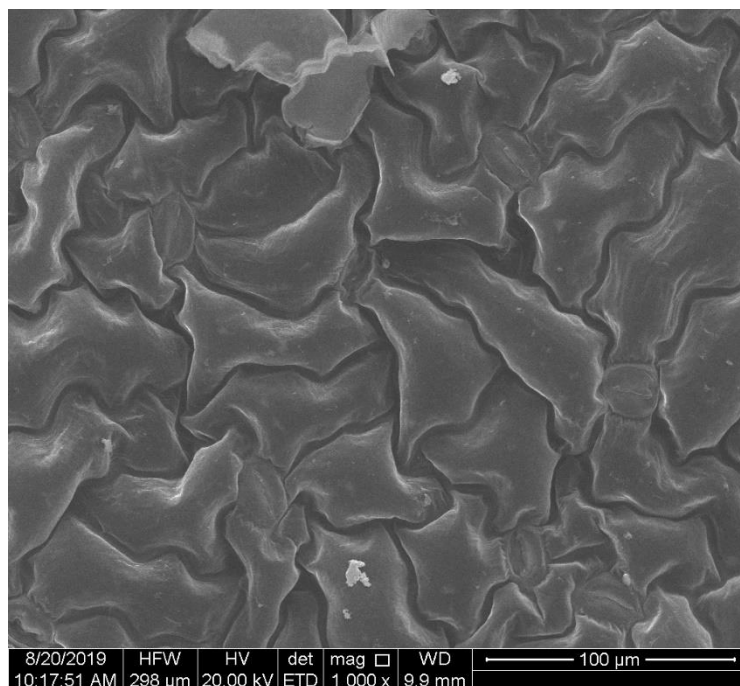


APÊNDICE B - IMAGENS DE MICROSCOPIA DA PARTE AÉREA DA PLANTA DE BETERRABA

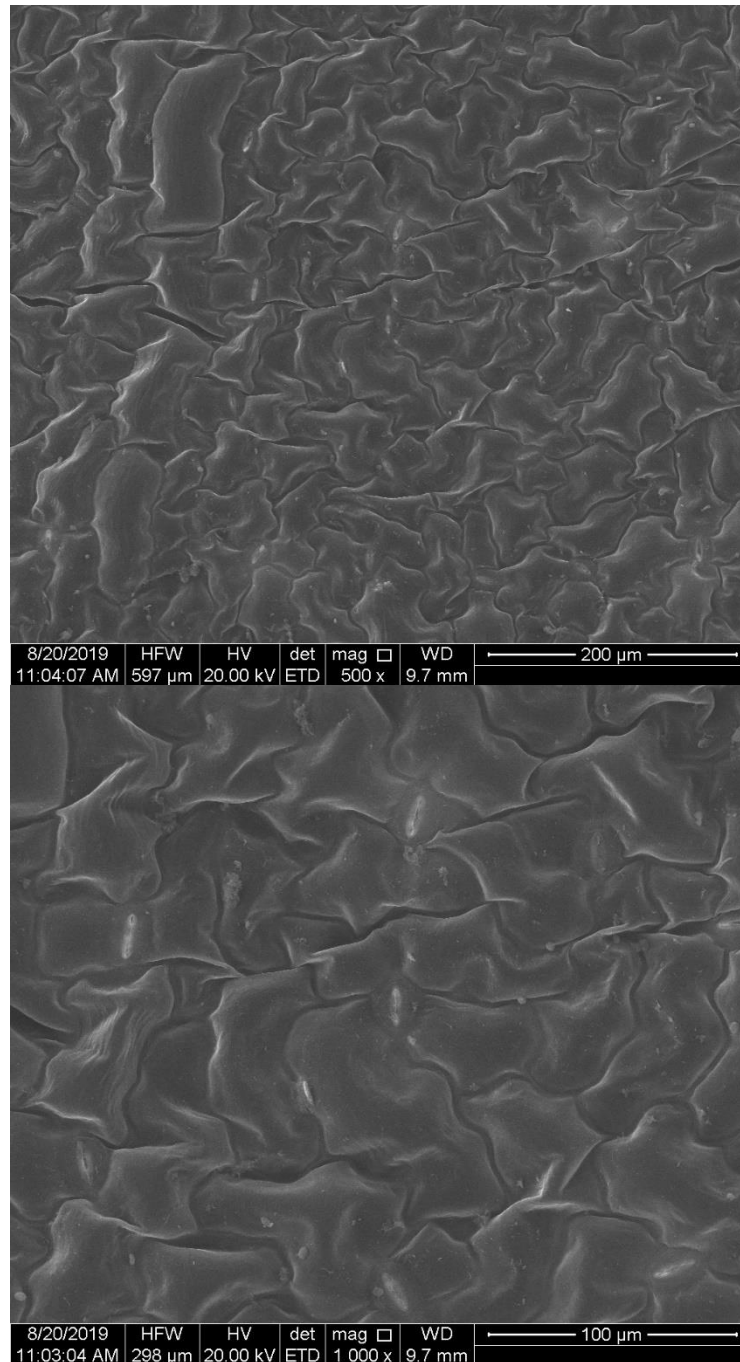
- Latossolo Controle

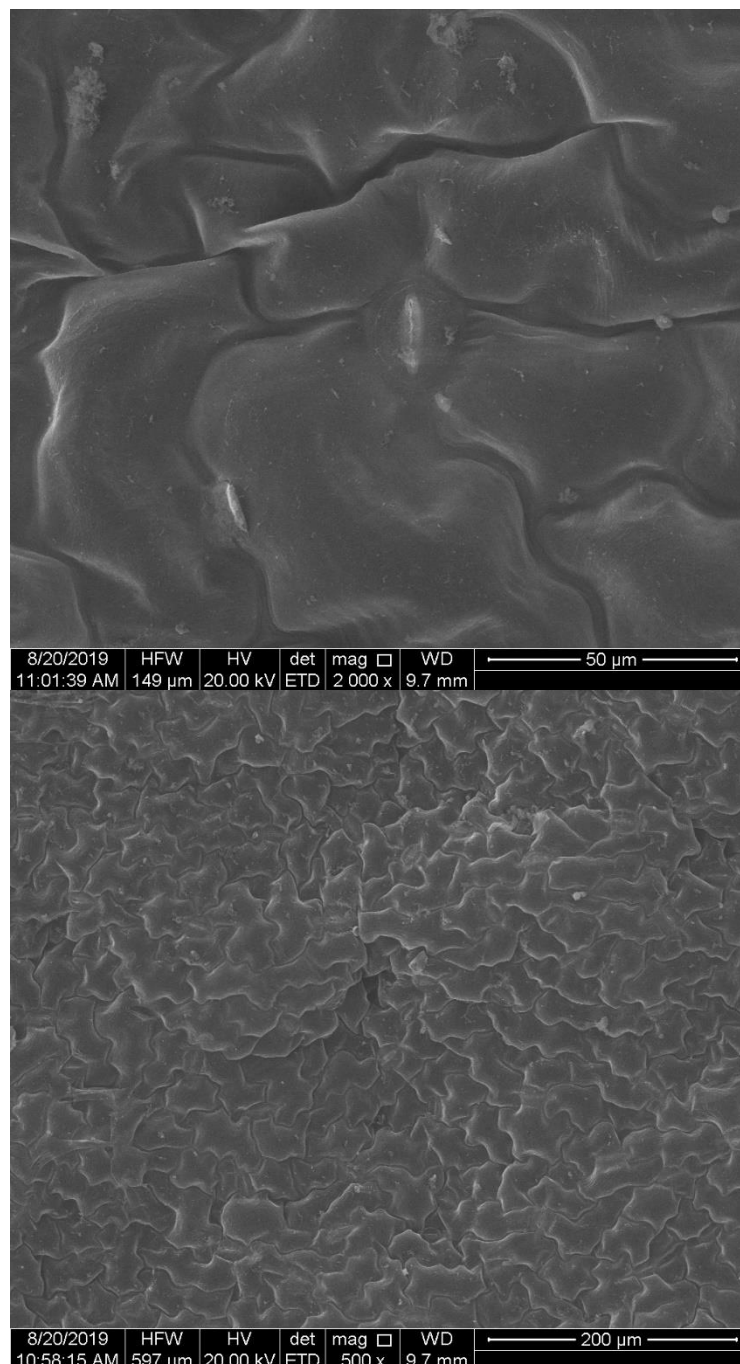


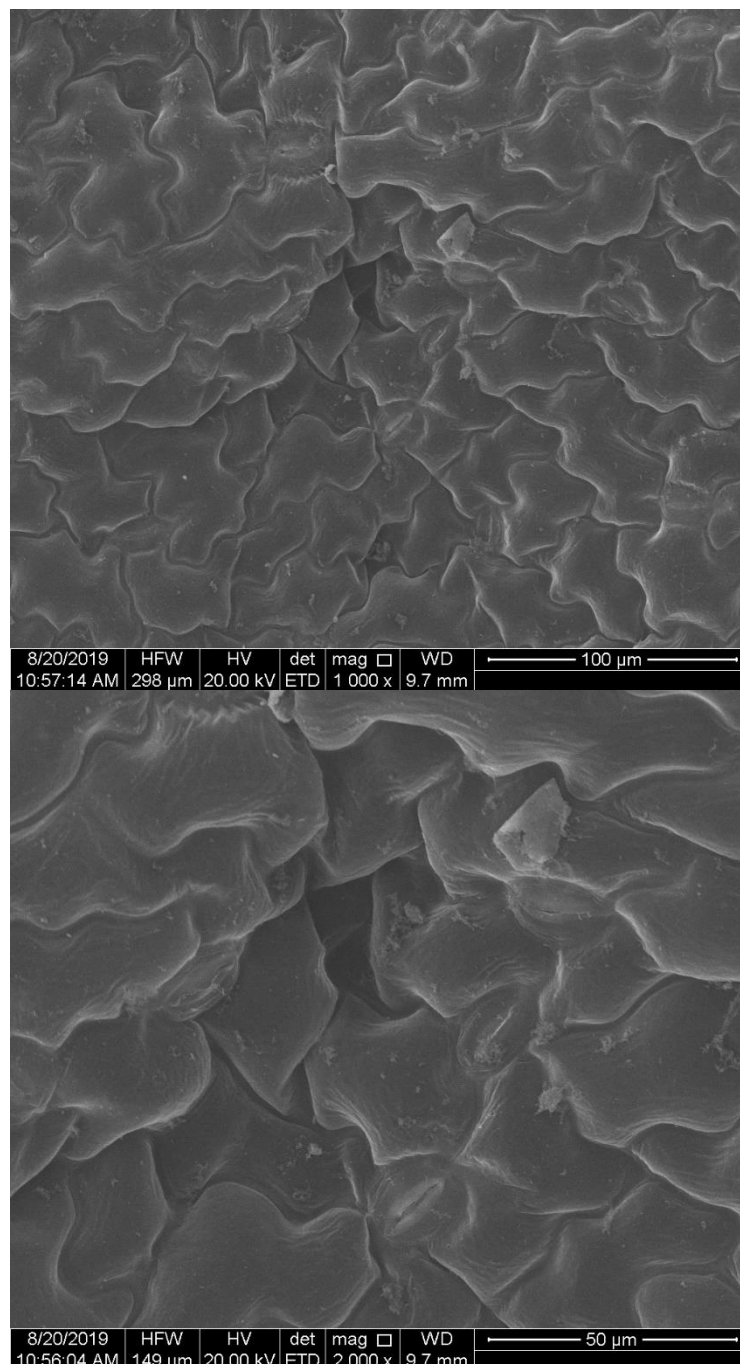




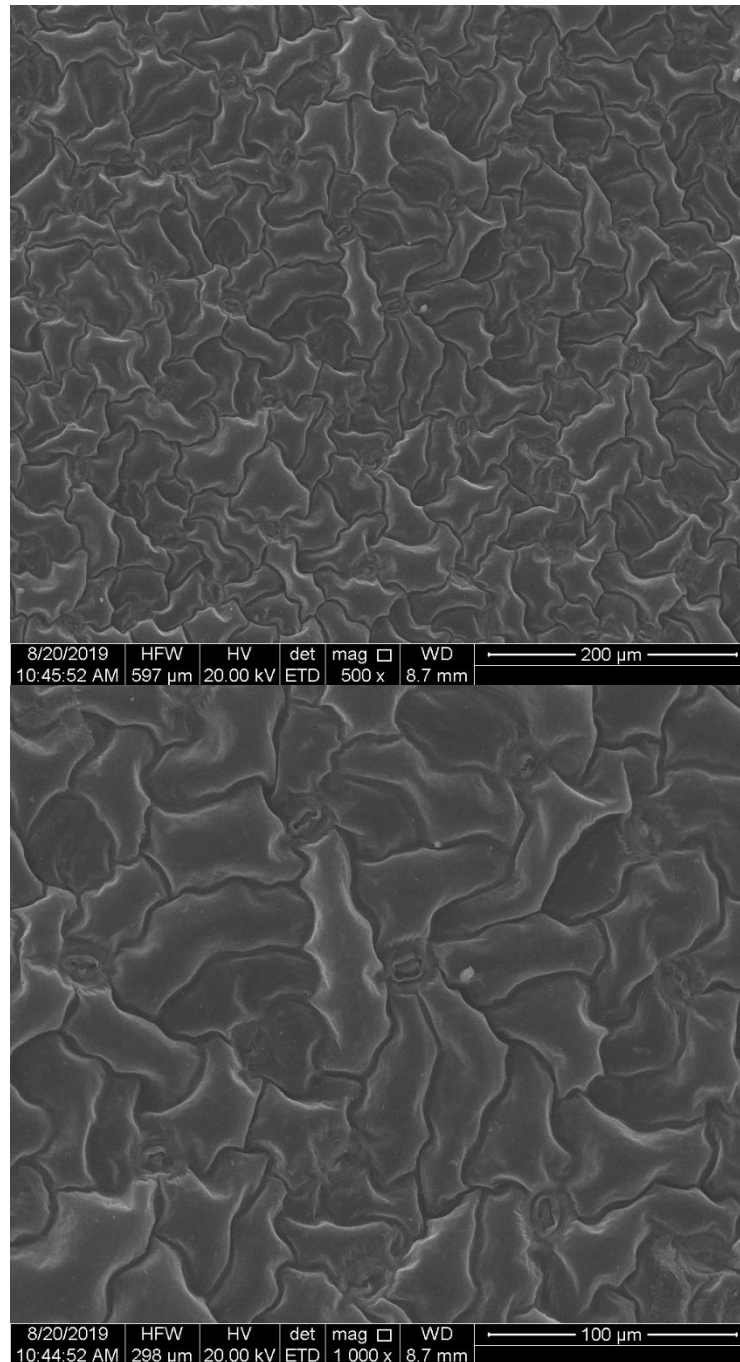
- Latossolo 10 t ha⁻¹

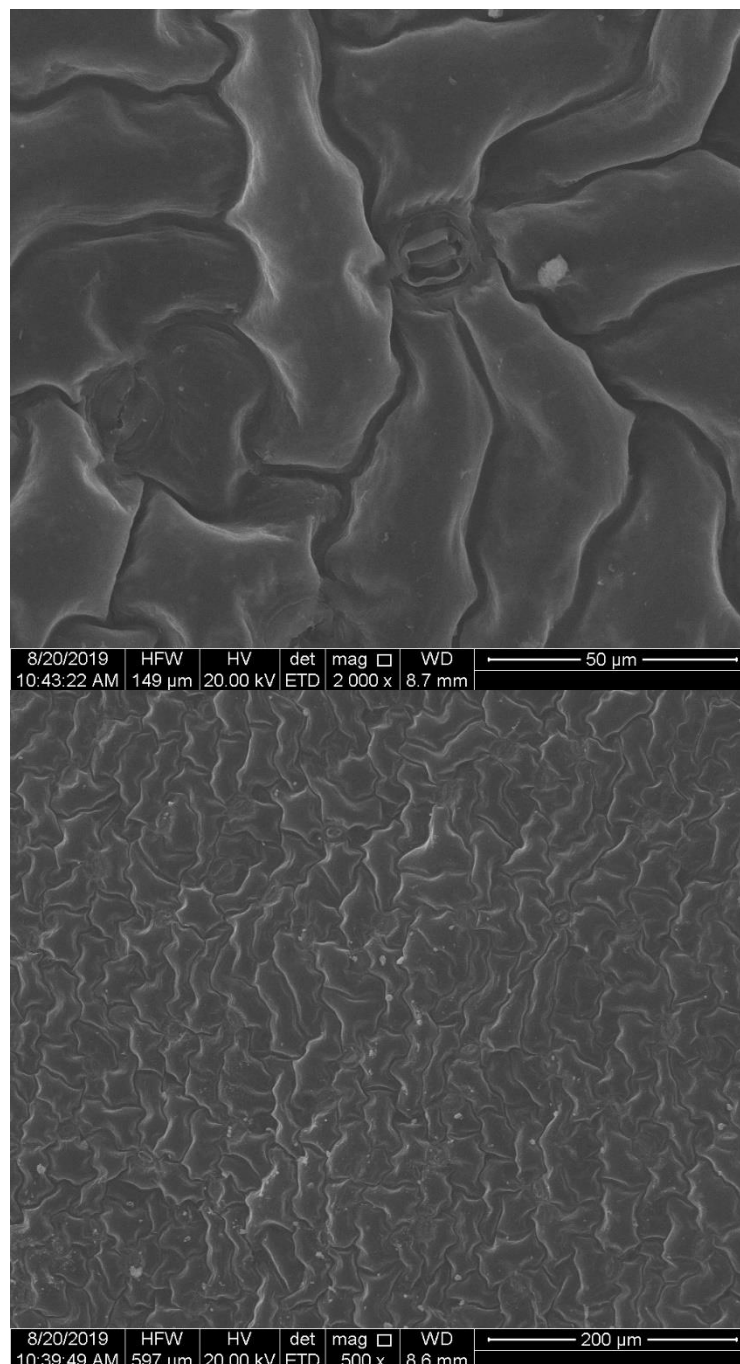


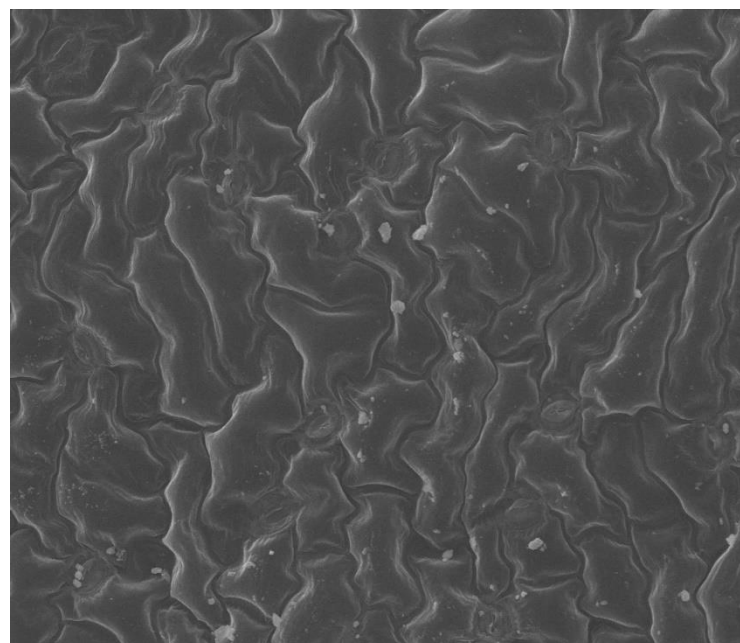




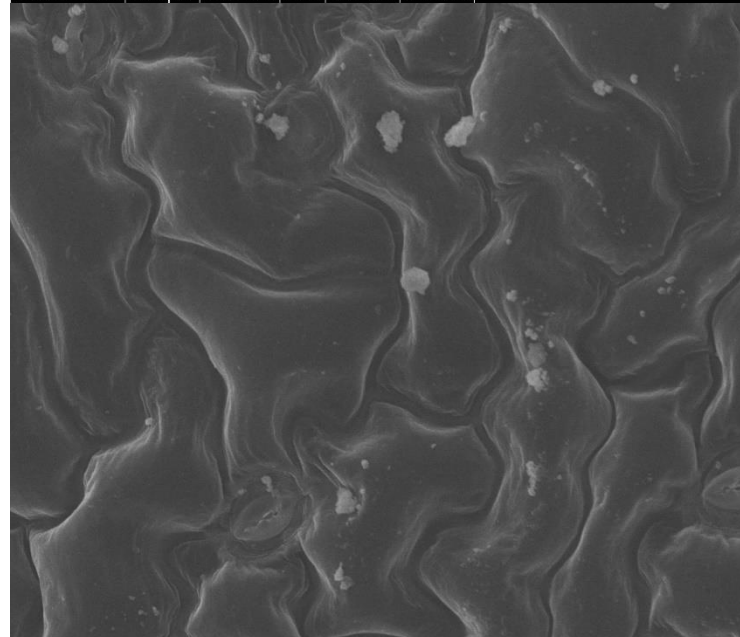
- Latossolo 20 t ha⁻¹





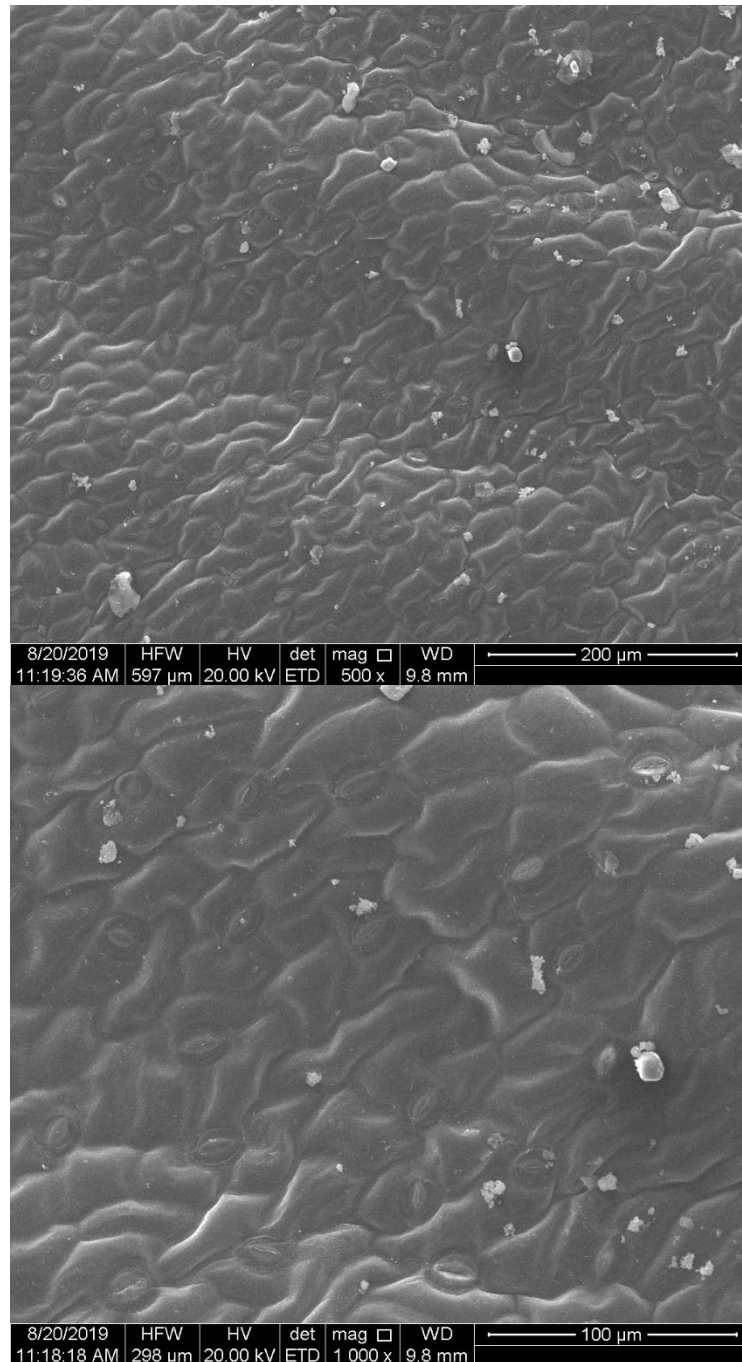


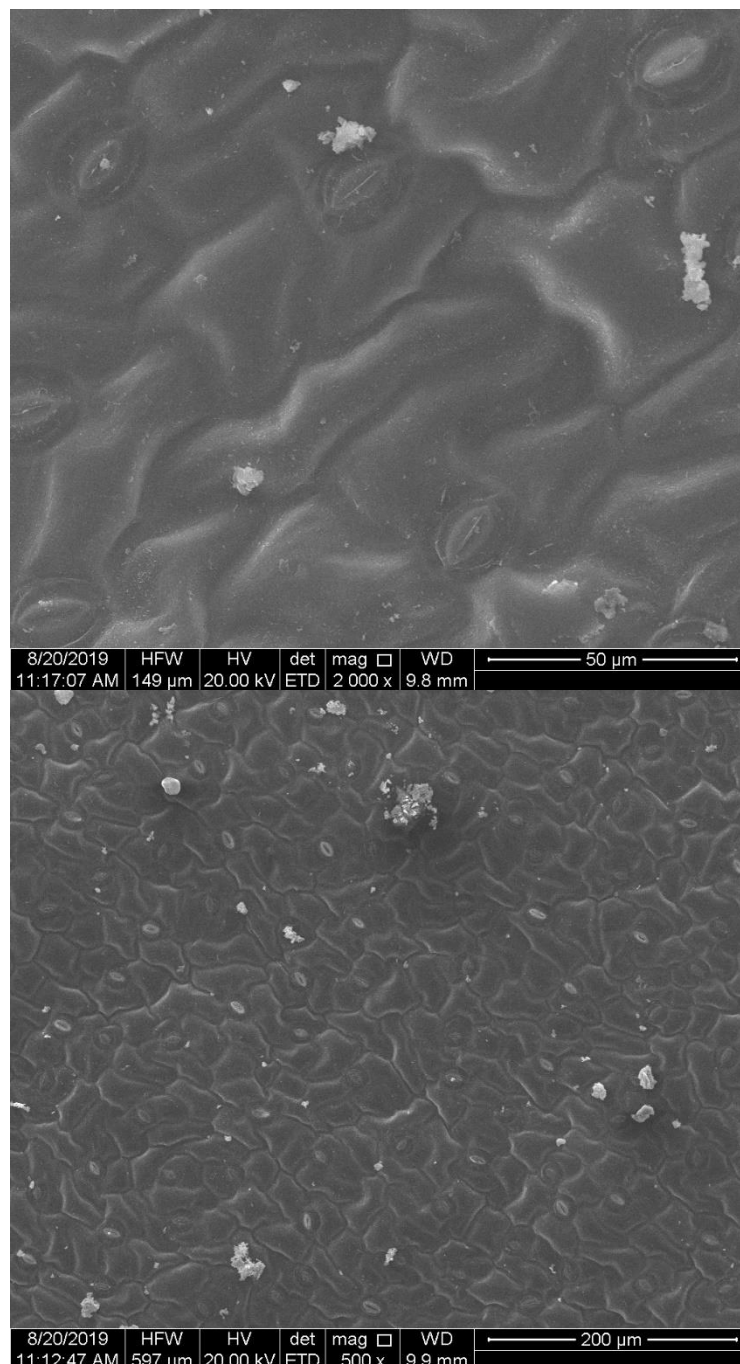
8/20/2019	HFW	HV	det	mag	WD	
10:38:34 AM	298 μ m	20.00 kV	ETD	1 000 x	8.6 mm	100 μ m

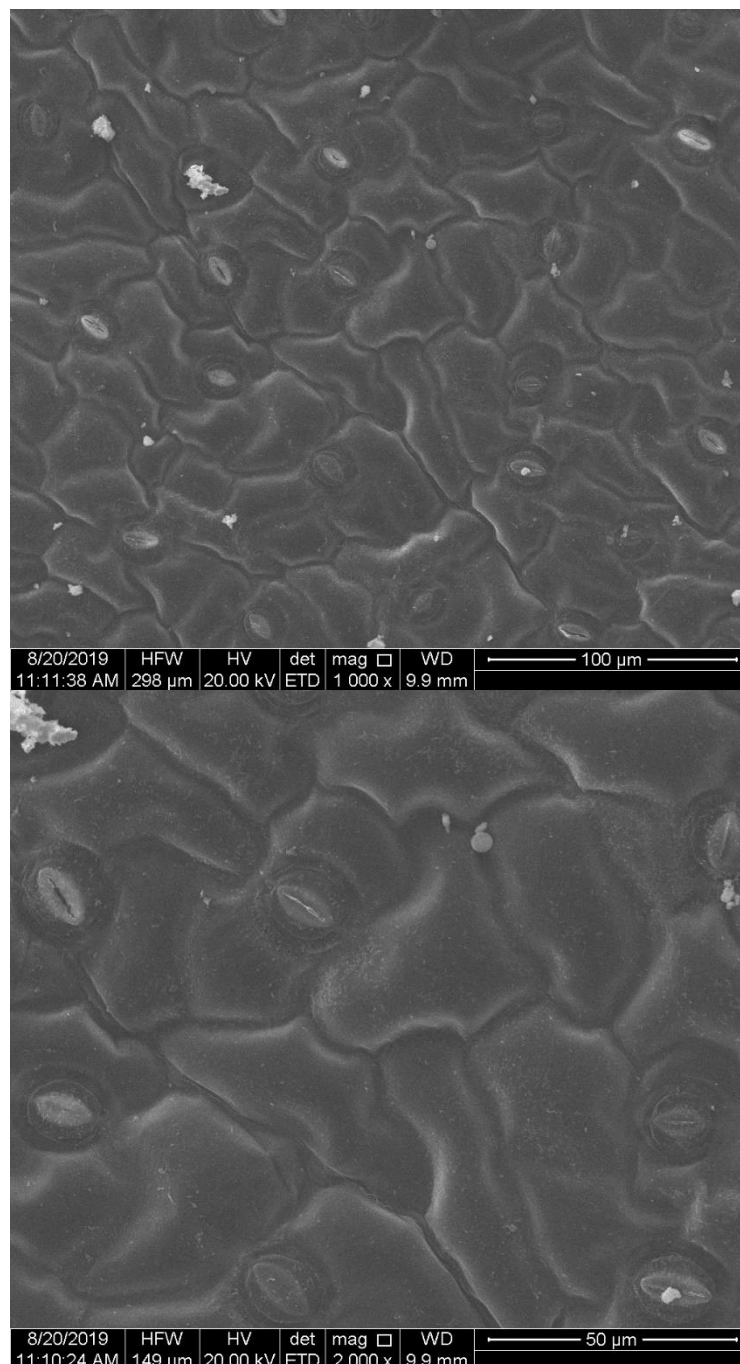


8/20/2019	HFW	HV	det	mag	WD	
10:37:02 AM	149 μ m	20.00 kV	ETD	2 000 x	8.6 mm	50 μ m

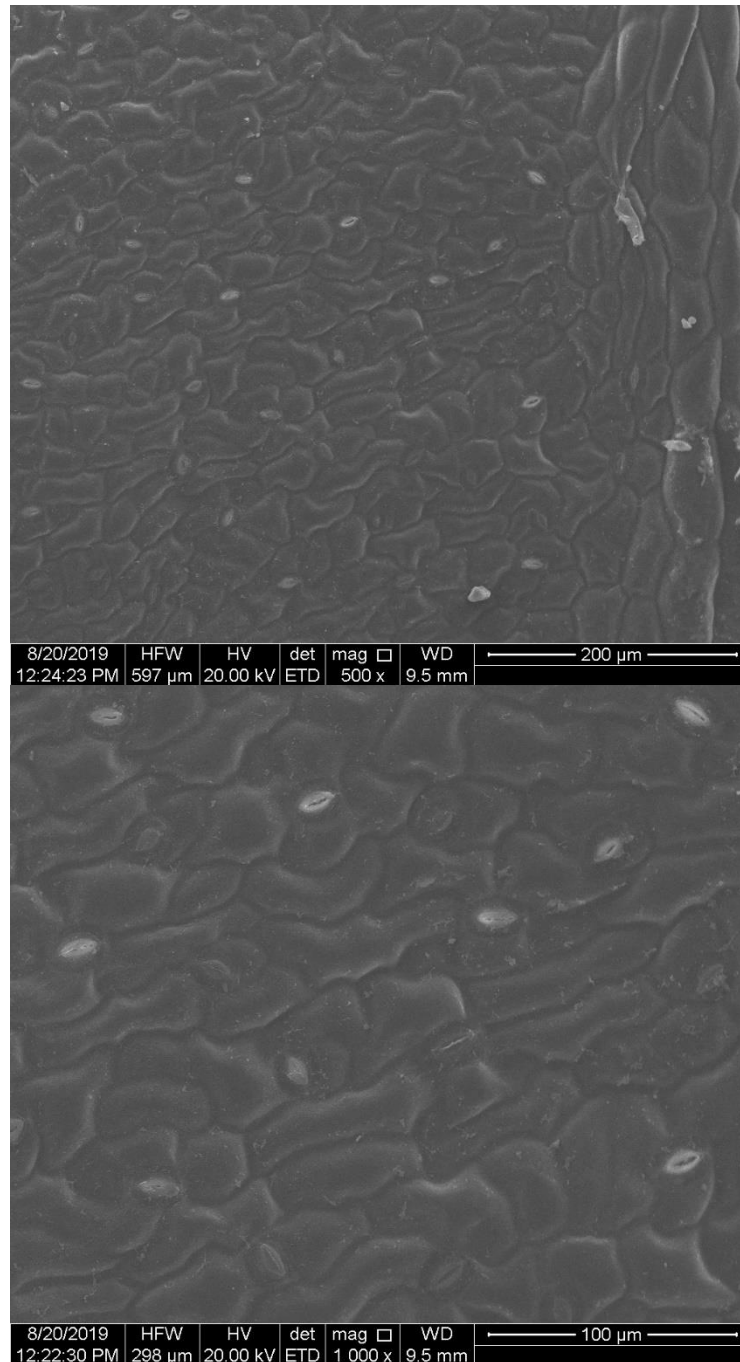
- Argissolo Controlo

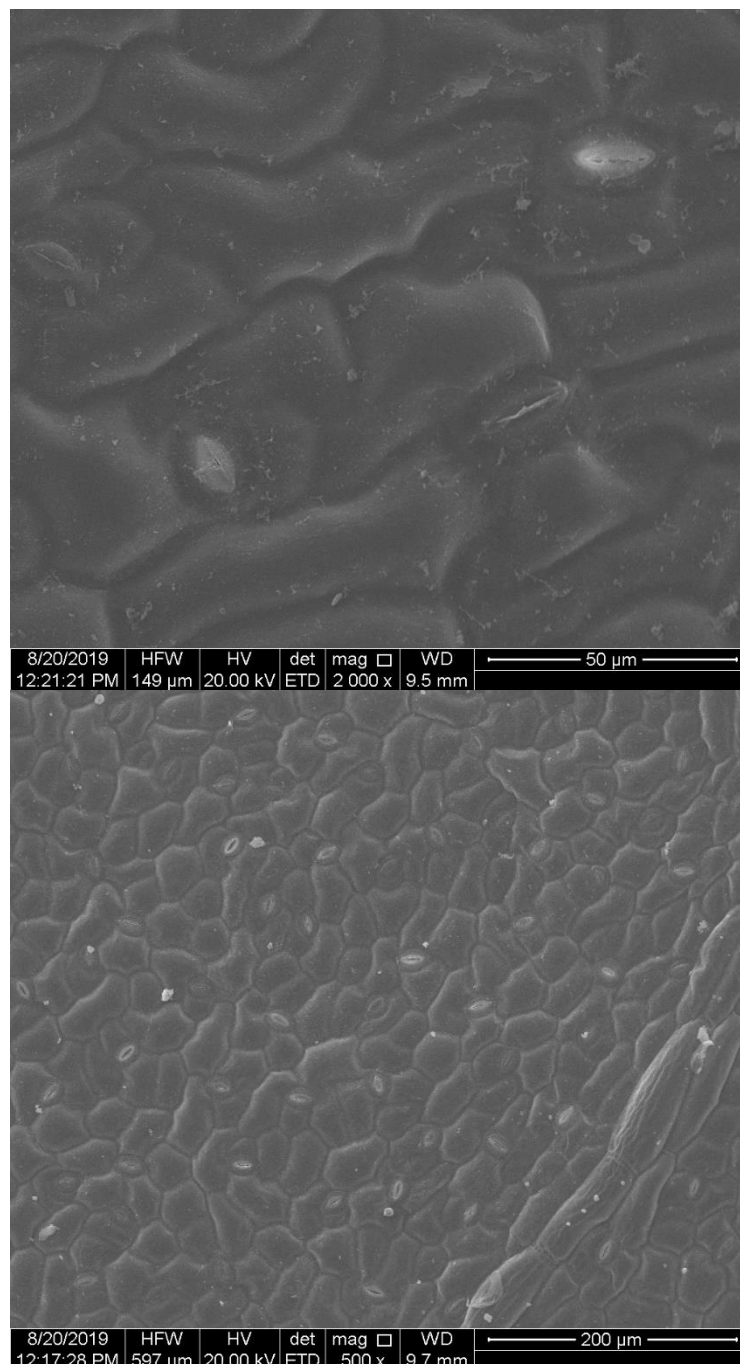


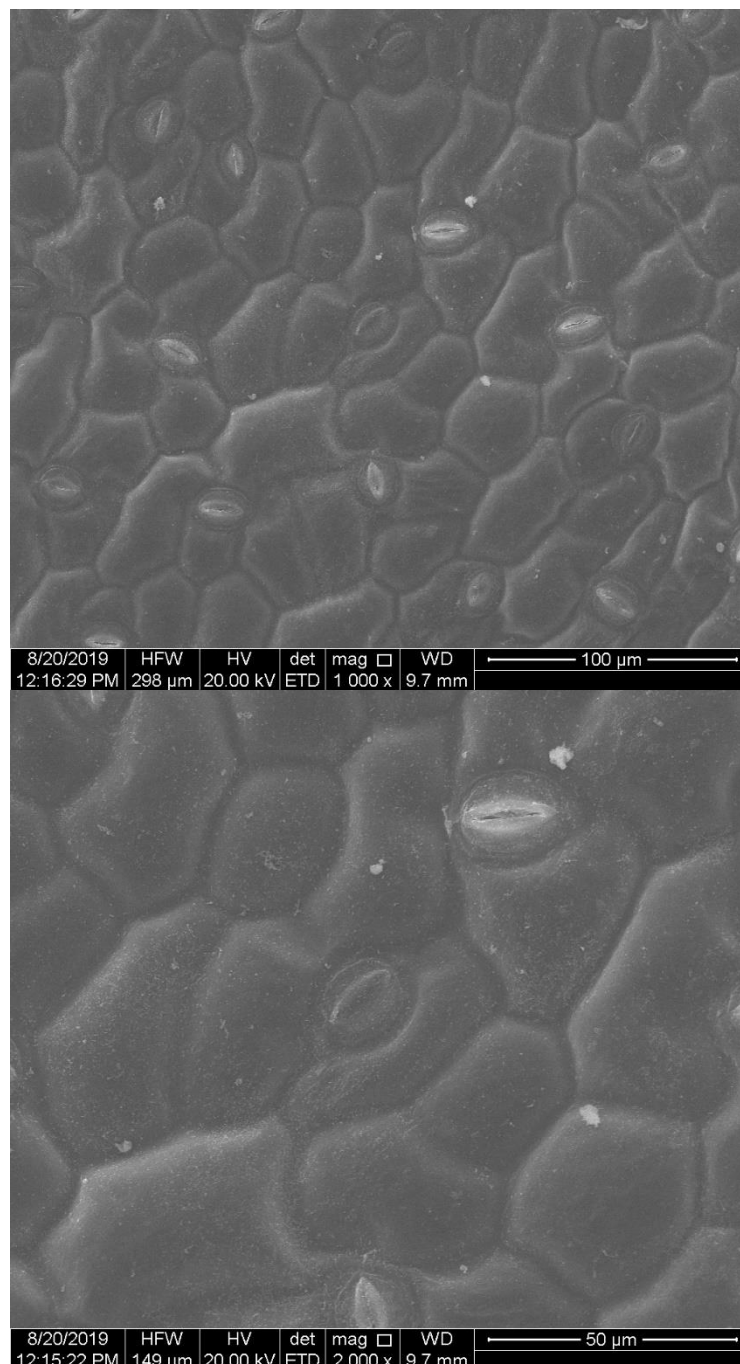




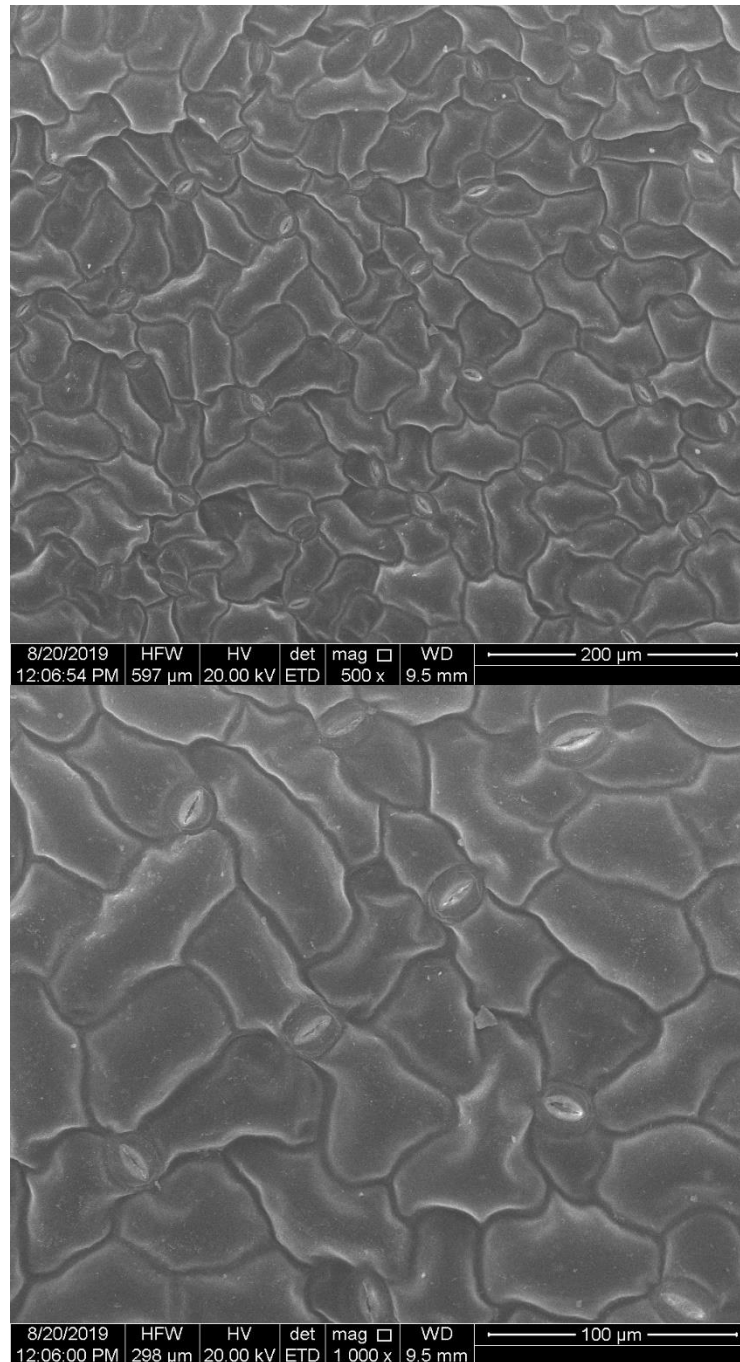
- Argissolo 10 t ha⁻¹

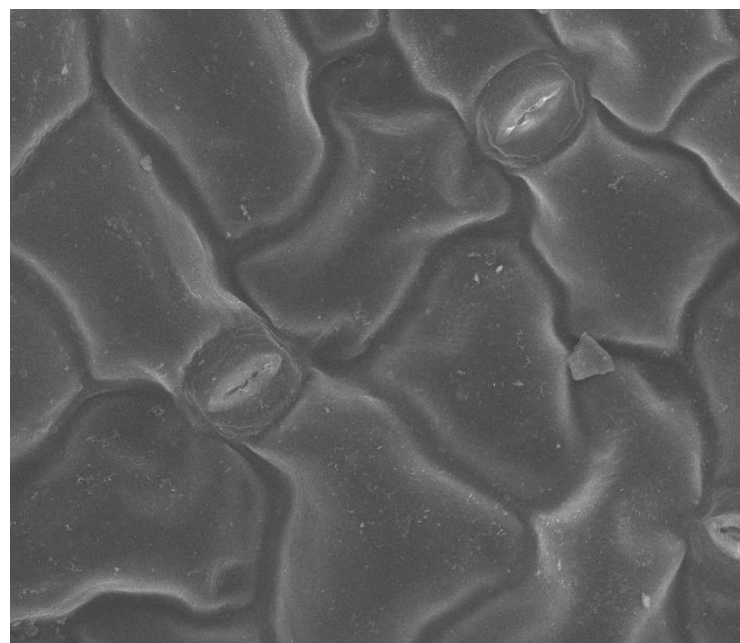




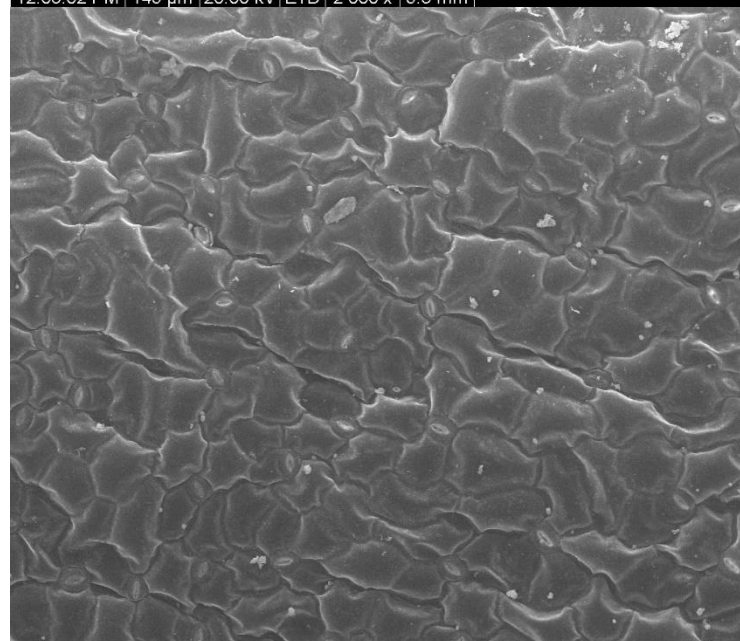


- Argissolo 20 t ha⁻¹

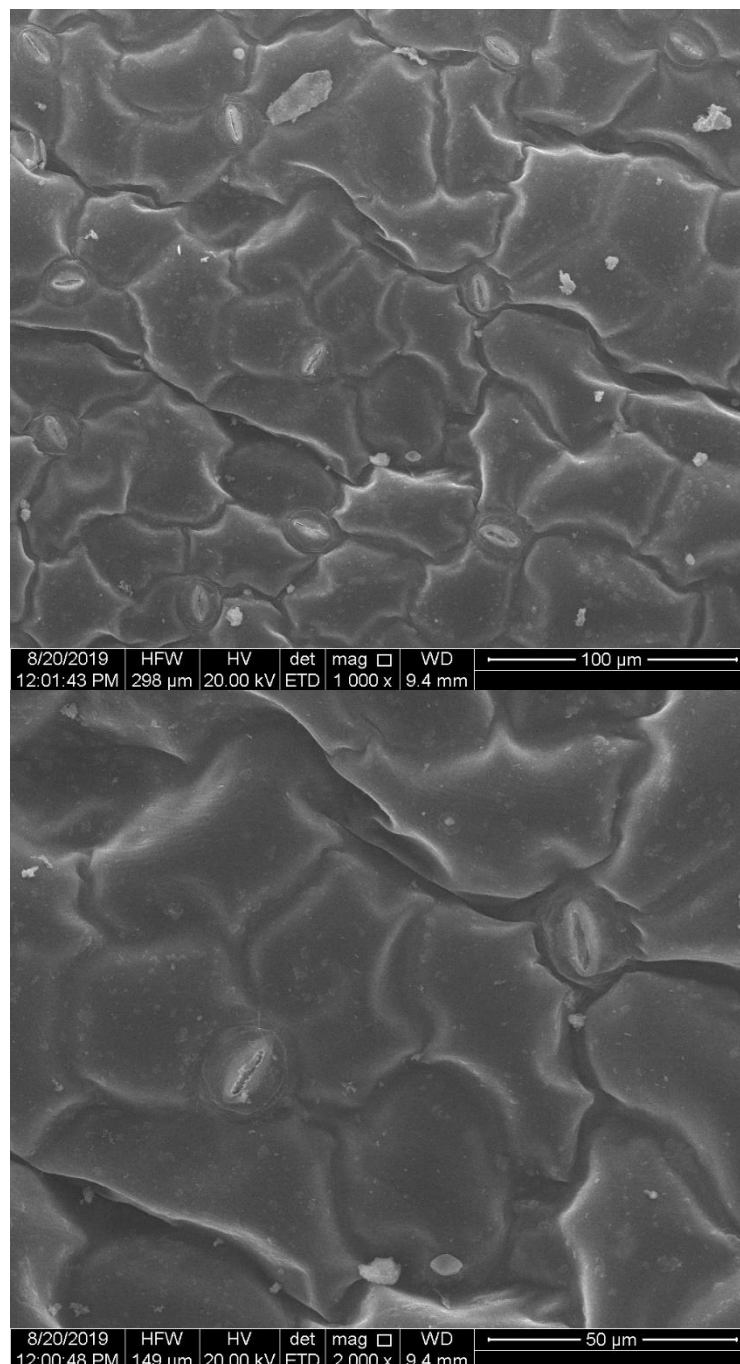




8/20/2019	HFW	HV	det	mag	WD	
12:05:02 PM	149 μ m	20.00 kV	ETD	2,000 x	9.5 mm	50 μ m



8/20/2019	HFW	HV	det	mag	WD	
12:03:20 PM	597 μ m	20.00 kV	ETD	500 x	9.4 mm	200 μ m



TERMO DE REPRODUÇÃO XEROGRÁFICA

Autorizo a reprodução xerográfica do presente Trabalho de Conclusão, na íntegra ou em partes, para fins de pesquisa.

São José do Rio Preto, ____/____/____

Assinatura do autor