

SILICATO DE POTÁSSIO NA ACLIMATAÇÃO DE MUDAS DE *Coffea arabica* L.

PAULO FERNANDO MARQUES CAVALCANTI FILHO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO - 2017

SILICATO DE POTÁSSIO NA ACLIMATAÇÃO DE MUDAS DE *Coffea arabica* L.

PAULO FERNANDO MARQUES CAVALCANTI FILHO

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Orientador: Prof. Silvio de Jesus Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO - 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCH / UENF**

047/2017

C376 Cavalcanti Filho, Paulo Fernando Marques.

Silicato de potássio na aclimação de mudas de *Coffea arabica* L. / Paulo Fernando Marques Cavalcanti Filho. – Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

65 f. : il.

Bibliografia: f. 43 - 53.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2017.

Orientador: Silvio de Jesus Freitas.

1. Produção de Mudas. 2. *Coffea arabia* L. 3. Marcadores Moleculares.
4. Silicato de Potásio. 5. Aclimação de Mudas. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD – 633.73

SILICATO DE POTÁSSIO NA ACLIMATAÇÃO DE MUDAS DE *Coffea arabica* L.

PAULO FERNANDO MARQUES CAVALCANTI FILHO

“Dissertação de mestrado apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”.

Aprovada em 31 de março de 2017

Comissão Examinadora:

Paulo Cesar dos Santos (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Leandro Hespagnol Viana (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Reynaldo Tancredo Amim (D.Sc., Produção Vegetal) – IFF

Prof. Silvio de Jesus Freitas (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF
Orientador

Dedico ao meu filho Rafael Ramos Cavalcanti, à minha avó Yolanda, à minha noiva Anna Luysa e a toda minha família, obrigado por tudo.

“Non timebo mala quoniam tu mecum es.”

AGRADECIMENTOS

Agradecer a Deus acima de tudo, por todas as coisas maravilhosas que me proporcionou nesses últimos dois anos;

Gostaria de agradecer à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro por toda estrutura e apoio que me proporcionou durante esses sete anos em que aqui estive;

Agradecer ao Programa de Pós-graduação da UENF em Produção Vegetal, por toda a oportunidade de aqui obter meu título de mestre, todo o aprendizado que me foi passado e estrutura para trabalhar;

À UENF/FAPERJ pelo apoio financeiro da bolsa e posteriormente a CAPES, que sem eles não conseguiria me manter aqui e terminar meus estudos;

Agradecer aos professores e funcionários por todo apoio e aprendizado passado ao longo dos mesmos 7 anos;

Agradecer aos colegas de laboratório do NEMAC, mas em especial aos meus amigos Waldinei Souza, Samara Medeiros, Diego Corona, Laura Salomão, Isabella Oliveira, por toda a ajuda e boas risadas;

Agradecer a todos os meus amigos, Silézio Ferreira, Diego Furlan, Raphael Lopes, Paulo Cesar, Carlos Edwardo, Lucas Tropeço, João Oliveira, Beatriz Barcelos e todos os outros que posso estar me esquecendo no momento mas levo sempre comigo;

Agradecer ao grupo do Pré-vestibular Social Teorema, aos coordenadores, colegas, professores e em especial aos meus alunos por essa experiência maravilhosa;

Agradecer ao meu orientador Silvio de Jesus Freitas por todos os ensinamentos passados ao longo desses seis anos de laboratório e amizade;

Agradecer aos técnicos de laboratório “Detony” e “Sr. Acássio” por toda a ajuda durante a realização do experimento e análises;

Agradecer ao Anderson Percilhos, sempre disposto a nos ajudar com a parceria do “Viveiro Eco-mudas”;

Agradecer à minha família, meu pai Paulo, meu irmão “Pipito”, minhas irmãs Tatiana e Maria Lya, meu sobrinho Pietro;

Agradecer à minha mãe Sandra mais uma vez em especial, pois sem seu apoio financeiro e conselhos eu não chegaria a alcançar voos tão grandes;

Mais uma vez agradecer à minha noiva Anna por todo suporte e carinho que me deu, toda a ajuda quando eu precisei, todos os conselhos, todas as boas risadas nos dias bons e me afastando da tristeza nos dias ruins. Valeu “Nini”;

Agradecer à minha avó Yolanda, deixo meu agradecimento em forma de saudade, onde quer que a senhora esteja “yoyo”, você sempre será lembrada;

E agradecer principalmente ao meu filho Rafael, por ter me ensinado o que significa lutar por algo mais forte do que nós, por ter me dado a chance de ser um pouco melhor como pessoa, me fazer ter orgulho de mim e principalmente de “nós”.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Importância da cultura do café arábica	5
2.2 Produção de mudas de café	7
2.3 Benefício do silício na agricultura	10
2.4 O uso do silício na cafeicultura.	12
2.5 Importância do potássio na cafeicultura.....	15
3 OBJETIVO	4
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1 Local do experimento.....	17
4.2 Delineamento experimental	17
4.2 Recipiente utilizado na produção das mudas.....	18
4.3 Substratos utilizados e formulação das misturas	22
4.4 Obtenção das mudas de <i>Coffea arabica</i> L.....	18
4.6 Tratos culturais	22

4.7	Coleta de dados biométricos.....	23
4.8	Avaliações fisiológicas	24
4.9	Análise nutricional.....	26
4.10	Análise estatística.....	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
5.1	Avaliações biométricas	29
5.2	Avaliações fisiológicas	33
5.3	Avaliações nutricionais.....	37
6	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

RESUMO

CAVALCANTI FILHO, PAULO. F.M, M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2017. SILICATO DE POTÁSSIO NA ACLIMATAÇÃO DE MUDAS DE *Coffea arabica* L. Orientador: Silvio de Jesus Freitas

A aclimatação das mudas é um processo que demora cerca de 30 dias e demanda muitos recursos e mão de obra. Esse fato aumenta o tempo de permanência das mudas no viveiro e eleva o custo de produção. Acredita-se que o silício e o potássio podem reduzir a necessidade de aclimatação, uma vez que apresentam potencial de aumentar a rusticidade e a tolerância das mudas à insolação, antes delas serem levadas ao campo. Objetivou-se com o trabalho avaliar o efeito da aplicação de adubo a base de silício e potássio, no processo de aclimatação de mudas de café arábica. O experimento foi instalado em blocos casualizados, com os tratamentos dispostos no esquema de parcelas subdivididas, com 15 repetições. As parcelas referem-se a duas formas de aclimatação (sombreamento e pleno sol), e as subparcelas a duas condições de nutrição (presença e ausência de silicato de potássio - K_2SiO_3). Avaliaram-se os parâmetros biométricos, fisiológicos e nutricionais das plantas. As médias dos resultados foram submetidas à análise de variância e comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Observou-se interação significativa entre a aclimatação e aplicação de K_2SiO_3 apenas nas variáveis índice SPAD e teor de potássio nas folhas, em que o índice SPAD foi maior quando aplicou-se K_2SiO_3 em ambos os métodos de aclimatação; e o K_2SiO_3 proporcionou maior teor de potássio nas mudas de sombra. Nas variáveis

biométricas, observou-se incremento na matéria fresca e seca da parte aérea quando se utilizou o K_2SiO_3 . Em relação à fisiologia, ocorreu efeito positivo em relação à aclimação das mudas em todos os parâmetros avaliados; enquanto que o K_2SiO_3 aumentou apenas o teor de clorofila nas folhas. O K_2SiO_3 atua indiretamente na proteção das mudas aumentando a tolerância contra insolação, e pode auxiliar na aclimação das mudas.

ABSTRACT

CAVALCANTI FILHO, PAULO. F.M, M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March 2017. POTASSIUM SILICATE IN HARDENING OF SEEDLINGS OF *Coffea arabica* L. Advisor: Silvio de Jesus Freitas

One of the most relevant aspects to meet the market demand is the cost of production, the production of quality seedlings is one of the most relevant factors in this area. When propagated in commercial nurseries, the coffee arabica seedlings undergo a gradual acclimatization process, which takes about 20 to 30 days, and when done correctly, facilitates the setting and glue of the seedlings in the field. Another way to propagate coffee arabica seedlings would be in nurseries in full sunlight, where one of the advantages would be the lower occurrence of diseases, but this process has limitations on the climate and time of year. Silicon is a micronutrient that accumulates in the leaves' parenchyma cells, and this reduces the restriction of photosynthesis in a water deficit condition. This is caused by the maintenance of the less closed stomata and the maintenance of the instantaneous carboxylation efficiency. The objective of this work was to evaluate the effect of the application of potassium silicate in the acclimatization process of arabica coffee plants. The experiment was carried out in a randomized complete block design, consisting of 2 plots (with and without acclimatization) and 2 subplots (with silicon and without silicon), resulting in a 2x2 factor with 12 blocks and the following treatments: T1- Acclimation with KSi; T2- Acclimation without KSi; T3- Full sun with KSi; T4 - Full sunlight without KSi. The evaluated variables were biometric,

physiological and nutritional of the plants. The means of the results were submitted to analysis of variance and compared by the Tukey test at 5% of probability. The treatments with potassium silicate increased the fresh mass and dry mass of the seedlings and the SPAD index. The acclimatization of the seedlings obtained a significant result in all evaluated parameters (Anthocyanins, Flavonoids, Nitrogen Balance and Chlorophyll content). It was observed that potassium silicate did not replace physiologically the acclimatization of seedlings.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil neste ano de 2017 é o maior produtor e exportador mundial, além de ser o segundo maior consumidor de café do mundo. A estimativa da área total plantada no país com a cultura de café (arábica e conilon) no ano de 2017 é de 43,65 milhões a 47,50 milhões de sacas beneficiadas de café. A área total utilizada deve ser de 2,228 milhões hectares, dos quais 331,8 mil hectares (15%) se encontram em formação e 1,896 milhões de hectares (85%) em produção. A produção de arábica deve se situar entre 35.013,1 e 37.881,7 mil sacas. Este ano é de bienalidade negativa na maior parte dos estados produtores o que, conseqüentemente, resulta numa produtividade média menor do que no de 2016 e maior área a ser manejada (Conab,2017). No ano de 2017 o estado do Rio de Janeiro possui uma área de produção de apenas 13.062 hectares de café, com sua totalidade de produção de espécies do tipo arábica, com produção estimada para esse ano entre 340,3 e 357,7 mil sacas de café beneficiado (Conab, 2017).

A produção de mudas em viveiro de café é feita, geralmente, de forma sombreada, mas alguns viveiros adotam também a produção de mudas em pleno sol. Há uma certa dificuldade na manutenção da umidade das mudas a pleno sol, sendo a irrigação, por sua vez, mais necessária e usada nesse tipo de formação de mudas. Isso limita seu uso em propriedades onde o uso da água é mais restrito, por outro lado, essa técnica traz economia e facilidade na construção do viveiro, viabilizando o processo àqueles produtores que não formam muda todos os anos, como os viveiristas profissionais (Paiva et al., 2001). Dentre as vantagens desse

sistema pode se destacar também a menor ocorrência de doenças nesse sistema (Paiva et al., 2003).

Paiva *et al.* (2001) observaram que a condição de luminosidade de 50% de sombreamento favorece o desenvolvimento das mudas de cafeeiro, visto que nela foram encontrados valores maiores de altura, número de pares de folha e área foliar. Sabe-se que o cafeeiro é uma planta C3, ou seja, é uma planta de ambiente sombreado, que possui adaptações fisiológicas e morfológicas para esse tipo de ambiente. Mas é também uma espécie que se adaptou bem às condições de pleno sol, justificando, assim, um estudo de seu crescimento na fase de muda (Tatagiba et al., 2011).

Quando feitas sob condição de sombra, as mudas necessitam de um processo de aclimatação gradual às condições de campo, o que quando é feito de maneira correta, facilita a ambientação e o pegamento das mudas. A aclimatação das mudas é um processo que demora cerca de 30 dias e demanda recursos e mão-de-obra. O custo de produção de mudas de café é um dos maiores problemas encontrados pelos viveiristas, devido à mão-de-obra no campo estar cada vez mais escassa, o custo com mão-de-obra tem se elevado bastante e seu uso mais restrito. Os processos de aclimatação de mudas e construção de viveiros demandam mão-de-obra específica e pontual (Matiello et al., 2005).

A aclimatação nada mais é que o aumento da tolerância da planta ao estresse, uma vez que se expõe a muda previamente em condições subótimas ou supra-ótimas. Desta forma o processo estaria mais relacionado à plasticidade fisiológica das plantas, do que as suas características morfológicas, uma vez que ao colocarmos plantas de sombra no sol, elas apresentam uma taxa maior de crescimento, este devido a uma taxa fotossintética maior (Azevedo, 2009).

A aclimatação ao estresse hídrico pode levar a respostas envolvendo a expressão de genes e a modificações fisiológicas e morfológicas das plantas, surgindo de dias a semanas, o que leva a uma compensação homeostática para os efeitos negativos iniciais do estresse hídrico na fotossíntese (Flexas et al., 2009).

O silício (Si) é um elemento que vem sendo recentemente estudado na agricultura brasileira como um elemento benéfico para as plantas. No Brasil, o Si foi incluído recentemente na legislação para produção e comercialização de fertilizantes e corretivos, como micronutriente benéfico para as plantas. Uma vez absorvido, o nutriente se acumula nas paredes da epiderme das folhas,

acreditando-se contribuir para o fortalecimento da estrutura da planta (Rodrigues et al., 2011).

No café, o Si vem sendo estudado principalmente quanto à proteção da planta a ataque de patógenos (Martinati (2008), Pereira et al. (2009), Pozza et al. (2004)). Outros autores como Ribeiro et al., (2009) estudaram a hipótese de que cafeeiros submetidos à adubação silicatada apresentariam menor restrição das trocas gasosas em condição de déficit hídrico, o que ocasionaria maior fotossíntese em condição ambiental limitante, devido ao impedindo da transpiração excessiva com o acúmulo de sílica na epiderme das folhas. Nos resultados obtidos, as plantas submetidas à adubação silicatada apresentaram menor restrição da fotossíntese em condição de déficit hídrico, sendo esse fato ocasionado pela manutenção dos estômatos menos fechados, diminuindo a restrição a fotossíntese nas plantas. Concluindo que quanto maior for a disponibilidade de Si no solo, menor é o efeito do déficit hídrico na fotossíntese e na transpiração das plantas de cafeeiro.

Então, a busca por mudas de qualidade tem interferência direta na melhor adaptação da planta às condições de campo e fitossanidade. Acredita-se, assim, que o uso de fertilizante silicatado em mudas de café, em sua fase anterior a fase de aclimatização, possa contribuir para uma melhor aclimatação, ajudando dessa maneira, na economia de recursos e mão-de-obra dos viveiristas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Objetiva-se avaliar, com esse trabalho, a influência do Silicato de Potássio na aclimação de mudas de café arábica cultivar “Catuaí vermelho IAC 99”, através de avaliações biométricas, fisiológicas e nutricionais.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar os efeitos do fertilizante à base de silicato de potássio nas variáveis biométricas das mudas como: altura, diâmetro, número de folhas, massa seca e massa fresca.

Avaliar os efeitos do fertilizante à base de silicato de potássio nas variáveis fisiológicas da planta, medidas pelos medidores de clorofila modelo SPAD e do Fluorômetro Multiplex.

Avaliar os efeitos do fertilizante à base de silicato de potássio nas variáveis nutricionais da planta, avaliando NPK e o Si.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância da cultura do Café arábica

Não havendo uma evidência real sobre a sua descoberta, a origem do café é cercada de lendas e relatos antigos sobre sua possível origem. Uma das mais aceitas e divulgadas é a do pastor Kaldi, que viveu na Absínia, hoje Etiópia, há cerca de mil anos. Ela conta que Kaldi, observando suas cabras, notou que elas ficavam alegres e saltitantes e que esta energia extra se evidenciava sempre que mastigavam os frutos de coloração amarelo-avermelhada dos arbustos existentes em alguns campos de pastoreio (ABIC, 2017).

O café é originário das terras altas da Etiópia (possivelmente com culturas no Sudão e Quênia) e difundiu-se para o mundo através do Egito e da Europa. Mas, ao contrário do que se acredita, a palavra "café" não é originária de Kaffa, local de origem da planta, e sim da palavra árabe *qahwa*, que significa "vinho", devido à importância que a planta passou a ter para o mundo árabe (ABIC, 2017).

As plantas do gênero *Coffea* são representadas por cerca de pouco mais de 100 espécies, cada uma com suas características próprias. Dentre estas espécies, as de maior importância econômica atualmente são as espécies *C. arábica* e *C. canéfora*. Embora outras espécies tenham importância valiosa como reserva de genes, utilizados constantemente no melhoramento genético, não apresentam relevância econômica que justifique uma quantidade maior de trabalho com elas (Davis et al., 2006)

A chegada do café ao Brasil, assim como sua origem no mundo, também é cercada de lendas extravagantes. O único ponto em comum entre essas lendas seria o introdutor da cultura no país, Francisco de Melo Palheta, como autor do feito de introduzir as primeiras sementes no Pará, no ano de 1727. Essa representação ganhou força, sobretudo, com a consagração histórica de Francisco de Melo Palheta a partir de 1927, quando do bicentenário da introdução do café no Brasil (Martins, 2012).

O Brasil está sendo neste ano de 2017 o maior produtor e exportador mundial de café, e segundo maior consumidor de café do mundo. A estimativa da área total plantada no país com a cultura de café (arábica e conilon), no ano de 2017 é de 43,65 e 47,50 milhões de sacas beneficiadas de café. A área total utilizada com a cultura deve ser de 2,228 milhões de hectares, dos quais 331,8 mil hectares (15%) encontram-se em formação e 1,896 milhões hectares (85%) em produção. A produção de arábica deve se situar entre 35,013 e 37,881 milhões de sacas. Este ano é de bialidade negativa na maior parte dos estados produtores, o que, conseqüentemente, resulta numa produtividade média menor do que o ano anterior e maior área a ser manejada (CONAB, 2017).

A área plantada do café arábica no país soma 1,78 milhões de hectares, o que corresponde a 79,9% da área existente com lavouras de café. Para a safra de 2017, estima-se crescimento de 1% (17,16 mil hectares). Minas Gerais concentra a maior área com a espécie, 1,20 milhões de hectares, correspondendo a 67,8% da área ocupada com café arábica. Para a safra 2017, estima-se que a produtividade se situe entre 23,02 e 25,05 sacas por hectare, equivalendo a uma redução de 12,6% a 4,9% em relação à safra de 2016. A redução deve ocorrer em quase todas as principais regiões produtoras devido à bialidade da cultura (CONAB, 2017).

A distribuição geográfica do café no país é muito variada, sendo encontrada em mais de 1900 municípios produtores, que se dividem por 15 estados produtores: Acre, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia e São Paulo. Devido à sua proporção continental, o país possui grande diversidade de climas, relevos, altitudes e latitudes, o que acaba permitindo uma produção de diversas variedades, tipos e qualidades de café (Brasil, 2017a).

Conhecida mundialmente por produzir cafés com qualidade superior, finos e requintados, a espécie *C. arabica* tem por características possuir um aroma intenso, além de diversos sabores e inúmeras variações de corpo e acidez. Originária da Etiópia, a espécie *C. arabica* é adaptada a grandes altitudes e clima ameno entre 15 a 22°C, necessitando de pluviosidade entre 1.500 a 2.000 mm, e não resistente a temperaturas abaixo de 0°C (não tolerando geada). E seus grãos apresentam valores de cafeína em torno de 1 a 1,17% (CEPLAC, 2017).

No início do ano de 2017 estão registradas 131 cultivares de *C. arábica* no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA (2017) no Registro Nacional de Cultivares – RNC. Estas apresentam diversos fatores de interesse agrônômico, como elevada produtividade, boa qualidade da bebida e aceitação no mercado, adaptabilidade às condições edafoclimáticas como seca e altitude, além de resistência a doenças em geral (Brasil, 2017b). A importância dessas características se dá não apenas na adaptabilidade das cultivares às regiões produtoras, como também podem proporcionar um aumento da área plantada, que vem sofrendo decréscimo e pode estar inserindo em novas regiões a implantação da cultura.

De acordo com Guerreiro Filho et al. (2006), a cultivar Catuaí Vermelho é resultante do cruzamento artificial de cafeeiros selecionados de ‘Caturra Amarelo’, de porte baixo, e ‘Mundo Novo’. A planta é bastante rústica e produtiva, geralmente cultivada a livre crescimento. A cultivar Catuaí Vermelho possui porte baixo, internódios curtos, ramificação secundária abundante, frutos vermelhos de maturação média a tardia, sementes de tamanho médio, peneira média 16, suscetível à ferrugem e ótima qualidade de bebida. Indicada também para plantios adensados e ou em renque, sendo uma das cultivares mais plantadas no Brasil.

3.2 Produção de mudas de café

A produção de mudas em viveiro de café é feita geralmente de forma sombreada, mas alguns viveiros adotam também a produção de mudas de café em pleno sol. Observa-se uma certa dificuldade na manutenção da umidade das mudas produzidas a pleno sol, sendo a irrigação, por sua vez, mais necessária e usada nesse tipo de formação de mudas. Isso restringe seu uso em propriedades onde a água é mais escassa, mas, por outro lado, essa técnica traz economia na

construção do viveiro e torna sua construção mais fácil de se implantar, viabilizando o processo àqueles produtores que não formam muda todos os anos, como os viveiristas profissionais (Paiva et al., 2001). Dentre as vantagens desse sistema pode se destacar também a menor ocorrência de doenças (Paiva et al., 2003).

No processo de produção de mudas sombreadas, as mudas passam por um processo de aclimatação gradual antes de serem levadas para o plantio. A aclimatação é o processo de adaptação das mudas que foram desenvolvidas em ambiente úmido e protegidas para as condições de campo. Nos viveiros de produção de mudas de café recomenda-se 50% de sombra até o 3º par de folhas. Posteriormente as mudas são levadas para aclimatação, que é feita de forma gradativa, tendo como ideal a completa adaptação de plantas em pleno sol. Tal adaptação é recomendada com duração de no mínimo 20 dias. A irrigação também é compensada, devido ao aumento da transpiração das folhas, ação do vento e temperaturas mais elevadas. Quando é feita de maneira correta, facilita a ambientação e o pegamento das mudas e seu plantio no campo (Matiello et al., 2005).

De acordo com Taiz et al. (2006), a aclimatação nada mais é que o aumento da tolerância da planta ao estresse, uma vez que se expõe a muda previamente em condições sub-ótimas ou supra-ótimas. Desta forma, o processo estaria mais relacionado à plasticidade fisiológica das plantas do que às suas características morfológicas, uma vez que, ao colocarmos plantas de sombra no sol, elas apresentam uma taxa maior de crescimento, isto devido a uma taxa fotossintética maior (Azevedo, 2009).

Sobre o ponto da adaptação das plantas ao meio, a aclimatação das mudas provoca uma série de mudanças estruturais, mudanças estas que podem ser morfológicas, fisiológicas e anatômicas. Plantas que são cultivadas sob condições adequadas de suprimento hídrico, por exemplo, normalmente são menos resistentes ao déficit hídrico e quando ocorre déficit hídrico, os mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados e a planta necessita adaptar-se de forma rápida. Já em plantas submetidas ao déficit gradual ou a deficiência de água no solo no início do seu ciclo, tal adaptação ocorre de forma mais rápida (Teixeira, 2012).

A aclimatação ao estresse hídrico pode levar a respostas envolvendo a expressão de genes e a modificações fisiológicas e morfológicas das plantas,

surgindo de dias a semanas, o que leva a uma compensação homeostática para os efeitos negativos iniciais do estresse hídrico na fotossíntese (Flexas et al., 2009).

A aclimação das mudas às condições de campo pode levar a duas respostas nas plantas, uma resposta negativa ou uma resposta positiva. Na resposta negativa há uma rustificação em excesso das plantas que, conseqüentemente, leva ao fechamento dos estômatos das mudas, levando assim estas mudas a atingir diferentes graus de dormência antes de ir para o campo. Nesse caso, a muda obtém pouca capacidade de crescimento no campo, porém, ainda assim, apresentaria uma boa taxa de “pegamento”. Isso acaba sendo indesejável, uma vez que a taxa de crescimento inicial deve ser a maior possível, principalmente para regiões onde o período de chuva é curto e intenso. E a positiva seria quando a rustificação é feita dentro dos padrões adequados à espécie, ocorrendo, dessa forma, maior acúmulo de carbono nas raízes em relação à parte aérea, além da regulação osmótica. Estes fatos irão resultar em um melhor pegamento dessas mudas e um crescimento inicial mais rápido (Davide e Silva, 2008).

Alguns estudos demonstram, então, que as plantas de outras espécies são capazes de aclimatar e até mesmo exibir, dessa forma, respostas mais rápidas e em maior magnitude, quando são submetidas a eventos recorrentes de estresse (Bruce et al., 2007). Desse modo, justificando assim a rustificação de mudas, uma vez que as mudas podem posteriormente assumir algum tipo de memória chamada de “memória do estresse”. E essa memória por sua vez facilitaria de forma a potencializar as respostas de defesa quando essa planta for novamente submetida àquele mesmo agente agressor (Iwasaki e Paszkowski, 2014).

Além da disponibilidade de água, a temperatura e a luz são agentes importantes nessa aclimação e, frequentemente, correlacionadas entre si. A aclimação ao estresse hídrico, segundo Valladares e Pearcy (1997), aumenta a resistência do fotossistema II à alta temperatura, que está comumente associada ao estresse hídrico. Também pode ser observado que o aumento da frequência estomática em folhas expostas à elevada luminosidade pode ser um mecanismo importante de adaptação a condições mais áridas, assim como altas temperaturas podem levar ao fechamento dos estômatos (Wiebel et al., 1994).

Um dos parâmetros para avaliar a resistência do aparato fotossintético da planta em condições de estresse é a fluorescência da clorofila a. Segundo Muller

et al. (2001), a fluorescência da clorofila a é a reemissão de fótons em um comprimento de onda maior que aquele que incidiu na folha, podendo dissipar entre 1 a 3% da energia recebida pela planta. Desta forma, medindo-se a fluorescência da clorofila, pode-se obter informações acerca de mudanças na eficiência fotoquímica e dissipação de calor. O estresse provocado na planta pela luz é frequente sob condições tropicais, e a concentração de clorofilas e carotenoides são indicadores da suscetibilidade da planta à intensidade da luz (Vieira, 1996; Azevedo, 2009).

As clorofilas tendem a ser foto-oxidadas sob alta irradiação e, devido aos carotenoides poderem prevenir a foto-oxidação das clorofilas, a relação entre as clorofilas e carotenoides pode ser usada como um indicador potencial de perdas foto-oxidativas causadas por fortes irradiações (Streit et al., 2005). As folhas alteram sua morfologia e composição, adaptativamente, respondendo à luz do meio. O excesso de luz pode inibir a fotossíntese através de dois processos: fotoinibição e foto-oxidação. A fotoinibição envolve danos aos centros de reação, especialmente FSII (fotossistema II), quando eles são superexcitados. A foto-oxidação é um processo irreversível e envolve diretamente os pigmentos receptores de luz, os quais, ao absorverem muita luz, ficam muito tempo excitados e interagem com o O₂ produzindo radicais livres, como superóxido (O²⁻), podendo destruir os pigmentos. (Taiz et al., 2006).

3.3 Benefício do Silício na Agricultura

O Si tem sido utilizado na agricultura em diversos países do mundo há várias décadas, dentre os quais pode-se destacar o Japão, onde o Si tem relativa importância na cultura do arroz onde o nutriente é utilizado há no mínimo seis décadas. No Brasil, o Si foi incluído recentemente na legislação para produção e comercialização de fertilizantes e corretivos como micronutriente (concentração abaixo de 100 mg/Kg de massa seca), benéfico para as plantas (Rodrigues et al., 2011).

O Si não é um elemento essencial para as plantas, pois não atende os critérios de essencialidade estabelecidos por Arnon e Stout (1939), onde um elemento é essencial quando sua ausência impede uma planta de completar seu ciclo de vida. Um elemento essencial é aquele que tem um papel fisiológico definido na planta, desta forma, classificando o Si como elemento benéfico às plantas (Epstein, 1999).

Plantas modelo de *Arabidopsis* submetidas somente ao tratamento com Si e não submetidas a nenhum tipo de estresse, seja este biótico ou abiótico, apresentaram a superexpressão de apenas 2 genes de 40.000 genes analisados (Fauteux et al., 2006). Desta forma, foi demonstrado que o Si não exerce função metabólica, nem de crescimento ou de desenvolvimento das plantas, quando as mesmas não estão sob uma situação de estresse, isso, segundo alguns autores mostram que o elemento não pode ser considerado essencial ao crescimento das plantas.

A forma de absorção do Si pelas plantas é na forma neutra por meio do ácido monossilícico (H_4SiO_4). Esta absorção pode ser feita através das raízes por transporte ativo ou passivo, por fluxo de massa ou difusão. Uma vez absorvido, o nutriente se acumula nas paredes da epiderme das folhas, acreditando-se contribuir para o fortalecimento da estrutura da planta (Rodrigues et al., 2011).

Dentro da planta, a distribuição do Si não é uniforme em suas diferentes partes. Muito do Si encontrado nas plantas é polimerizado como $SiO_2 \cdot nH_2O$ (Sílica hidratada) e pode ser encontrado na parede celular, lúmen das células, espaços intercelulares (Sangster et al., 2001). De acordo com Martinati (2008), o Si tem uma tendência a se acumular em tecidos responsáveis pelas perdas de água da planta, por conta do transporte desse elemento na forma passiva.

As plantas podem ser classificadas de acordo com a proporção do elemento Si com o peso seco da planta, elas seriam caracterizadas como em geral, são consideradas plantas acumuladoras de silício, aquelas que possuem teor foliar acima de 1%, e não acumuladoras de plantas com teor de silício menor que 0,5% (Ma et al., 2001). Dentre as plantas acumuladoras de silício estão as gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, milho, etc.) Entretanto, o cafeeiro não é uma planta acumuladora de Si, como o são as gramíneas (CAFÉ, 2017).

O benefício do Si em outras culturas tem sido bastante estudado, como no caso do arroz, onde Ma e Takahashi (2002) observaram que plantas crescendo em solução nutritiva com ausência total de Si apresentavam algumas alterações de redução da área foliar, a murcha de folhas decorrente do aumento da taxa de transpiração, a diminuição da biomassa e da produção de grãos. Estes sintomas aparecem nos estágios iniciais da cultura e se intensificam na fase reprodutiva e na formação dos cachos.

Na cultura do arroz, Faria (2000) observou que a produção de grãos do arroz sequeiro cresceu de forma positiva com o aumento das doses de Si aplicadas, independentemente do tipo de solo, havendo um aumento linear da produção. Esse comportamento linear sugere que a produção de grãos poderia ter sido ainda maior, caso fossem utilizadas doses de Si superiores a 600 kg ha⁻¹.

Tais benefícios também foram observados em plantas não acumuladoras de silício, Miyake e Takahashi (1985) observaram formação deficiente de folhas novas e reduzida fertilidade do grão de pólen em plantas de soja cultivadas em solução nutritiva na ausência de Si.

Solos com altos teores de alumínio também são um problema para a agricultura, alguns trabalhos mostram que sob determinadas condições o Si pode minimizar a toxicidade por alumínio. Wiese et al. (2007) observaram que a aplicação de silicatos, por exemplo, pode aumentar a resistência das plantas ao excesso de alumínio. Também foi observado por Shi et al. (2005) que na presença de Si, os níveis de Cádmio decresceram na raiz e na parte aérea.

O Si também promove resistência das plantas a condições de estresse salino. Segundo Zuccarini (2008), o Si ajuda a manter a integridade e a estabilidade da membrana. Uma vez que sobre tais condições de salinidade a integridade da parede celular seria garantida pela capacidade do Si de estimular tais sistemas antioxidantes, assim a aplicação de Si diminuiu as concentrações de H₂O₂, e peroxidação de lipídeos, bem como garantindo a ativação de enzimas responsáveis pela integridade da parede celular.

3.4 O uso do silício na cafeicultura.

Poucos são os trabalhos encontrados que relatam os benefícios do silício na cafeicultura. Grande parte das pesquisas realizadas em café tomam por referência seu efeito nas plantas, como um agente indutor de resistência a estresses bióticos, ou para uma melhor arquitetura, reduzindo o autossombreamento e uma menor transpiração devido à sua aplicação serem benéficas ao cafeeiro. Entretanto, o cafeeiro não é uma planta acumuladora de Si, como são as gramíneas, e esses efeitos ainda não foram comprovados cientificamente, ou seja, não há ainda um número de trabalhos suficiente para se formatar uma conclusão inequívoca (CAFÉ, 2017).

Martinati (2008) observou compostos contendo Si na redução dos sintomas da ferrugem causada pelo fungo biotrófico *Hemileia vastatrix* em plantas de cafeeiros suscetíveis, bem como avaliar os parâmetros bioquímicos envolvidos nos processos de resistência. Não obtiveram diferença significativa nos parâmetros de desenvolvimento como altura das plantas, área foliar e número de folhas para nenhuma das fontes e doses analisadas. Porém, observaram que a atividade das enzimas catalase, superóxido desmutase, ascorbato peroxidase foi maior em plantas tratadas, indicando que o Si parece estimular uma resposta mais rápida ao estresse oxidativo e enzimas de defesa (glucanase, quitinase e PAL). Concluindo que o Si estimula uma resposta de defesa mais rápida em plantas de café suscetíveis à ferrugem quando inoculadas com o fungo patogênico.

Pereira et al. (2009) avaliaram o efeito da aplicação foliar do Si na redução da severidade da ferrugem e na possível potencialização da atividade de seis enzimas relacionadas com a resistência de plantas à patógenos. Os resultados indicaram que a aplicação foliar de KSi, embora tenha contribuído para reduzir a severidade da ferrugem, não potencializou a atividade das enzimas de defesa avaliadas. De acordo com os autores o silicato polimerizado sobre a superfície das folhas de café afeta, de certa forma, o processo infeccioso de *H. vastatrix* devido ao aumento no potencial osmótico ou formando placas de silicato, após polimerização, sobre os estômatos, local de entrada do patógeno, já que o teor foliar de Si não aumentou após a aplicação de KSi.

Pozza et al. (2004) observaram efeitos benéficos da aplicação de silício no controle da cercospora, onde foi avaliado o efeito da aplicação de silício (1 g de CaSiO_3 incorporada em 1 kg do substrato) em três variedades de cafeeiro (catuaí, mundo novo e icatu), as plantas da variedade catuaí tiveram redução de 63,2% nas folhas lesionadas e de 43% no total de lesões por planta, em relação à testemunha.

Santa-Cecília et al. (2014) estudaram o comportamento alimentar da cochonilha branca *Planococcus citri* (Pseudococcidae) em plantas de café arábica submetidas à aplicação de silicato de cálcio (CaSiO_3) incorporado ao solo. Verificaram que não houve alteração no comportamento alimentar da cochonilha. Foi observado que as cochonilhas atingiram o floema da planta em tempo semelhante em plantas com e sem silicato de cálcio, mostrando assim ausência de barreira mecânica por efeito da aplicação do Si.

Os resultados encontrados por Neto et al. (2009) também não mostraram efeitos significativos dos tratamentos à base de duas fontes de silício (Agrosilício e Miex) na incidência e severidade do bicho mineiro e da ferrugem em plantas de café arábica cultivar Mundo Novo 376/4. Os parâmetros anatômicos associados ao limbo foliar não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos, mostrando que não houve incremento da barreira mecânica da cutícula, que poderia impôr resistência a pragas e doenças.

Roldi et al. (2015) avaliaram os possíveis efeitos benéficos da aplicação de Si em lavouras de café arábica infestadas por nematoide *Meloidogyne paranaenses*. Foi observado que as fontes de silicato foram eficientes na redução do nematoide, contudo, acarretaram efeitos não benéficos ao crescimento da planta, principalmente em relação à parte aérea, citando que ainda são necessários estudos posteriores para elucidar as relações bioquímicas e moleculares. Contudo, em função dos resultados obtidos, sugere-se que a aplicação de silício constitui uma importante ferramenta para o manejo desse nematoide em lavouras de café infestadas.

Pereira et al. (2007) trabalharam com o silicato de cálcio em substituição ao calcário tradicional. Eles observaram as plantas por 18 meses e constataram que a aplicação de silicato de cálcio ou a substituição por 25% do calcário pelo silicato de cálcio foi benéfico à planta para qualquer regime hídrico, principalmente a seca, uma vez que as plantas que receberam silicato apresentaram menor potencial hídrico do que as que receberam apenas calcário.

Ribeiro et al. (2009) testaram a hipótese de que cafeeiros submetidos à adubação silicatada apresentariam menor restrição das trocas gasosas em condição de déficit hídrico, devido ao impedindo a transpiração excessiva com o acúmulo de sílica na epiderme das folhas ou o fechamento estomático afetado pela presença de Si, o que resultaria em maior fotossíntese em condição ambiental limitante. Os resultados obtidos comprovaram que sob estresse hídrico, as plantas que receberam adubação silicatada tiveram seus estômatos menos fechados, que diminuíram a restrição a fotossíntese nas plantas. Concluíram assim, que quanto maior a disponibilidade de Si nas plantas, menor o efeito do déficit hídrico na fotossíntese e respiração das plantas de café.

Viana et al. (2013) avaliaram as características fisiológicas de plantas de café conilon, cultivadas em solo corrigido com silicato de cálcio e calcário, sob diferentes

níveis de déficit hídrico no solo. Foram observados resultados significativos quanto à indução de tolerância a partir de corretivo a base de Si.

Ferreira et al. (2015) avaliaram os efeitos das doses de silicato de cálcio e calcário sobre os parâmetros morfológicos (área foliar; diâmetro médio do caule; altura média; massa seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular) de mudas de café arábica. Os autores constataram que nenhum dos tratamentos diferiu entre si, não constatando alterações morfológicas causadas pelos tratamentos à base de silicato.

2.5 Importância do Potássio na cafeicultura

O potássio (K) é um elemento de grande importância na cafeicultura, sendo sua necessidade regulada de acordo com o estágio fisiológico da planta, aumentando no decorrer dela. O potássio tem um papel importante na síntese de proteínas, regulador do potencial osmótico das células e também como ativador de várias enzimas envolvidas nos processos de respiração e fotossíntese (Taiz et al., 2006; Marschner, 2011).

A exigência do cafeeiro por esse nutriente aumenta com a idade, sendo ela mais intensa durante a fase de produção, sendo este o terceiro nutriente mais acumulado pela planta com um percentual de 20% do total de macronutrientes distribuídos na planta (Bragança, 2005).

No processo de regulação de abertura e fechamento dos estômatos o potássio atua de forma direta, por isso o próprio funcionamento dos estômatos depende do suprimento adequado do nutriente. O nutriente atua diretamente nas células-guarda, movendo-se para dentro, das quais acumulam água e intumescem. Tal reação causa a abertura dos estômatos, permitindo o movimento livre de gases dentro e fora da célula. Quando o suprimento de água é baixo, eles são bombeados para fora das células-guarda e desta forma os estômatos se fecham e a perda de água é evitada. Se o suprimento desse nutriente for inadequado, pode alterar diretamente o processo causando lentidão nos estômatos que demoram a responder, podendo ocorrer a perda do vapor d'água (Taiz *et al.*, 2006).

O K exerce ainda função no transporte de água e nutriente pelo xilema, em diversas partes da planta. Desta forma, quando ocorre diminuição do potássio na planta, a translocação de nutrientes como fósforo, nitrato, cálcio, magnésio e aminoácidos acaba diminuindo. Por não ser o único responsável exclusivamente

por esse processo, estando esse ligado a enzimas específicas e a hormônios de crescimento da planta e, em ambos os sistemas de transporte, um suprimento maior de potássio é essencial a planta (Nogueira et al., 2001).

Doses de potássio acima do recomendado podem causar redução da fotossíntese líquida e menor crescimento das plantas, além de redução na condutância estomática e na transpiração das mudas de café jovens (De Andrade, 2011).

Outro benefício do potássio seria no balanço nutricional e redução da severidade de doenças no cafeeiro. Aumentando as doses de K, verificou-se redução de forma quadrática da severidade da doença Phoma do cafeeiro, até a dose de 7 mmol/L de K, quando então ocorreu o aumento da severidade da doença. Para a cercosporiose do cafeeiro, as doses de K (1, 3, 5 e 7 mmol/l), isoladamente, influenciaram a matéria seca total, a área foliar total e a área abaixo da curva de progresso da incidência (Júnior et al., 2003).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do Experimento

O experimento foi conduzido de novembro de 2016 a fevereiro de 2017 em casa de vegetação, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, no município de Campos dos Goytacazes – RJ, situada a 21° 48' de latitude sul, 41° 20' de longitude W. Segundo a classificação climática de Köppem, o clima da região é classificado como Aw, isto é, clima tropical úmido, com verão chuvoso, inverno seco e temperatura do mês mais frio com média superior a 18°C. A temperatura média anual se situa em torno de 24°C, sendo a amplitude térmica muito pequena. A precipitação pluviométrica média anual está em torno de 1.023 mm (Gomes, 1999).

4.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi em parcelas subdivididas dispostas em blocos casualizados. As parcelas eram constituídas pelos tratamentos onde a aclimação se deu de forma gradual (A1) e aclimação a pleno sol (A2). A aclimação das mudas se deu a partir do 4º par de folhas e por período de 30 dias. As mudas que receberam aclimação gradual sofreram exposição gradual a intensidade luminosa, de 50%, 70% e depois a 100% de luminosidade. As mudas que foram aclimatadas a pleno sol, após atingirem o 4º par de folhas, foram colocadas em área descoberta, por período igual de 30 dias.

As subparcelas eram constituídas dos tratamentos com a adição de silicato de potássio (B1) ou sem a adição de silicato de potássio (B2). A aplicação do produto à base de silicato de potássio se deu antes da aclimação das mudas, com aplicações periódicas a cada 15 dias, em um período de 3 meses.

Desta forma, gerando assim um esquema em fatorial 2x2 com 4 tratamentos da seguinte maneira: T1- Com KSi + Aclimação gradual; T2- Sem KSi+ Aclimação gradual; T3- Com KSi + Aclimação a pleno sol; T4- Sem KSi + Aclimação a pleno sol. O experimento foi dividido em 12 blocos, de forma a homogeneizar as parcelas experimentais, totalizando 48 parcelas experimentais, sendo a unidade experimental composta por 3 plantas cultivadas individualmente em cada bloco.

4.3 Obtenção das mudas de *Coffea arabica* L

Foram utilizadas mudas oriundas de sementes de *Coffea arabica* L.cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 obtidas no viveiro comercial certificado “Eco Mudas”, localizado na cidade de Marechal Floriano-ES. As mudas foram obtidas no estágio “orelha de onça” com apenas um par de folhas, e passaram uma semana sendo irrigadas apenas, antes que fosse aplicado o silicato de potássio nos tratamentos, de modo a evitar um estresse excessivo para as mudas (Figura 1).



Figura 1. Mudanças em estágio inicial de desenvolvimento com 2 pares de folha.

4.4 Condução do experimento

Após uma semana de chegada das mudas, iniciou-se a condução do experimento e a aplicação dos tratamentos. A primeira etapa do experimento foi a aplicação do produto à base de silicato de potássio. O produto comercial utilizado foi o Aminoagro Silício Fertilizante Foliar[®] que contém em sua composição Potássio (K_2O solúvel em água) a 210 g/l e Silício (solúvel em água) a 168 g/l (Figura 2). Foi aplicado 10ml do produto, diluído em 400ml de água para todas as plantas dos tratamentos que recebiam a aplicação do silicato de potássio.

As plantas foram separadas em bancada isolada na casa de vegetação, para que fosse evitada a deriva do produto, pois suas aplicações foram feitas via foliar, com pulverizador manual de pressão. As aplicações ocorreram a cada 15 dias, no intervalo de 3 meses, totalizando 6 aplicações do produto ao longo do experimento. As aplicações do produto foram interrompidas quando as mudas atingiram o padrão recomendado para serem aclimatadas (4 pares de folhas) e foram posteriormente encaminhadas para a fase de aclimação.



Figura 2. Produto comercial Aminoagro Silício Fertilizante Foliar[®]

Uma vez que as mudas alcançaram o 4º par de folhas, elas foram encaminhadas para as parcelas (com aclimação e sem aclimação) e divididas em blocos. Na parcela com aclimação o processo ocorreu de forma gradual, com o aumento da iluminação, na proporção de 50%, 30% de sombra, e pleno sol, essa exposição gradual se fez no intervalo de 30 dias. A estrutura onde as mudas permaneceram permitia essa troca do sombrite, que foi realizada a cada 10 dias, aumentando, assim, de forma gradual essa exposição da planta a maior luminosidade, até a retirada da cobertura de forma total.

Nos tratamentos sem aclimação (pleno sol), as mudas foram posicionadas sob parte da casa de vegetação que estava descoberta, ficando assim exposta a luminosidade total, durante todo o período dos 30 dias. As mudas foram também organizadas em blocos como o anterior, garantindo maior homogeneidade entre os tratamentos em cada bloco.

A casa de vegetação estava descoberta, sem plástico ou sombrite na parte superior e possuindo apenas uma tela com sombrite nas laterais, protegendo contra o vento e apenas isolando a casa. Desta forma, o sombrite lateral não influenciava sobre a irradiância de sol que chegava sobre as mudas nos períodos de maior irradiância, devido à localização das bancadas, desta forma não interferindo no processo de aclimação a pleno sol.



Figura 3. Mudas de *Coffea arabica* L sendo aclimatadas, no estágio de 4 pares de folha, sob tela de 50% de luminosidade.



Figura 4. Mudas *Coffea arabica* Laclimatadas a pleno sol, em casa de vegetação descoberta.

4.4 Recipiente utilizado na produção das mudas

No experimento utilizou-se sacolas plásticas de polietileno de 10x20 cm e com capacidade volumétrica de aproximadamente 700ml, as mesmas que são utilizadas no Viveiro Eco Mudas em Marechal Floriano-ES, e que as mudas foram comercializadas. Objetivou-se, com isso, manter as mudas em recipiente utilizado pelos viveiros e com isso diminuir a interferência do recipiente utilizado nos resultados obtidos. As mudas foram distribuídas sobre bancada suspensa e separadas em jardineiras feitas de polietileno com as dimensões 17 cm de altura x 20 cm largura x 40 cm de comprimento. Desta forma, facilitando as aplicações do silicato de potássio nas mudas e as análises biométricas das realizadas no decorrer do experimento.



Figura 05. Jardineira com mudas em sacolas de polietileno.

4.5 Substrato utilizado e formulação das misturas

O substrato utilizado, assim como o recipiente, foi o mesmo utilizado no viveiro, o qual leva na sua composição terra de barranco, adubo orgânico e superfosfato simples. A ideia de utilizar o mesmo substrato é devido ao fato de que o substrato influencia diretamente na qualidade final das mudas, sendo então, mantido o substrato utilizado pelo viveirista.

De acordo com a descrição da formulação utilizada pelo viveiro, foi utilizado para o preenchimento de mil sacolas plásticas de 10x20 cm, com aproximadamente 750ml de volume, 5 metros cúbicos de terra vermelha, (terra de barranco) peneirado. A terra passa por um tipo de peneiragem em uma estrutura simples montada com tela de ponteiros; 1 Saco de 50 kg de adubo Super Simples; 5 Sacos de 25 kg de adubo orgânico seco e peneirado (esterco de galinha).

4.6 Tratos culturais

A irrigação foi feita de forma diária repetida 3 vezes ao dia, durante a etapa de desenvolvimento das mudas na fase de viveiro. A irrigação era automatizada, controlada por *timer* e feita por microaspersores em casa de vegetação, até que a muda atingisse o 4º par de folhas. Posteriormente, na fase de aclimatação foi feita a irrigação com mangueira, 1 vez por dia, de acordo com a necessidade até a saturação do substrato, aumentando-se o intervalo de rega fazendo com que fosse

o suficiente para as mesmas não murcharem (Matiello *et al.*, 2005). Observando que na fase de aclimatação, as irrigações foram feitas da mesma maneira para todos os tratamentos.

4.7 Coleta de dados biométricos

As variáveis biométricas avaliadas no experimento foram: altura das plantas, por meio de régua graduada a partir da base até o meristema apical (Figura 6-A); diâmetro do colo das plantas, por meio de paquímetro digital, na base das mudas rente ao solo (Figura 6-B); o número de folhas foi contado manualmente. De forma a se manter um padrão, o mesmo avaliador foi o responsável por todas as medições, da mesma variável ao longo do experimento.



Figura 6. Coleta dos dados biométricos; A- Altura de Plantas e B- Diâmetro do colo.

A massa fresca da parte aérea foi pesada em balança digital analítica logo após a coleta das plantas, excluindo-se assim as raízes. A massa seca também foi medida em balança digital analítica, após o material ser seco em estufa a 70°C, após 72 horas.

4.8 Avaliações Fisiológicas

As avaliações fisiológicas foram feitas uma semana após o início da fase de aclimatação das mudas e ao final da fase de aclimatação das mudas do experimento. O balanço de nitrogênio na luz verde (NBI-G); balanço de nitrogênio na luz vermelha (NBI-R); de clorofila absorvida na luz verde (SFR-G); de clorofila absorvida na luz vermelha (SFR-R); antocianina no comprimento de onda vermelho-verde (ANT-RG) e antocianina no comprimento de onda vermelho-azul (ANT-RB) e flavonoides (FLAV). Foram estimadas através de um Fluorômetro modelo Multiplex (Force-A) com fontes múltiplas de excitação de luz (ultravioleta, azul, verde e vermelho). Este sensor detecta a fluorescência emitida por pigmentos fluorescentes de plantas (fluoróforos) após excitação. Os quatro canais de excitação são UV (cerca de 375 nm), azul (cerca de 470 nm), verde (cerca de 515 nm) e vermelho (cerca de 625 nm). Os impulsos de luz de excitação (20 μ s por flash) são fornecidos por emissores de luz de alta potência localizados em torno dos detectores e apontando na direção da área detectada.

Os dados fisiológicos obtidos pelo Fluorômetro Multiplex foram parametrizados antes de serem analisados, seguindo as recomendações do fabricante. Para a medição dos dados, o equipamento foi aproximado a cerca de 1 cm da planta para a realização de cada leitura e a leitura foi feita desta forma de modo que fosse permitida a leitura da planta toda (Figura 7).



Figura 7. Análise fisiológica por meio do Fluorômetro Multiplex (Force-A)

A intensidade de cor verde das folhas foi estimada por meio de um Medidor Portátil de Clorofila, modelo SPAD-502 “*Soil Plant Analiser Development*” (Minolta, Japão), entre 8:00 e 10:00 horas da manhã. Foram realizadas 3 leituras por muda nas folhas do terço médio, sendo utilizada a média destas 3 leituras para compor cada repetição (Figura 8). Após as avaliações do Multiplex e da fluorescência da clorofila *a* e intensidade do verde, foi realizada coleta das plantas para que fosse feita a análise nutricional.



Figura 8. Medidor portátil de moléculas de clorofila modelo SPAD-502 “*Soil Plant Analiser Development*” (Minolta, Japão).

4.9 Análise Nutricional

As análises químicas foram realizadas no Setor de Nutrição Mineral de Plantas, vinculado ao Laboratório de Fitotécnica da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Amostras de material vegetal (raízes e folhas de café) foram coletadas de acordo com descrição no experimento. As análises químicas serão de acordo com a metodologia descrita abaixo:

Determinação dos nutrientes nas mudas: todas as folhas das mudas foram secas a 70°C em estufa de ventilação forçada, por 72 horas e, posteriormente, moídas em moinho de facas tipo Wiley, para quantificação dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e silício (Si) (Figura 9).

Para a determinação dos teores de N, o material vegetal foi submetido à digestão sulfúrica, no qual o nitrogênio foi determinado pelo método de Nessler (JACKSON, 2005). Para a determinação de P e K foram realizadas leituras no espectrofotômetro após digestão com solução extratora: HCl 0,05 molL⁻¹ e H₂SO₄ 0,025 molL⁻¹ (Figura 10).

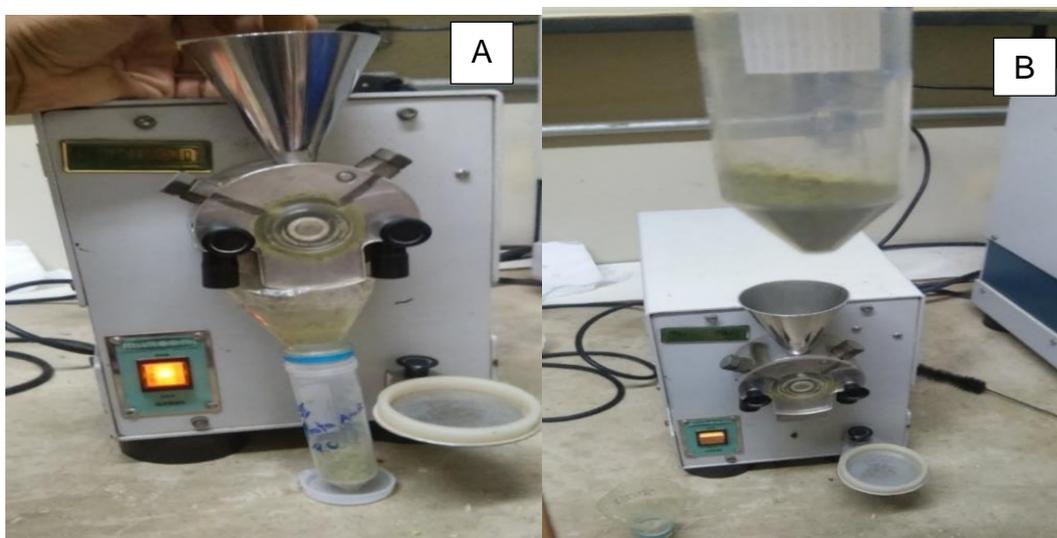


Figura 9. Preparo das amostras para análise nutricional. A) Moinho de facas tipo Wiley. B) Material moído.



Figura 10. A) Pesagem das amostras; B) Digestão do material vegetal em ácido; C) Leitura do Potássio em Espectrofotômetro; D) Leitura dos resultados no espectrofotômetro.

Para a determinação do silício nas mudas de café foi utilizado o método do amarelo descrito por Korndörfer-Ufu e Nolla-Ufu (2004). O processo de extração de silício na planta é feito através da oxidação da matéria orgânica, isto é, eliminação do carbono do tecido vegetal com água oxigenada (digestão). O hidróxido de sódio adicionado à solução digestora tem a finalidade de melhorar a eficiência do oxidante (H_2O_2) e aumentar o pH da solução, visando manter o silício do tecido vegetal em solução (Figura 11).



Figura 13. A) Diluição com peróxido de hidrogênio e banho-maria; B) Mistura do material vegetal diluído após autoclavagem das amostras.

4.10 Análise estatística

Para os dados biométricos referentes à altura, diâmetro, número de folhas, massa fresca (g), massa seca (g), assim como a análise nutricional de macronutrientes (NPK) e de silício foram submetidos a análise de variância. Os dados fisiológicos foram previamente parametrizados para depois serem submetidos às análises de variância. As médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade pelo programa Assistat 7.7 (Silva, 2016).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análises Biométricas

Os resultados das avaliações biométricas das mudas de café foram comparados estatisticamente pelo programa Assistat 7.7. As tabelas foram confeccionadas de acordo com os resultados da análise de variância, pelo teste F, para as variáveis envolvidas na parcela (Fator A- Aclimação), na subparcela (Fator B- Silicato) e a interação entre os fatores. Quando houve resultado significativo nas variáveis ou nas interações entre elas, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

As médias de Altura das Plantas (AP) apresentaram resultados significativos em relação à aclimação (Fator A) pelo teste F. O Silicato de potássio não influenciou significativamente na altura das mudas de *Coffea arabica* L, nem houve interação entre os tratamentos silicato de potássio e a aclimação no incremento em altura das mudas. O que Corrobora com outros autores, que verificaram que o Silício é um nutriente que não proporciona interferência direta na altura das plantas (Ferreira et al., 2015 ; Roldi et al., 2015).

Tabela 1- Análise de variância com os valores de F para a Altura das Plantas, diâmetro do colo massa fresca e massa seca do experimento em blocos casualizados, conduzidos em casa de vegetação.

FV	Altura de plantas	Diâmetro de colo	Massa Fresca	Massa seca
Aclimação	19,258**	1,001 ^{ns}	0,477 ^{ns}	0,1001 ^{ns}
CV (%)	4,20	5,97	10,30	11,27
Silicato	3,787 ^{ns}	1,033 ^{ns}	7,243*	4,7032*
CV (%)	5,93	6,30	9,72	9,38
Aclim.x Silicato	3,210 ^{ns}	0,061 ^{ns}	0,416 ^{ns}	0,4497 ^{ns}
Média Geral	17,33	2,92	6,82	1,96

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$); ns não significativo ($p \geq .05$)

A aclimação gradual das mudas de café arábica proporcionou incremento significativo nas médias de altura das plantas quando comparadas com as plantas que não sofreram aclimação (Tabela 2).

Tabela 2 - Teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade para as médias de altura no Trat-A (aclimação).

Aclimação	
Trat-A (Aclimação)	Altura (cm)
Com Aclimação	17,79375 a
Sem Aclimação	16,87083 b
CV (%)	4,20

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de probabilidade.

O crescimento em altura das plantas é um fator frequentemente utilizado para medir a adaptabilidade das plantas a ambientes de sombra, uma vez que a capacidade da planta de crescer rapidamente em altura, quando sombreada é um mecanismo importante de adaptação das espécies que procuram por maiores taxas luminosas (Engel,1989). Com os resultados, verifica-se que as mudas de café arábica aclimatadas apresentaram comportamento semelhante ao das plantas

sombreadas, tendo maior desenvolvimento em altura em comparação às plantas de pleno sol.

Dardengo et al. (2013) observaram que o sombreamento induziu as plantas a alocarem uma maior parte de seus recursos metabólicos para crescer em altura, em busca de luz, por meio do alongamento dos entrenós (estiolamento), onde os níveis mais intensos de sombra contribuíram para altos valores de altura, sendo obtidos baixos valores a pleno sol.

Braun et al. (2007) observaram que o sombreamento acima de 50% contribuiu no incremento em altura total das mudas de café conilon, onde o comportamento para as mudas aclimatadas a sombra (sombreamento de 50% e 75%) foi maior que a pleno sol. Corroborando com os resultados obtidos por Tatagiba et al. (2011), De Oliveira, (2014) em café arábica, foi observado que o sombreamento de mudas jovens de café proporcionou maior incremento em altura sob condições de sombra.

As médias do diâmetro do colo das mudas não foram influenciadas pelos níveis do Fator-A (aclimação) e para os níveis do Fator-B (Silicato), mostrando que os tratamentos não interferiram diretamente sobre o aumento do diâmetro do colo das mudas de café arábica (Tabela 1).

Braun et al. (2007) também não observaram influência do nível de sombreamento no diâmetro em mudas de café conilon. O mesmo resultado foi observado por Tatagiba et al. (2011), onde os tratamentos sombreados a 20 e 50% não diferiram significativamente dos tratamentos a pleno sol quanto ao diâmetro do colo. Segundo De Almeida et al. (2005), o diâmetro do colo das mudas é um indicador das taxas de assimilação líquida de produtos da fotossíntese, e dessa forma garantindo melhor taxa de sobrevivência dessas mudas no campo.

Dos Santos et al. (2009) verificaram que a aplicação de fertilizantes silicatados não influenciaram significativamente na média do diâmetro do colo de mudas de café arábica, corroborando assim com os resultados obtidos neste experimento. Carré-missio et al. (2009) não observaram alterações nas variáveis agrônomicas avaliadas em mudas de café cultivados em solução nutritiva contendo 2 mmol L^{-1} de Si (+Si), dentre as variáveis estudadas encontra-se o diâmetro do colo das mudas.

Para a massa fresca (MF) e a massa seca (MS) observou-se que o silicato (Fator-B) proporcionou diferença significativa pelo teste F, porém a aclimação (Fator-A) não proporcionou diferença significativa (Tabela 1). De acordo com os resultados foi observado que as mudas que receberam tratamento com silicato de potássio tiveram maior acúmulo de massa fresca (MF) e massa seca (MS), pelo teste de Tukey de comparação de médias (Tabela 3).

Tabela 3 – Avaliação das médias de massa seca e massa fresca de mudas de café arábica com e sem silicato de potássio, submetidas a análise de comparação de médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Fator B (Silicato)	Massa Seca (g)	Massa Fresca (g)
Com Silicato	2,02000 a	7,07917 a
Sem Silicato	1,90479 b	6,56396 b
CV%	6,30	9,72

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os resultados encontrados neste experimento não corroboram com os dados observados por Ferreira et al. (2015), onde a aplicação de silicato de cálcio não proporcionou diferença estatística na massa seca e massa fresca das mudas de café arábica. O incremento na MF e MS das mudas de café encontrado no presente experimento pode estar relacionado com a presença de potássio no produto aplicado (K_2O solúvel em água 210 g/l).

Em mudas de café arábica, Júnior et al. (2003) observaram que doses isoladas de K (1, 3, 5 e 7 mmol/l) em solução nutritiva apresentaram maiores valores para matéria seca total e área foliar total das mudas, corroborando assim com os resultados obtidos no experimento.

Werncke et al. (2012) verificaram que houve efeito biométrico da aplicação de diferentes quantidades de potássio nas características de altura de planta, número de folhas, massa fresca e massa seca. A aplicação de 4,0 gramas de potássio por planta propiciou os valores biométricos mais elevados.

Roldi et al. (2015) observaram efeito negativo na parte aérea das plantas com a aplicação de silicato de potássio e KCl, uma vez que tanto a massa fresca

quanto a massa seca da parte aérea apresentaram valores menores ($P < 0,05$) quando comparados à testemunha.

5.2 Análises fisiológicas

Na variável avaliada pelo medidor portátil de clorofila SPAD-502, pode ser observado que houve uma diferença significativa no teor de clorofila das plantas, o Fator-A (aclimação), assim como o Fator-B (Silicato), obteve diferença significativa para o teste F, sendo observada também a interação entre os dois fatores Aclimação x Silicato (Tabela 4).

Tabela 4 - Análise de variância com os valores de F, do experimento em parcelas subdivididas em blocos inteiramente casualizados, onde Trat-a (aclimação) e o Trat-B (aplicação Silício) são conduzidos em casa de vegetação.

INDICE SPAD		
FV	GL	F
Blocos	11	0,952 ns
Trat-a	1	72,605 **
Resíduo-a	11	
Parcelas	23	
Trat-b	1	93,263 **
Int.TaxTb	1	18,476 **
Resíduo-b	22	
Total	47	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); ($.01 \leq p < .05$); ns não significativo ($p \geq .05$)

Verifica-se na Tabela 5 que as mudas aclimatadas no sombreamento gradual, tanto na ausência como na presença do silicato de potássio, apresentaram os maiores índices SPAD quando comparadas com as mudas submetidas a pleno sol. As mudas que receberam a aplicação do silicato de potássio apresentaram os maiores índices de SPAD tanto a pleno sol quanto no sombreamento. Observando-se que nas mudas submetidas a pleno sol, com a aplicação de silicato de potássio, apresentaram cerca de 65,3% a mais de clorofilas, quando comparadas as mudas

submetidas a pleno sol sem aplicação do silício. Isso mostra a eficiência do silicato de potássio na preservação da clorofila das mudas quando expostas à radiação intensa.

A influência da aclimação no índice SPAD observada no experimento, corrobora com resultados encontrados por Pereira et al. (2011) em café arábica, onde os autores observaram que tanto na época de seca como na época chuvosa o índice SPAD foi maior nos tratamentos sombreados, e em época chuvosa tais valores poderiam ser maiores no tratamento com 90% de sombreamento.

As elevadas temperaturas encontradas no mês de janeiro em Campos dos Goytacazes, onde foi registrada uma média de 27°C diário, com pluviosidade de 71,2 mm/mensal (INMET, 2017) chegando a uma média de 30,14 °C, nos períodos de maior incidência solar, das 10 às 19h, a radiação solar ficou em torno de 892874 (kJ/m²). Este fato deve ter influenciado de forma direta nos resultados, uma vez que as altas temperaturas associadas com alta intensidade luminosa causa fotoinibição ou foto-oxidação das moléculas de clorofila. Resultado semelhante foi encontrado por César et al. (2007), onde os autores encontraram diferença no índice SPAD em cafeeiros cultivados sob densidades diferentes e níveis de sombreamento por sistemas agroflorestais e pleno sol.

Tabela 5- Médias das interações do índice SPAD para a aclimação e aplicação de silicato em mudas de café arábica, analisadas pelo teste Tukey a 5% probabilidade em parcelas subdivididas.

Interação Aclimação x Silicato		
	Com Silicato	Sem Silicato
Com Aclimação	29,6279 aA	26,0792 aB
Sem Aclimação	23,3917 bA	14,15 bB
CV%	15,84	9,84

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, onde as letras maiúsculas correspondem as linhas e as letras minúsculas das colunas.

Júnior et al. (2013), ao trabalharem com os fungicidas estrobilurina piraclostrobina, juntamente com o silício em mudas de café arábica, não verificaram diferença significativa em relação ao índice SPAD, não interferindo nos teores de clorofila totais das mudas.

Na cultura do arroz onde o Si é mais estudado, Ávila et al. (2010) observaram que o silicato de potássio elevou os valores SPAD, além dos teores de clorofila a e b. Acredita-se que tais resultados observados no experimento possam ser provenientes da criação de uma camada cerosa na folha, essa camada por sua vez diminuiria a ação da irradiação excessiva nos processos de fotoinibição e foto-oxidação da clorofila, novos estudos devem ser realizados para elucidarem os efeitos do silicato de potássio sobre o aparato fotossintético das mudas de café.

Netto et al. (2002) relacionaram em seu estudo a importância dos valores medidos pelo medidor portátil de clorofila SPAD-502, com a determinação não destrutiva de pigmentos fotossintéticos (clorofila e carotenoides), podendo ser indiretamente utilizado na interpretação avançada do processo fotoquímico nas folhas de *Carica papaya* L. Os autores ainda associaram a diminuição acentuada da relação clorofila a / b quando as leituras SPAD-502 foram inferiores a 40, com a degradação da clorofila a uma vez que a clorofila a é mais intensamente degradada do que a clorofila b (Wolf, 1956).

As variáveis avaliadas pelo Fluorômetro Multiplex não foram influenciadas pelo silicato de potássio, assim como não houve interação significativa entre a aclimação x silicato de potássio pelo teste F. Foi observada, contudo, diferença significativa da aclimação segundo os dados obtidos do Multiplex para todas as variáveis avaliadas. Os teores de flavonoides (FLAV), antocianinas (ANT-RG e ANT-RB), índice de clorofila (SFR-G e SFR -R) e balanço de nitrogênio (NBI-G e NBI-R) diferiram todos significativamente pelo teste F (Tabela 6).

Mudas expostas a pleno sol apresentaram maiores médias de antocianinas e flavonoides quando comparadas com mudas aclimatadas ao sombreamento gradual. Os flavonoides são metabólitos secundários que podem ser considerados pigmentos naturais, que também exercem um papel fundamental na proteção vegetal, onde atua na proteção contra agentes oxidantes como os raios ultravioletas (GARCÍA e CARRIL, 2011).

Tabela 6- Análise de variância dos Trat-a x Trat-b, analisadas pelo teste F de probabilidade em parcelas subdivididas.

FV	GL	ANTH_RB	ANTH_RG	NBI_G	NBI_R	FLAV	SFR_G	SFR_R
Blocos	11	0,67 ns	0,69 ns	0,98 ns	0,99 ns	0,57 ns	1,51 ns	1,07 ns
Trat-a	1	55,48**	69,10**	149,84 **	124,10 **	327,94 **	68,84 **	73,60**
Resíduo-a	11							
Parcelas	23							
Trat-b	1	0,73 ns	1,42 ns	2,78 ns	2,31 ns	0,33 ns	2,90 ns	2,64 ns
Int.TaxTb	1	0,19 ns	0,0038 ns	2,41 ns	2,13 ns	0,58 ns	1,28 ns	1,42 ns
Resíduo-b	22							
Total	47							

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$); ns não significativo ($p \geq .05$)

Tabela 7- Teste de comparação das médias da aclimação, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Aclimação							
	ANTH_RB	ANTH_RG	FLAV	NBI_G	NBI_R	SFR_G	SFR_R
Com Aclimação	-0,81311 b	-0,09555 b	0,03599 b	1,00653 a	1,21819 a	1,27889 a	1,22307 a
Sem Aclimação	-0,72136 a	-0,03132 a	0,82313 a	0,15636 b	0,16074 b	1,04428 b	0,99452 b
CV%	5,56	42,20	16,20	41,38	47,69	8,43	8,32

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Brücková et al. (2016) observaram resultados semelhantes ao estudarem o acúmulo de antocianinas e flavonoides em duas variedades de alface cultivadas em estufas e em pleno sol através do Fluorômetro Multiplex. Os autores atribuíram tal acúmulo à intensificação da biossíntese de flavonoides, acumulação que normalmente é estimulada pela radiação UV-B do sol.

Como citado anteriormente, as antocianinas assim como os flavonoides possuem um papel muito importante nos vegetais, atuando como pigmento acessório dando cor às folhas assim como os frutos. Segundo Neill et al. (2002); Neill e Gould (2003), as antocianinas podem conferir um grau significativo de proteção contra danos fotooxidativos causados pela luz, agindo também como antioxidantes e atenuadores de luz. Desta forma, o aumento das antocianinas pode-se dar justamente ao fato de que nos tratamentos ao pleno sol, que teriam ficado mais expostas aos danos fotooxidativos causados pela exposição direta ao sol durante o mês de janeiro.

O efeito das antocianinas em algumas espécies arbóreas, em relação a diferentes tipos de emissão de luz, foi observado em outro experimento, permitindo uma estimativa precisa da acumulação de antocianina, mesmo em pequenas quantidades, em senescência intacta e folhas estressadas (Gitelson et al., 2001).

Ainda que com características botânicas diferentes de cada espécie, pode-se observar um aumento de flavonoides e antocianinas devido à sua função no estresse oxidativo causado pela luminosidade, onde a aclimação a “pleno sol” foi bem mais estressante.

O balanço de nitrogênio (NBI_G e NBI_R) além do teor de clorofila (SFR-G e SFR -R) obteve maiores médias estatísticas quando submetidas a aclimação gradual. Esse balanço de nitrogênio é muito benéfico às plantas em relação à fotossíntese, assim como balanço de clorofila. O balanço de clorofila foi diferente dos resultados encontrados no índice SPAD, onde pode ser observada diferença significativa para a aplicação do silicato (Tabela 07).

Os resultados para balanço de nitrogênio são importantes para respostas à adubação nitrogenada na planta (Cartelat et al., 2005). Rodrigues (2016) observou em erva-baleeira (*Varronia curassavica Jacq*) o decréscimo dos valores de índice de balanço de nitrogênio (NBI) em plantas cultivadas a pleno sol, com menor

decréscimo em plantas sombreadas. Alguns autores correlacionam os valores de teor de clorofila (SFR) sendo inversamente proporcionais aos valores de antocianinas e flavonoides, corroborando com os dados obtidos (Debuisson et al., 2010; Rodrigues, 2016)

5.3 Parâmetros Nutricionais

Dentre os teores dos macronutrientes avaliados, o fósforo e nitrogênio não apresentaram diferença significativa pelo teste F para nenhum dos tratamentos (Tabela 08). Já o potássio apresentou diferença significativa pelo teste F para a aplicação do silicato de potássio, apresentando ainda interação entre a aclimação x silicato, sendo então submetidos ao teste de comparação de média de Tukey com 5% de probabilidade.

Tabela 08- Análise de variância dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio e silício e média geral das variáveis estudadas em cada fator isolado e na interação dos fatores.

FV	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Silício
Aclimação	2,4276 ^{ns}	4,108 ^{ns}	0,147 ^{ns}	0,345 ^{ns}
CV (%)	13,50	13,77	12,46	11,69
K ₂ SiO ₃	1,8149 ^{ns}	0,864 ^{ns}	21,242 ^{**}	13,766 ^{**}
CV (%)	12,23	15,97	19,10	11,28
Aclim.x K ₂ SiO ₃	0,1556 ^{ns}	0,034 ^{ns}	5,998 [*]	0,371 ^{ns}
Média Geral	15,85625	2,43125	19,59375	0,23104

^{**}significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} não significativo (p > 0.05) pelo teste F.

Os resultados obtidos para os teores de fósforo total nas mudas eram esperados, devido à composição do fertilizante aplicado ser K₂SiO₃ – (12% de SiO₂ e 15% de K₂O) não possuindo, desta forma, quantidade de fósforo em sua composição que justificasse um aumento dos teores do nutriente avaliado. Trabalhando com silicato de cálcio, Pozza et al. (2009) observaram que a variedade Catuaí obteve boa eficiência de absorção de P e K e boa eficiência de uso de Si.

Desta forma, poderia ter havido uma interação entre o uso do adubo silicatado com o aumento de fósforo total na muda, porém, os mesmos resultados não foram encontrados neste experimento.

No trabalho de Botelho et al. (2011), os autores observaram que o aumento do ácido silícico causou a diminuição dos teores foliares de fósforo. De acordo com os resultados, observa-se que a fonte do silício, em que os autores testaram ácido silícico e silicato de cálcio, assim como as formas de aplicações, podem proporcionar resultados variados. Observa-se que nos resultados encontrados neste experimento os teores de fósforo não diferiram significativamente dos demais tratamentos sem aplicação do silicato de potássio, assim como a aclimação gradual das plantas não influenciou diretamente os teores totais de fósforo nas mudas de café arábica.

Os resultados obtidos para os teores de nitrogênio mostram que o nutriente não apresentou diferença significativa para a aplicação do silicato de potássio, assim como não apresentou diferença significativa para a aclimação, nem interação entre os fatores (Tabela 08).

Lima et al. (2010) analisaram essa relação de nitrogênio/ potássio com a mancha de Phoma em café, onde puderam observar que as doses de potássio influenciaram significativamente os teores de nitrogênio e potássio. Os mesmos resultados não foram encontrados com o produto comercial aplicado, podendo ser observado que a interação pode variar de acordo com a fonte de adubo utilizado nesse caso K_2O e até 19 mmol/L de K em solução nutritiva.

Em relação ao suprimento de silício pelo fertilizante foliar, resultados semelhantes foram obtidos por Pozza et al. (2009) em café arábica e por Ávila et al. (2010) em arroz, onde não pode ser observado aumento de nitrogênio nas plantas adubadas com adubo silicatado, corroborando em ambos os casos com os resultados obtidos no experimento para a aplicação do silicato de potássio.

Resultados obtidos para o K mostram que os teores desse elemento obtiveram diferença significativa em relação à aplicação do silicato de potássio (Tabela 8), demonstrando que o produto comercial utilizado Aminoagro Silício Fertilizante Foliar® conseguiu ser eficiente em sua aplicação e, por consequência, aumentando os níveis do nutriente na planta. Sendo o potássio um nutriente muito

importante para o cafeeiro e sua exigência ir aumentando de acordo com o crescimento da planta, este nutriente pode ser importante na regulação osmótica das mudas, sendo então importante o suprimento adequado desse nutriente principalmente em regiões de calor intenso.

Pozza et al. (2009) observaram também o efeito da aplicação de silicato de cálcio no incremento dos níveis de potássio em mudas de *Coffea arabica* cv. Catuaí, observando o aumento dos níveis de K com a aplicação de silício em mudas. Desta forma, poderia a aplicação do silicato de potássio ter influenciado esse aumento do potássio total nas mudas, não apenas pelo incremento do potássio, mas também sua interação com o silício. Ao ser comparado pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, as médias foram diferentes de forma significativa, ficando a dos tratamentos com a aplicação de silicato de potássio com 29,11% a mais de K nas plantas. Como a formulação do produto contém (12% de SiO₂ e 15% de K₂O), observa-se que o aumento foi superior ao esperado no suprimento do nutriente para as mudas.

Para a interação entre os fatores aclimação x silicato de potássio, as mudas que receberam silicato de potássio obtiveram médias superiores aos tratamentos onde não foi aplicado o silicato de potássio, contudo não se observou a tendência de que o maior acúmulo de potássio nas mudas seria também em função da aclimação gradual das mudas (Tabela 9).

Tabela 9- Médias das interações de Potássio para a aclimação e aplicação de silicato em mudas de café arábica, analisadas pelo teste Tukey a 5% probabilidade em parcelas subdivididas.

Interação aclimação x silicato de potássio				
K				
Aclimação	Com silicato		Sem silicato	
Com aclimação	20,625	bA	18,2917	aA
Sem aclimação	23,5417	aA	15,9167	aB
CV%	12,46		19,10	

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, onde as letras maiúsculas correspondem as linhas e as letras minúsculas as colunas.

De acordo com os resultados obtidos para o teor total de silício no experimento, observou-se que a aplicação de silicato obteve resultado significativo pelo teste F. Para a aclimação não foi observado resultado significativo para os tratamentos com e sem aclimação gradual, assim como não foi observada interação entre a aclimação x silicato de potássio. Ao analisar as médias dos tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, observa-se que os tratamentos com silicato de potássio obtiveram significativamente maior teor de silício como o esperado (Tabela 10).

De acordo com os dados obtidos na Tabela 10 pode-se ver que ocorreu aumento significativo de silício nas mudas em que foi aplicado o silicato de potássio. Como o fertilizante foliar aplicado não possui em sua formulação apenas o silício puro, não se pode concluir que qualquer resposta obtida biométrica ou fisiológica nesse experimento tenha sido resultado da presença direta de silício nas mudas.

Contudo, os teores nutricionais de silício foram 12,90% maiores nos tratamentos onde o silicato de potássio foi aplicado. Os teores de potássio foram 29,11% maiores, desta forma as respostas obtidas nos tratamentos em que ocorreu diferença significativa na subparcela estariam relacionadas diretamente à aplicação de silicato de potássio.

Tabela 15- Comparação de médias pelo teste Tukey a 5% e incremento de silício e potássio nos tratamentos onde ocorreu a aplicação de silicato de potássio.

Silicato de potássio		
silicato de potássio	Potássio (mg/kg)	Silício (%)
com silicato	22,083333 a	0,245 a
sem silicato	17,10417 b	0,217 b
Incremento	29,11%	12,90%

*Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

6 CONCLUSÕES

- O produto Aminoagro Silício Fertilizante Foliar® (K_2SiO_3 – 12% de SiO_2), foi eficiente no aumento dos teores de silício e potássio em mudas de *C. arabica* L, na sua fase de viveiro.
- O Silicato de potássio proporcionou aumento da massa fresca e da massa seca das mudas de café, não interferindo nos demais fatores biométricos avaliados.
- O Silicato de potássio não interferiu nas variáveis fisiológicas avaliadas pelo Fluorômetro Multiplex, porém proporcionou incremento no teor de clorofila totais nas folhas, medido no índice SPAD.
- A aclimação influenciou diretamente em todas as variáveis fisiológicas avaliadas, contudo não influenciando as variáveis biométricas e nutricionais, com exceção da altura da planta.
- A aplicação do silicato de potássio pode auxiliar na aclimação de mudas, porém, não substituindo a aclimação gradual das mudas para as condições avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIC – Associação Brasileira da Indústria do Café História. Disponível em: http://www.abic.com.br/scafe_historia.html#cafe_brasil. Acesso em: 10 de março. de 2017.
- Arnon, D.; Stout, P. (1939). The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant physiology*, v. 14, p. 371.
- Ávila, F. W.; Baliza, D. P.; Faquin, V.; Araújo, J. L.; Ramos, S. J. (2010). Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, p. 184-190.
- Azevedo, G. F. D. C. (2009). *ECOFISIOLOGIA EM MUDAS DE ACARIQUARA (Miquartia guianensis Aubl.) E MOGNO (Swietenia macrophylla King.) ACLIMATADAS A CAMPOS ABERTOS*. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal, Fitogeografia, Sistemática e Taxonomia vegetal, Botânica aplicada, Biologia vegetal) - Manaus - AM, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 81p.
- Botelho, D.; Pozza, E.; Alves, E.; Botelho, C.; Pozza, A.; Ribeiro Júnior, P.; Souza, P. (2011). Efeito do silício na intensidade da cercosporiose e na nutrição mineral de mudas de cafeeiro. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 78, p. 23-29.

- Bragança, S. (2005). *Crescimento e acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro conilon (Coffea canephora Pierre)*. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa – UFV, 99p.
- Brasila - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>. Acesso em: 03 de março de 2017.
- Brasilb - Ministério da Agricultura. Informe estatístico do café. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php. Acesso em: 03 de março de 2017.
- Braun, H.; Zonta, J. H.; Soares De Souza Lima, J.; Fialho Dos Reis, E. (2007). Produção de mudas de café conilon propagadas vegetativamente em diferentes níveis de sombreamento. *Idesia (Arica)*, v. 25, p. 85-91.
- Bruce, T. J.; Matthes, M. C.; Napier, J. A.; Pickett, J. A. (2007). Stressful “memories” of plants: evidence and possible mechanisms. *Plant Science*, v. 173 (6), p. 603-608.
- Brücková, K.; Sytar, O.; Živčák, M.; Brestič, M.; Lebeda, A. (2016). The effect of growth conditions on flavonols and anthocyanins accumulation in green and red lettuce. *Journal of Central European Agriculture*, v. 17 (4), p. 986-997.
- Café, M. ARTIGO: Utilização de silicatos na cafeicultura. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/cafe.htm>. Acesso em: 18 de março de 2017.
- Carré-Missio, V.; Rodrigues, F.; Schurt, D. A.; Pereira, S. C.; Oliveira, M.; Zambolim, L. (2009). Ineficiência do silício no controle da ferrugem do cafeeiro em solução nutritiva. *Tropical Plant Pathology*, v. 34 (6), p. 416-421.

Cartelat, A.; Cerovic, Z.; Goulas, Y.; Meyer, S.; Lelarge, C.; Prioul, J.-L.; Barbottin, A.; Jeuffroy, M.-H.; Gate, P.; Agati, G. (2005). Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field crops research*, v. 91 (1), p. 35-49.

Ceplac - Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. Café. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/cafe.htm>. Acesso em: 03 de março de 2017.

César, F. R. C. F.; Lima, J. M.; Matsumoto, S. N.; Bonfim, J. A.; Santos, M. A. F.; Guimarães, M. M. C.; Lemos, C. L.; Da Silva Araujo, G.; De Jesus Souza, A. J. (2007). Aspectos morfo-fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol, no município de Vitória da Conquista, Bahia. *Revista Brasileira de Agroecologia* v. 2, p.954-957.

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira – Safra 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 03 de março de 2017.

Dandengo, M. C. J., de Sousa, E. F., dos Reis, E. F., & de Amaral Gravina, G. (2014). Crescimento e qualidade de mudas de café conilon produzidas em diferentes recipientes e níveis de sombreamento. *Coffee Science*, v. 8(4), p. 500-509.

Davide, a. C.; silva, e. A. A. *Produção de sementes e mudas de espécies florestais*. Lavras: Ed. UFLA, 2008. 174 p.

Davis, A. P.; Govaerts, R.; Bridson, D. M.; Stoffelen, P. (2006). An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 152 (4), p. 465-512.

- De Almeida, L. S.; Da Maia, N.; Ortega, A. R.; Angelo, A. C. (2005). Crescimento de mudas de Jacaranda puberula Cham. em viveiro submetidas a diferentes níveis de luminosidade. *Ciência Florestal*, v. 15 (3): 331-342.
- De Andrade, M. A. F. (2011). *RELAÇÕES HÍDRICAS E CRESCIMENTO DE PLANTAS JOVENS DE CAFÉ SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS E DOSES DE NEK*. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Agronomia) - Vitória da Conquista - BA, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, 51p.
- De Oliveira, F. H. (2014). *PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO*. V Congresso de Iniciação Científica da Fundação Educacional de Ituverava, Ituverava – São Paulo.
- Debuisson, S.; Germain, C.; Garcia, O.; Panigai, L.; Moncomble, D.; Le Moigne, M.; Fadaili, E.; Evain, S.; Cerovic, Z. (2010). Using Multiplex® and Greenseeker™ to manage spatial variation of vine vigor in Champagne. 10th International Conference on Precision Agriculture, Denver - Colorado.
- Dos Santos Botelho, D. M.; Pozza, E. A.; Neto, A. E. F.; De Melo, D (2009). EFEITO DO ÁCIDO SILÍCICO EM ASPECTOS FISIOLÓGICOS E ANATÔMICOS DE MUDAS DE CAFEIRO INOCULADAS COM *Cercospora coffeicola*. VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Vitória - Espírito Santo.
- Engel, V. (1989). *Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de essências nativas, concentração de clorofila nas folhas e aspectos de anatomia*. Dissertação Mestrado em Agronomia - Piracicaba - SP, Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz - ESALQ, 203p.
- Epstein, E. (1999) Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. *Plant Biology*, 50: 641-664.

- Faria, R. (2000). *Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG, 98 p.
- Fauteux, F.; Chain, F.; Belzile, F.; Menzies, J. G.; Bélanger, R. R. (2006). The protective role of silicon in the Arabidopsis–powdery mildew pathosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103 (46) :17554-17559.
- Ferreira, E. G. G.; Vallone, H. S.; Silva, A. C. M. M.; Sene, M. G. T. D.; Assis, M. P. D. (2015). Aspectos agronômicos de mudas de cafeeiro produzidas em substrato contendo silicato ou calcário. IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Curitiba – PR.
- Flexas, J.; Barón, M.; Bota, J.; Ducruet, J.-M.; Gallé, A.; Galmés, J.; Jiménez, M.; Pou, A.; Ribas-Carbó, M.; Sajnani, C. (2009). Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted Vitis hybrid Richter-110 (*V. berlandierix* V. rupestris). *Journal of Experimental Botany*, 60 (8): 2361-2377.
- García, A. Á.; Carril, E. P.-U. (2011). Metabolismo secundário de plantas. *Reduca (Biología)*, 2 (3): 119-145.
- Gitelson, A. A.; Merzlyak, M. N.; Chivkunova, O. B. (2001). Optical Properties and Nondestructive Estimation of Anthocyanin Content in Plant Leaves. *Photochemistry and photobiology*, 74 (1):38-45.
- Guerreiro Filho, O.; Fazuoli, L.; Aguiar, A. (2006). Cultivares de Coffea arabica selecionadas pelo IAC: características botânicas, tecnológicas, agronômicas e descritores mínimos. *O Agrônomo*, 55 (2): 34-37.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, 2017. Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmepr/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 18/03/2017.

Iwasaki, M.; Paszkowski, J. (2014). Epigenetic memory in plants. *The EMBO journal*, 33 (18): 1987-1998.

Jackson, M. L. (1969). *Soil chemical analysis — Advanced course*. Madison, University of Wisconsin, 895 p.

Júnior, D. G.; Pozza, E. A.; Pozza, A. A.; Souza, P. E.; Carvalho, J. G.; Balieiro, A. C. (2003). Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. *Fitopatologia Brasileira*, 28 (3): 286-291.

Júnior, J. P.; Fagan, E. B.; Corrêa, L. T.; Soares, J. N.; Pereira, I. S.; Silva, L. G. (2013). Resposta fisiológica de mudas de café à aplicação foliar de estrobilurina-piraclostrobina e silício. *Revista do Centro Universitário de Patos de Minas*, 4:42–57

Lima, L. M. D.; Pozza, E. A.; Torres, H. N.; Pozza, A. A. A.; Salgado, M.; Pfenning, L. H. (2010). Relação nitrogênio/potássio com mancha de Phoma e nutrição de mudas de cafeeiro em solução nutritiva. *Tropical Plant Pathology*, 35(4):223-228.

Ma, J. F., Miyake, Y., & Takahashi, E. (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants. *Studies in plant Science*, 8: 17-39.

Ma JF and Takahashi (2002): *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*, Elsevier Science, Amsterdam, 294p.

Marschner H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. 2 ed. London: Academic Press, 889p.

- Martinati, J. C. (2008). *Aspectos bioquímicos em plantas de cafeeiro tratadas com silício*. Tese (Doutorado – Programa de Pós-graduação em Ciências. Área de Concentração: Biologia na Agricultura e no Ambiente) São Paulo – SP, Universidade de São Paulo – USP, 113p.
- Martins, A. L (2012). *História do café*. 2ed. São Paulo: Editora Contexto, 320p.
- Matiello, J.; García, R.; Almeida, A.; Sr Fernandes, D.; Matielli, A.; Rcc Matiello, J.; Matiello, J.; Sr Silva, M.; Matiello, J.; Andrade, H. (2005). *Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações*. Rio de Janeiro, RJ: Ciência e Prática, 434p.
- Miyake, Y.; Takahashi, E. (1985) Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. *Soil science and plant nutrition*, 31 (4): 625-636.
- Muller, M. M. L.; Guimarães, M. D. F.; Desjardins, T.; Martins, P. F. D. S. (2001) Pasture degradation in the Amazon region: soil physical properties and root growth. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36n (11): 1409-1418.
- Neill, S.; Gould, K.; Kilmartin, P.; Mitchell, K.; Markham, K. (2002) Antioxidant activities of red versus green leaves in *Elatostema rugosum*. *Plant, Cell & Environment*, 25 (4): 539-547.
- Neill, S. O.; Gould, K. S. (2003). Anthocyanins in leaves: light attenuators or antioxidants? *Functional Plant Biology*, 30(8): 865-873.
- Neto, E. G. G.; Do Livramento, D. E.; Alves, J. D.; Mesquita, A. C.; Epamig, S. S. D. P. (2009). *INCIDÊNCIA E SEVERIDADE DE FERRUGEM E BICHO MINEIRO EM CAFEEIROS ADUBADOS COM SILÍCIO*. VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Vitória- Espírito Santo.

- Netto, A.T, Campostrini, E., Oliveira, J. G. D., & Yamanishi, O. K. (2002). Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 14(3): 203-210
- Nogueira, F. D.; Silva, E. D. B.; Guimarães, P. T. G. (2001). *Adubação potássica do cafeeiro: sulfato de potássio*. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solo, São Paulo, SP. 2001. 81 p
- Paiva, L. C.; Guimarães, R. J.; Souza, C. A. S. (2003). Influência de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Ciência e agrotecnologia*, 27(1): 134-140.
- Paiva, L. C.; Guimarães, R. J.; Souza, C. S. (2001). *Efeitos da luz solar sobre o desenvolvimento de mudas de cafeeiro (Coffea arabica L.)* II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Salvador - Bahia.
- Pereira, T. A.; Alves, J. D.; Guerra, E. G.; Fries, D. D.; Magalhães, M. M.; Livramento, D. E. D. (2007), *Efeito da adubação silicatada em substituição à calagem sobre características fisiológicas de mudas de cafeeiro cultivadas em diferentes regimes hídricos*. V Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Águas de Lindoia- São Paulo.
- Pereira, T. B.; Baliza, D. P.; Cunha, R. D. L.; Guimarães, R. J.; Gomes, R. A.; Pereira, V. A. (2011). *Teores de clorofila em cafeeiros submetidos a diferentes ambientes avaliados por dois métodos de determinação*. VII Simpósio De Pesquisa Dos Cafés Do Brasil. Araxá-MG
- Pozza, A. A.; Alves, E.; Pozza, E. A.; Carvalho, J. D.; Montanari, M.; Guimarães, P. T.; Santos, D. M. (2004). Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira*, 29 (2): 185-188.

- Pozza, A. A. A.; Carvalho, J. G. D.; Guimarães, P. T. G.; Figueiredo, F. C.; Araújo, A. R. (2009). Suprimento do silicato de cálcio e a eficiência nutricional de variedades de cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 33(6): 1705-1714.
- Ribeiro, R. V.; Ramos, R. A.; Da Silva, L.; Pereira, S. P.; Zambrosi, F. C. B.; De Andrade, C. A. (2009). *A ADUBAÇÃO SILICATADA AMENIZA OS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO NAS TROCAS GASOSAS DE CAFEIROS JOVENS*. VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Vitória - Espírito Santo.
- Rodrigues, F.; Oliveira, L.; Korndörfer, A.; Korndörfer, G. (2011). Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. *Informações Agrônomicas*, 134: 14-20.
- Rodrigues, L. B. V. (2016). *Propagação vegetativa e parâmetros fisiológicos de erva-baleeira sob diferentes condições de luminosidade*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia vegetal. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas- Rio Grande do Sul, 66p.
- Roldi, M.; Dias-Arieira, C. R.; Dorigo, O. F.; Da Silva, S. A.; Machado, A. C. (2015). *Controle de Meloidogyne paranaensis em cafeeiro mediado pela aplicação de silício*. IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Curitiba- Paraná.
- Sangster, A.; Hodson, M.; Tubb, H. (2001). Silicon deposition in higher plants. *Studies in Plant Science*, 8: 85-113.
- Santa-Cecília, L. V. C.; Prado, E.; De Moraes, J. C. (2014). Avaliação do silício no comportamento alimentar da cochonilha-branca [Planococcus citri (Risso) (Pseudococcidae)] em cafeeiro. *Coffee Science*, 9(1):10-13.
- Shi, X.; Zhang, C.; Wang, H.; Zhang, F. (2005). Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. *Plant and Soil*, 272(1): 53-60.

- Silva, F. D. A. S., de Azevedo, C. A. V. (2016). The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, 11(39), 3733-3740.
- Sousa, T. V. (2013). *Caracterização molecular de cultivares de café resistentes à ferrugem*. Dissertação (Mestrado em Genética animal; Genética molecular e de microrganismos; Genética quantitativa; Genética vegetal; Me) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa: UFV, 53p.
- Streit, N. M.; Canterle, L. P.; Canto, M. W. D.; Hecktheuer, L. H. H. (2005). The chlorophylls. *Ciência Rural*, 35(3): 748-755.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Tradução Eliane Romanato Santarém et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p
- Tatagiba, S. D.; Pezzopane, J. E. M.; Dos Reis, E. F. (2011). Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. *Coffee Science*, 5(3): 251-261.
- Teixeira, L. A. F. (2012). *Influência da rustificação no comportamento fisiológico de mudas de Eucalyptus urograndis submetidas ao déficit hídrico*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Lavras- Minas Gerais, Universidade Federal de Lavras: UFLA, 47p.
- Valladares, F.; Pearcy, R. (1997). Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. *Plant, Cell & Environment*, 20(1): 25-36.
- Viana, D. G.; Nascimento, A. F.; Belo, A. F.; Pires, F. R.; Falqueto, A. R.; Bonomo, R.; Tenis, L. H. O.; Ortelan, B. P.; Trevisan, E. (2013). *Intensidade máxima de fluorescência e parâmetros OJIP do café conilon em função de corretivos de*

solo e déficit hídrico. VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Salvador - Bahia.

Vieira, G. (1996). *Gap dynamics in managed Amazonian forest: structural and ecophysiological aspects*. Tese (Doutorado em Ecologia Tropical) Oxford - Grã-Bretanha, University of Oxford, 162p.

Wiebel, J.; Chacko, E.; Downton, W.; Lüdders, P. (1994). Influence of irradiance on photosynthesis, morphology and growth of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) seedlings. *Tree Physiology*, 14(3): 263-274.

Wiese, H.; Nikolic, M.; Römheld, V. (2007). Silicon in plant nutrition. In: (Ed.). *The Apoplast of Higher Plants: Compartment of Storage, Transport and Reactions*. London: Springer, 2007. 33-47p.

Werncke I., Santos R. F, Souza S. N. M., Chaves L. I, Nogueira C. E. C., Zortea J. C. J. P. (2012). Influência de cloreto de potássio no café *Coffea arabica*. *Acta Iguazu*, 1(3) 8-14.

Wolf, F. T. (1956). Changes in chlorophylls a and b in autumn leaves. *American Journal of Botany*, 43: 714-718.

Zuccarini, P. (2008). Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. *Biologia Plantarum*, 52 (1): 157-160.