



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

CRESCIMENTO, TEORES E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM PLANTAS
DE MILHO FERTIRRIGADAS COM ÁGUA RESIDUÁRIA DO
BENEFICIAMENTO DE FRUTOS DE CAFÉ

FREDERICO LOPES RAPOSO FILHO

Vitória, Espírito Santo

2013

Frederico Lopes Raposo Filho

CRESCIMENTO, TEORES E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM PLANTAS
DE MILHO FERTIRRIGADAS COM ÁGUA RESIDUÁRIA DO
BENEFICIAMENTO DE FRUTOS DE CAFÉ

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Biologia Vegetal do Centro de
Ciências Humanas e Naturais da
Universidade Federal do Espírito
Santo, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em
Biologia Vegetal.

Orientadora: Dr.^a Adelaide de Fátima Santana da Costa

Coorientador: Dr.^o Aureliano Nogueira da Costa

VITÓRIA - ESPÍRITO SANTO

OUTUBRO – 2013

Dedico esse trabalho aos meus familiares, em especial à minha esposa e filha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter iluminado o meu caminho até hoje.

À Universidade Federal do Espírito Santo, pelo ensino e infra-estrutura disponibilizados na minha formação.

À minha esposa Emmeline Pin por me incentivar e tranquilizar nos momentos de angústia.

À minha filha Alice Raposo pela inspiração que me proporcionou.

À Prof.^a Dr.^a Adelaide de Fátima Santana da Costa pela orientação nesse mestrado.

Ao Prof.^o Dr.^o Aureliano Nogueira da Costa pela contribuição para que eu pudesse realizar esse mestrado.

Aos amigos de turma do PPGBV/2012, pelos agradáveis momentos.

Ao Ricardo Celestino, secretário do programa, pelas orientações administrativas.

Aos professores do Programa do PPGBV, pelos ensinamentos e auxílio nas etapas do curso.

À Banca examinadora pelo aceite ao convite.

Ao Prof.^o Dr.^o Marco Antonio Galeas Aguilar pelos relevantes ensinamentos em estatística experimental.

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural do Espírito Santo, pela contribuição nas análises de solo e folha.

Às mestrandas Mariana Morozesk e Marina Bonomo pela colaboração na realização dos procedimentos laboratoriais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes do fruto do cafeeiro	11
Figura 2 - Crescimento da planta em função da concentração de nutrientes no tecido vegetal. NDC – nível crítico de deficiência. NCT – nível crítico de toxidez.	22
Figura 3 – Matéria seca da parte aérea de plantas de milho em função das doses de ARC.....	42
Figura 4 – Área foliar de plantas de milho em função das doses de ARC	44
Figura 5 – Diâmetro médio do caule das plantas de milho em função das doses de ARC.....	45
Figura 6 - Relação matéria seca da parte aérea/matéria seca do sistema radicular das plantas de milho em função das doses de ARC	46
Figura 7 – Razão de área foliar (área foliar/matéria seca total) das plantas de milho em função das doses de ARC	47
Figura 8 – RMR das plantas de milho em função das doses de ARC.....	48
Figura 9 – Teor de N na parte aérea de plantas de milho em função de doses de ARC.....	50
Figura 10 – Teor de P na parte aérea de plantas de milho em função de doses de ARC.....	52
Figura 11 – Teor de K na parte aérea de plantas de milho em função de doses de ARC.....	53
Figura 12 – Teores de Ca (A) e Mg (B) na parte aérea de plantas de milho em função de doses de ARC.....	55
Figura 13 – Teor de S na parte aérea de plantas de milho em função de doses de ARC.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos essenciais às plantas superiores, formas disponíveis para as plantas e massa atômica.....	20
Tabela 2 – Classes de interpretação para avaliação de resultados de análise de solo.....	35
Tabela 3 – Quantidade de nutrientes recomendado para a cultura do milho	36
Tabela 4 – Teores foliares de macro e micronutrientes considerados adequados para o milho.....	37
Tabela 5 - Características do solo utilizado.....	38
Tabela 6 - Características físicas e químicas da ARC	39
Tabela 7 – Correlação entre as variáveis de crescimento das plantas de milho..	49
Tabela 8 – Correlação entre as variáveis de crescimento e o teor dos nutrientes na parte aérea das plantas de milho.	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Constituição do fruto do cafeeiro	11
2.2 Processamento dos frutos do cafeeiro	12
2.2.1 Lavagem e separação dos frutos	13
2.2.2 Processamento por via úmida.....	13
2.3 Resíduos gerados no processamento via úmida dos frutos do cafeeiro.....	14
2.3.1 Resíduos líquidos.....	15
2.3.1.1 Caracterização da água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro	15
2.4 Benefícios do reúso da água residuária para fins agrícolas	17
2.5 Nutrição Mineral de Plantas.....	19
2.5.2 Função dos nutrientes minerais - macronutrientes.....	22
2.5.2.1 Nitrogênio	22
2.5.2.2 Fósforo	24
2.5.2.3 Potássio.....	26
2.5.2.4 Cálcio.....	29
2.5.2.5 Magnésio	31
2.5.2.6 Enxofre	33
2.6 Necessidades nutricionais da cultura do milho	34
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1 Análise de crescimento.....	42
4.2 Correlação entre as variáveis de crescimento	48
4.3 Teor de nutrientes na parte aérea	50
4.4 Correlação entre as variáveis de crescimento e o teor dos nutrientes na parte aérea	59
5 CONCLUSÕES	62
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

RESUMO

A cultura do cafeeiro sempre ocupou lugar de destaque na economia do país, dada sua importância na área econômica e social, buscando cada vez mais, um mercado diferenciado, com novas tecnologias para a melhoria da qualidade da bebida. A atividade de lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro, necessária para a redução do custo de secagem e a melhoria da qualidade de bebida, é geradora de grandes volumes de resíduos sólidos e líquidos, ricos em material orgânico e inorgânico. A água residuária da atividade de beneficiamento do café (ARC) é gerada anualmente em grande volume no Espírito Santo, e aliado aos nutrientes existentes nesse efluente indica a sua viabilidade de reaproveitamento na fertirrigação de culturas agrícolas. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses de água residuária de café no crescimento, na absorção e interação entre nutrientes e no estado nutricional do milho. Para tanto, foi conduzido um experimento em casa de vegetação utilizando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, onde foram aplicadas 7 doses de ARC, com 3 repetições, em unidades experimentais constituídas por vasos com 2 dm³ de solo. As doses foram equivalentes a 0,00, 15,17, 30,35, 45,52, 60,70, 75,87 e 91,05 litros de ARC por m² de solo. Realizou-se a semeadura de cinco sementes de milho híbrido BR 206 por vaso e cinco dias após a germinação das plantas foi feito o desbaste, mantendo-se três plantas por vaso. Aos trinta dias após a germinação determinou-se o diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca do sistema radicular (MSR), relação parte aérea/raiz (MSPA/MSR), razão massa radicular (matéria seca raiz/matéria seca total) e razão área foliar (área foliar/matéria seca total). Na parte aérea das plantas foi determinado os teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S). Os dados foram submetidos a análise de variância e as variáveis em função das doses de ARC submetidas a análise de regressão. Para as variáveis dependentes foi calculado o coeficiente de correlação linear de Pearson. A ARC serviu como fonte de nutrientes para as plantas de milho, aumentou o rendimento da maioria das variáveis de crescimento e os teores de N, K e S. Porém diminuiu o teor de Ca, Mg e P da parte aérea das plantas além de indicar que altas doses promovem desbalanceamento na relação entre nutrientes.

ABSTRACT

The coffee production always held a prominent place in the national economy, due to its importance in the economic and social community, looking for a distinct market with new technologies to improve the beverage quality. The activities of washing and pulping coffee, necessary to reduce drying costs and improve the quality of beverage, generates a large amount of solid and liquid waste which has a notable rates of organic and inorganic material. The residual water from processing coffee activity (RWC) has been generated every year in a large volume in Espírito Santo and the presence of nutrients indicates the viability to its reuse in fertigation of crops. The aim of this study was to evaluate the effect of different doses of residual water of coffee on growth, absorption, interaction of nutrients and the nutritional condition of corn (*Zea mays L.*). In this context, the experiment was conduct in a greenhouse applying the completely randomized design, where seven RWC doses were applied with three repetitions in experimental unities composed by vases with 2 dm³ of soil. The dosages had the following concentrations: 0.00, 15.17, 30.35, 45.52, 60.70, 75.87 and 91.05 liters of ARC per m² of soil. The seeding were performed using five seeds of BR 206 hybrid corn per vase and after five days were made the thinning, maintaining only three plants per vase. On the 30th day after germination, the following measurements were determined: stem diameter (SD), leaf area (LA), shoot dry matter (SDM), root dry matter (RDM), shoot/root ratio (SDM/RDM), root mass ratio (root dry weight / total dry matter) and leaf area ratio (leaf area / total dry matter). Aerial part of plants was used to established the levels of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg and S). The data were subjected to analysis of variance and the doses of RWC were adjusted in regression models. For dependent variables was calculated the Pearson linear correlation coefficient. The application of ARC served as a fertilization input to corn crop, increasing most of the growth variables and N, K and S levels. However, it caused a decrease in shoot Ca, Mg and P levels, indicating that high dosages promote a disturb in nutrient relations.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do cafeeiro sempre ocupou lugar de destaque na economia do país, dada sua importância na área econômica e social, buscando cada vez mais, um mercado diferenciado, com novas tecnologias para a melhoria da qualidade da bebida. Atualmente, um novo fato agrega-se a sustentabilidade da atividade da cafeicultura: a preservação ambiental.

A atividade de lavagem e despulpagem de frutos do cafeeiro, necessária para a redução do custo de secagem e a melhoria da qualidade de bebida, é geradora de grandes volumes de resíduos sólidos e líquidos, ricos em material orgânico e inorgânico.

O processamento do fruto do café pode ser por via seca ou via úmida. No processamento por via úmida, os frutos do cafeeiro passam pelo lavador, onde são lavados e separados os “bóias” dos verdes e “cerejas”, e pelo descascador, onde os cerejas são descascados e separados dos verdes, obtendo-se, assim, o cereja descascado e a casca. O cereja descascado pode passar pelo desmucilador ou pelo tanque de degomagem, nos quais se retira a mucilagem dos grãos. A água é o elemento condutor dos frutos na unidade de processamento, e a ela se juntam resíduos dos frutos, formando a água residuária do processamento do café - ARC (SOARES et al., 2007).

Com as tecnologias em uso na lavagem, descascamento/despulpamento e a desmucilagem, sem a prática da recirculação, gera-se em torno de 3 a 5 litros de água residuária para cada litro de fruto beneficiado (MATTOS e LO MONACO, 2003). Estima-se que são gerados anualmente no Estado do Espírito Santo aproximadamente 3.000.000 de metros cúbicos de ARC.

O descascamento/despulpamento de café via úmida pode, por um lado, representar ganhos na qualidade dos grãos de café, mas por outro lado aumentar a geração de efluentes líquidos, podendo, se não forem adotadas medidas pertinentes, provocar contaminações em corpos hídricos superficiais e subterrâneos, e ainda gerar maus odores e a proliferação de insetos e vetores.

Uma alternativa ao destino de águas residuárias ricas em material orgânico é o seu uso em fertirrigação, aproveitando os nutrientes nela contidos para substituir parte da adubação de culturas agrícolas e atendimento de suas exigências nutricionais (LO MONACO, 2005; MATOS, 2008; SOARES et al., 2008). O potássio é o elemento presente em maior concentração na ARC, podendo alcançar concentrações da ordem de 1.140 mg/L (MATTOS e LO MONACO, 2003), e além do potássio outros nutrientes também estão presentes, como o nitrogênio o fósforo e o cálcio, indicando que esse resíduo possui relevante valor fertilizante.

Segundo Lo Monaco (2005), se realizada adequadamente, a fertirrigação com ARC pode possibilitar o aumento da produtividade e da qualidade dos grãos colhidos, reduzir a poluição ambiental, além de promover melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo.

A tendência de crescimento da atividade de beneficiamento de café via úmida a fim de se produzir um grão de café de melhor bebida, o alto volume de água residuária gerada anualmente no Espírito Santo e a possibilidade de sua utilização na fertirrigação visando o fornecimento de nutrientes para as culturas agrícolas aliado a escassez de trabalhos relativos ao uso da ARC na agricultura, faz com que seja relevante um estudo para se identificar as respostas fisiológicas de culturas agrícolas à aplicação de ARC.

Portanto, neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito de diferentes doses de água residuária do processamento do fruto de café no crescimento, na absorção e interação entre nutrientes e no estado nutricional de plantas de milho CULTIVAR BR 206.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Constituição do fruto do cafeeiro

O fruto do cafeeiro é formado pelo grão (endosperma + embrião), que é envolvido pelo pergaminho ou endocarpo, pela polpa ou mesocarpo e pela casca ou epicarpo, conforme visualizado na Figura 1, extraída de Matos e Lo Monaco (2003). Existe uma clara distinção entre a casca (epicarpo) e a polpa (mesocarpo), porém, por critérios práticos, tem sido denominado de polpa o conjunto constituído pela casca e pela polpa, propriamente dita.

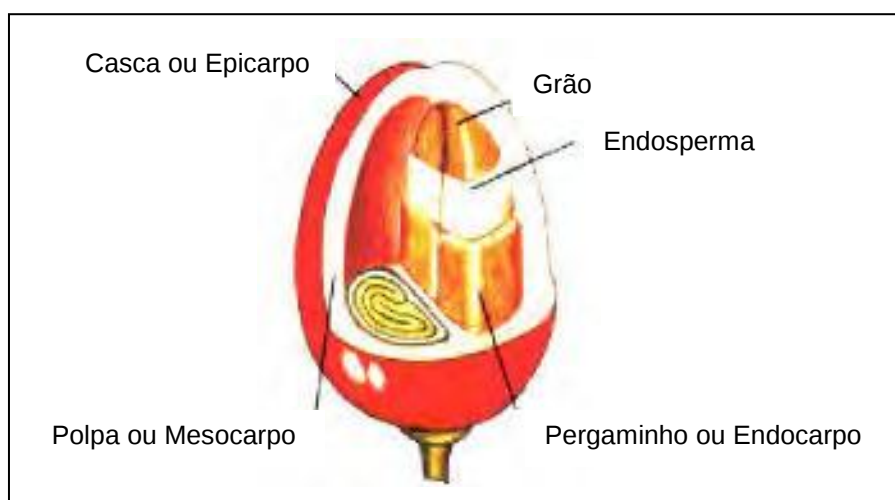


Figura 1 – Componentes do fruto do cafeeiro

Fonte: Matos e Lo Monaco (2003)

De natureza celulósica, o pergaminho do fruto do cafeeiro é a parte anatômica que envolve o grão e representa cerca de 12%, em termos de matéria seca, do grão de café.

Segundo Matos e Lo Monaco (2003), a mucilagem está presente em uma espessura de aproximadamente 0,5 a 2 mm e está fortemente aderida ao pergaminho, representando cerca de 5% da matéria seca do grão. Do ponto de vista físico, os mesmos autores abordam que ela é constituída por um sistema coloidal líquido e liofílico. Elias (1978) cita que a mucilagem, quimicamente, é constituída por água, pectinas, açúcares e ácidos orgânicos e, portanto, constitui

um excelente substrato para o crescimento de fungos, bactérias e outros organismos, o que pode levar a deterioração do grão de café.

A polpa é o resíduo da despulpa úmida de frutos tipo “cereja”, sendo composta pelo epicarpo e por parte do mesocarpo (MATIELLO, 1991). Segundo Elias (1978), a polpa é o primeiro resíduo gerado no processamento do fruto do cafeeiro e representa cerca de 29% da matéria seca do fruto, havendo uma variação em função do estado de maturação, das condições climáticas dominantes durante o desenvolvimento dos frutos e da variedade de cafeeiro cultivada. De acordo com Vasco (2000), a polpa é constituída, predominantemente, por carboidratos, proteínas, cafeína e taninos, além de potássio, nitrogênio e sódio.

2.2 Processamento dos frutos do cafeeiro

Um produto de boa qualidade, que reúna as características de tipo e qualidade exigidas pelo mercado interno e, principalmente, pelo externo, é obtido através de um adequado processamento pós-colheita do fruto e do grão de café. Várias são as etapas envolvidas no processamento do fruto e do grão de café, sendo que todas devem ser executadas de maneira adequada e cuidadosa (NOGUEIRA, 1986).

A colheita da forma como é realizada no Brasil, gera uma massa de café desuniforme constituída de uma mistura de frutos verdes, maduros e secos, folhas, ramos, torrões e pedras, devendo ser limpo e separado nas suas diversas frações, para que possam ser conduzidos para a secagem em lotes separados para que os frutos cereja, sejam submetidos ao descascamento (LO MONACO, 2005).

Segundo o mesmo autor, o processamento por via seca dá origem aos cafés denominados coco ou de terreiro. Já no processamento por via úmida, que consiste na secagem dos frutos sem a polpa, o fruto é submetido ao processo de descascamento e/ou despulpamento, seguido ou não da desmucilagem, dando origem ao café cereja descascado ou despulpado e desmucilado.

2.2.1 Lavagem e separação dos frutos

Segundo Silva et al., (2001), a lavagem ou separação é uma operação importante, tanto para o preparo por via seca como por via úmida pois, dentre outros benefícios, reduz o desgaste das máquinas durante o descascamento, a secagem e o beneficiamento. Os autores afirmaram ainda que a separação dos cafés “bóias” do “cereja”, além de evitar a mistura de produto de qualidade inferior, possibilita secagem e coloração homogêneas e, conseqüentemente, a obtenção de um produto de melhor qualidade.

Os lavadores utilizados na lavagem e separação dos frutos do cafeeiro são os de alvenaria, também conhecidos como lavador “Maravilha”, e os industrializados ou lavadores mecânicos.

O lavador “Maravilha” é constituído por um tanque de alvenaria e uma calha metálica com saída ramificada e provida de fundo falso, onde o material de maior massa específica (“cereja”, “verdoengos” e impurezas pesadas) se deposita. Possui ainda, um sistema de turbilhonamento (injetor de água sob pressão controlada) que separa os cafés pesados das pedras, retornando-os à superfície onde se encaminha pela calha dos “cerejas”. Uma das grandes desvantagens do lavador “Maravilha” é o consumo exagerado de água, que, dependendo do projeto e das impurezas dos frutos, poderá ser superior a cinco litros para cada litro de fruto do cafeeiro.

Já os lavadores mecânicos consomem uma quantidade inferior de água comparado ao lavador “Maravilha”. De acordo com Lo Monaco (2005), o consumo de água desses lavadores é em média um litro de água para cada trinta litros de café. Essa grande diferença deve-se ao fato de que no lavador “Maravilha” grande parte da água é usada para o transporte dos frutos, enquanto no lavador mecânico o transporte é feito mecanicamente (SILVA et al., 2001).

2.2.2 Processamento por via úmida

O processamento por via úmida dá origem aos grãos de café descascados e despulpados, que alcançam boas cotações no mercado, por proporcionarem a produção de bebida suave. O Estado do Espírito Santo, embora

reconhecidamente um grande produtor de café, beneficia a maior parte de sua produção pela via seca. Apesar disso, alguns produtores começaram a fazer opção pelo processamento do fruto tipo cereja, descascando-o ou despolpando-o, principalmente em regiões montanhosas com boa disponibilidade de água.

O processo de lavagem e separação dos frutos colhidos no processamento via úmida são iguais aos utilizados no processamento por via seca, diferenciando-se na fase seguinte onde os grãos a serem beneficiados pela via úmida são encaminhados para um descascador para a retirada da casca do fruto maduro, podendo posteriormente, caso haja interesse, retirar também a mucilagem através de desmucilador.

De acordo com Matiello (1999), para a retirada da casca do café os descascadores pressionam os frutos contra um cilindro de chapa metálica, contendo “mamilos”, e um encosto de borracha, fazendo com que as cascas saiam por um lado e os grãos envolvidos pelo pergamino e a mucilagem, por outro.

Após o descascamento dos frutos “cereja”, o grão de café pode ser encaminhado para que seja realizado a desmucilagem, que é executada sem ou com degomagem prévia. Optando-se pela degomagem prévia, após o descascamento, os grãos de café são conduzidos a tanques de alvenaria com água onde sofrem fermentação por um período de 12 a 24 horas, para facilitar o desprendimento da mucilagem aderida ao grão (LO MONACO, 2005). Caso a desmucilagem seja feita sem a degomagem prévia, os grãos são conduzidos diretamente aos desmuciladores mecânicos, que são equipamentos verticais, de fluxo ascendente e possuem um helicóide movimentando o grão de café em um colindro canelado, com pequeno fluxo de água (150 a 200 L/h). Esse equipamento retira de 80 a 90% da mucilagem, o que reduz o tempo de secagem e evita o desenvolvimento de fungos nos grãos, que prejudicam a qualidade da bebida do café (MOREIRA, 1999).

2.3 Resíduos gerados no processamento via úmida dos frutos do cafeeiro

Segundo Pinto (2001), os resíduos provenientes do processamento via úmida dos frutos do cafeeiro podem ser divididos em resíduos sólidos como folhas, cascas,

polpa, borra etc. e resíduos líquidos ou águas residuárias, constituídos pelos efluentes gerados na lavagem, tanques de fermentação, despulpadores e desmuciladores.

De acordo com Caielli (1986), a produção de polpa de fruto do cafeeiro é aproximadamente igual à metade da massa do seu fruto em coco, ou seja, para cada tonelada deste produto beneficiado produz-se 500 kg de polpa e 500 kg de café beneficiado.

2.3.1 Resíduos líquidos

A água residuária possui elevada carga orgânica e pode trazer muitos problemas para corpos hídricos receptores se forem lançadas sem tratamento prévio (MATOS e LO MONACO, 2003).

Com as tecnologias em uso na lavagem, descascamento/despolpa e desmucilagem gera-se em torno de 3 a 5 litros de água para cada litro de frutos (MATOS e LO MONACO, 2003). Desse modo, a atividade de lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro é geradora de grandes volumes de águas residuárias, ricas em material orgânico em suspensão e constituintes orgânicos e inorgânicos em solução, de grande poder poluente (MATOS, 2003).

2.3.1.1 Caracterização da água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro

As águas residuárias produzidas no processamento dos frutos do cafeeiro apresentam elevados valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio), e também elevada concentração de sólidos totais, dos quais a maior parte é composta por sólidos voláteis totais (SVT) que podem ser removidos, em grande parte, por tratamento biológico (MATOS e LO MONACO, 2003).

Campos (1993) afirmou que as águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro, quando lançadas em corpos hídricos receptores, rapidamente formam zonas anóxicas como resultado de sua estabilização anaeróbica, gerando, como subprodutos da degradação do material orgânico, metano, fenóis e ácido sulfídrico, os quais exalam odores desagradáveis. Além disso, as águas

residuárias apresentam, em sua constituição, cafeína, taninos e polifenóis compostos, possivelmente tóxicos às plantas e flora aquática (SOCOOL et al., 1999).

De acordo com Prezotti et al., (2012), a ARC contém diversos nutrientes solúveis capazes de promover a autrofização dos mananciais, colocando em risco a qualidade das águas e possibilitando o desenvolvimento excessivo de plantas aquáticas.

Matos e Lo Monaco (2003) encontraram valores de DBO da ordem de 3.374 mg/L em amostras de água residuária proveniente de despulpador, o que indica que esse resíduo necessita ser tratado antes do seu lançamento em corpos hídricos receptores visando atender os padrões definidos na Resolução Conama 357/2005. Os mesmo autores afirmam que a taxa de degradação do material orgânico contido nas águas residuárias é relativamente baixo, provavelmente em razão de efeitos tóxicos produzidos por alguns dos constituintes químicos presentes nas águas residuárias dos frutos do cafeeiro sobre os microorganismos.

No Estado do Espírito Santo, o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) publicou a Instrução Normativa nº 013, de 17 de dezembro de 2007 (IEMA, 2007), que estabelece as diretrizes para o licenciamento ambiental da atividade de beneficiamento de café. Essa norma orienta para que a ARC seja tratada através de lagoas de estabilização ou usada em fertirrigação.

Ferreira et al., (2006), ao avaliarem a composição química da água residuária da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro Conilon, encontraram valores médios de condutividade elétrica, fósforo total e potássio iguais a 0,99 dS/m; 13,9 mg/L, e 204 mg/L, respectivamente.

Existe uma grande variação nas concentrações dos nutrientes das águas residuárias produzidas no processamento dos frutos do cafeeiro. Em um estudo objetivando caracterizar a concentração de nutrientes em águas residuárias, Prezotti et al., (2009) coletou amostras de águas residuárias em 40 propriedades nas diferentes etapas do processamento dos frutos do café, obtendo valores que variaram de 1,5 a 875 mg de potássio por litro de ARC.

O valor fertilizante das águas residuárias produzidas no processamento dos frutos do cafeeiro, é forte indicativo da possibilidade de sua utilização em sistemas solo-planta, como forma de tratamento/disposição desse efluente.

2.4 Benefícios do reúso da água residuária para fins agrícolas

A reutilização de águas residuárias em irrigação de culturas é viável, mas, quando usada de maneira planejada e controlada obtendo-se benefícios econômicos, ambientais e de saúde pública.

O uso agrícola, além de evitar o lançamento de água residuária em corpos de água, custa menos que o tratamento convencional e melhora as condições físicas, químicas e biológicas do solo (TAYLOR e NEAL, 1982).

Feigin et al., (1991) comenta que a aplicação de resíduos orgânicos e águas residuárias no solo é considerada uma forma de tratamento e de disposição final. Segundo Paganini (1997) os tratamentos convencionais mineralizam a matéria orgânica das águas residuárias, sendo os nutrientes lançados nos corpos receptores.

Segundo Ayres e Westcont (1991), a agricultura pode tolerar águas de qualidade mais baixa que as requeridas pela indústria e para uso doméstico, portanto, há uma tendência para se encontrar na agricultura a solução dos problemas relacionados com a disposição final das águas servidas.

Para Der Hoeck et al., (2002), a reutilização da água se apresenta vantajosa quando, com isso, é possível preservar os recursos hídricos disponíveis; contribuir para o aporte e a reciclagem de nutrientes, o que possibilita a diminuição da utilização de fertilizantes químicos.

A utilização das águas residuárias tratadas na agricultura é importante, segundo Sandri et al., (2007), não apenas por servir como fonte de água extra, mas também de nutrientes para as culturas.

Pesquisas realizadas em vários países demonstram que o aproveitamento da água residuária apresenta benefícios econômicos e ambientais, advindos dos nutrientes incorporados nas águas residuais, podendo aumentar os rendimentos

das culturas tanto ou mais, quando comparado ao uso de fertilizantes químicos (MURRAY e RAY, 2010).

A aplicação de nutrientes na agricultura oriundos de águas residuárias reduz significativamente ou mesmo elimina a necessidade do uso de fertilizantes comerciais trazendo benefícios econômicos (MEDEIROS, 2007). Além desse benefício, o uso de águas residuárias na irrigação proporciona o aumento de produtividade, devido à presença de matéria orgânica nessas águas que age como condicionador do solo aumentando sua capacidade de reter água (HESPANHOL, 2003).

Souza et al., (2001) citam que a reutilização de águas residuárias na agricultura evita ou diminui a utilização de adubos minerais e, conseqüentemente, agrega pelo menos três vantagens:

1. Dispensa fertilizantes minerais;
2. Elimina a provável contaminação das águas subterrâneas e superficiais por fertilizantes;
3. Supre a escassez de água para fins domésticos.

O reúso da ARC na fertirrigação é altamente recomendável para a disposição/tratamento dessas águas, pois nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio podem ser aproveitados substituindo parte das adubações em áreas agrícolas cultivadas (MATOS e LO MONACO, 2003). Segundo esses autores, a fertirrigação com água residuária, se praticada com o devido cuidado, possibilita redução da poluição ambiental, além da melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo e, como consequência, aumento na produtividade e qualidade dos produtos colhidos.

Por outro lado, a combinação de economia com produtividade requer manejo adequado, pois, do contrário, a fertirrigação com águas residuárias pode ficar comprometida por excesso de nutrientes (BASTOS et al., 2003).

Para Medeiros (2007), o uso não administrado de águas residuárias pode provocar alguns efeitos negativos, como: poluição por nitratos que podem atingir

as águas subterrâneas, poluição do solo por elementos tóxicos, orgânicos e inorgânicos.

Diante do exposto, observa-se que a prática do reuso das águas residuárias para fins agrícolas deve ser feita dentro de políticas de gestão de recursos hídricos e considerando critérios técnicos apurados, objetivando suprir a demanda dos elementos nutrientes das culturas agrícolas e reduzir a problemática da poluição ambiental.

2.5 Nutrição Mineral de Plantas

A nutrição mineral é parte da fisiologia vegetal que estuda o modo como as plantas absorvem, transportam e assimilam elementos minerais (MARENCO e LOPES, 2011). Esses autores comentam que a nutrição mineral tem sido objeto de pesquisas importantes nas últimas décadas, pois a produtividade das culturas depende da adubação do solo com nutrientes minerais.

Diversos elementos químicos são indispensáveis à vida vegetal já que, sem eles, as plantas não conseguem completar o seu ciclo de vida (RAIJ, 1991). Para esse autor, existe uma diferença na conceituação de nutrientes do ponto de vista de fisiologia vegetal e de fertilidade do solo. Do ponto de vista fisiológico, todos os elementos essenciais são nutrientes, porém, os nutrientes minerais, são àqueles que tem sua origem no solo.

Para ser considerado um nutriente, segundo Marengo e Lopes (2011) o elemento deve preencher pelo menos um dos seguintes requisitos: (1) ser essencial ao crescimento e ao desenvolvimento da planta, de forma que, na sua ausência, esta seja incapaz de completar o seu ciclo de vida; (2) a essencialidade deve ser absolutamente específica, não podendo o elemento ser substituído na sua totalidade por outro; (3) o elemento deve ter uma função específica dentro da célula, como ser parte de um composto essencial, catalizador e^oenzimático ou regulador osmótico; e (4) deve ser essencial à maioria das plantas superiores.

Os elementos essenciais às plantas superiores são carbono, oxigênio, hidrogênio e os outros 14 elementos relacionados na Tabela 1, sendo que carbono, oxigênio

e hidrogênio representam normalmente mais de 90% da matéria seca (EPSTEIN, 1972).

Tabela 1 - Elementos essenciais às plantas superiores, formas disponíveis para as plantas e massa atômica

Elemento	Símbolo químico	Forma disponível para as plantas	Massa atômica
Não-minerais			
Carbono	C	CO ₂	12,01
Oxigênio	O	O ₂ , H ₂ O	16,00
Hidrogênio	H	H ₂ O	1,01
Minerais			
<u>Macronutrientes</u>			
Nitrogênio	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	14,01
Fósforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	30,98
Potássio	K	K ⁺	39,10
Cálcio	Ca	Ca ²⁺	40,08
Magnésio	Mg	Mg ²⁺	24,32
Enxofre	S	SO ₄ ²⁻	32,07
<u>Micronutrientes</u>			
Ferro	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	55,85
Zinco	Zn	Zn ²⁺	65,38
Cobre	Cu	Cu ⁺ , Cu ²⁺	63,54
Manganês	Mn	Mn ²⁺	54,94
Boro	B	H ₃ BO ₃	10,82
Cloro	Cl	Cl ⁻	35,46
Molibdênio	Mo	MoO ₄ ²⁻	95,95
Níquel	Ni	Ni ²⁺	58,71

Fonte: Marenco e Lopes (2011)

Os elementos requeridos em altas concentrações são chamados de macronutrientes, e os de baixa concentrações, micronutrientes (MENGEL e KIRKBY, 1987). Esses autores, em função de que alguns elementos como Zn e Ni podem apresentar concentrações superiores àquelas dos macronutrientes em espécies acumuladoras de metais pesados, propuseram outro sistema de classificação, que utiliza como critérios as funções bioquímicas dos elementos, separando-os em quatro grupos, quais sejam: os principais constituintes da matéria orgânica (carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre); os elementos que têm facilidade de formar ligações do tipo éster (fósforo, boro e em algumas plantas silício); os que atuam na ativação enzimática, potencial osmótico, balanço de íons e potencial elétrico (potássio, magnésio, manganês e cálcio); e o último composto

pelos elementos que estão presentes principalmente na forma de quelatos e são importantes no transporte de elétrons (ferro, cobre, zinco, molibdênio e níquel).

Raij (1991), propôs uma classificação dos nutrientes minerais não só em função das quantidades exigidas pelas plantas, mas principalmente pela sua importância prática. Os macronutrientes foram divididos em primários (nitrogênio, fósforo e potássio) e secundários (enxofre, cálcio e magnésio). Os primários são comercializados e atingem dezenas de milhares de toneladas e tem custo mais elevado que os nutrientes secundários. Os secundários, principalmente cálcio e magnésio, são aplicados aos solos em quantidades superiores às dos macronutrientes primários, principalmente na forma de corretivo de acidez.

No que se refere aos mecanismos de absorção dos nutrientes, três processos atuam: difusão, através da solução do solo; fluxo de massa, acompanhando o movimento da água; e interceptação radicular, por meio do contato direto da raiz com o elemento (BARBER e OLSON, 1968; COREY, 1973; MARENCO e LOPES, 2011).

Um exemplo da importância dos três processos na absorção de macronutrientes na cultura do milho é relatado por Barber e Olson (1968). Esses autores citam que para o Nitrogênio predomina o fluxo de massa, para o fósforo e o potássio atua principalmente a difusão e cálcio, magnésio e enxofre o fluxo de massa.

Já a mobilidade dentro da planta, os nutrientes minerais podem ser classificados em móveis (N, P, K, Mg, S, Cl, Ni), imóveis (B, Ca) e de mobilidade intermediária (Zn, Fe, Mn, Cu, Mo) (EPSTEIN, 1972; MARSCHNER, 1995).

2.5.1 Requerimento quantitativo dos elementos essenciais

Os elementos essenciais podem ser encontrados na planta em níveis deficientes, adequados ou tóxicos conforme demonstrado na Figura 2, extraído de Marengo e Lopes, (2011). A faixa de deficiência, suficiência e tóxica é bastante ampla para macronutrientes e estreita para micronutrientes. De forma geral, a exposição da planta a concentrações baixas ou elevadas de um elemento qualquer provoca redução no seu crescimento ou toxidez respectivamente, sendo nesse último caso podendo levar até à morte da planta.

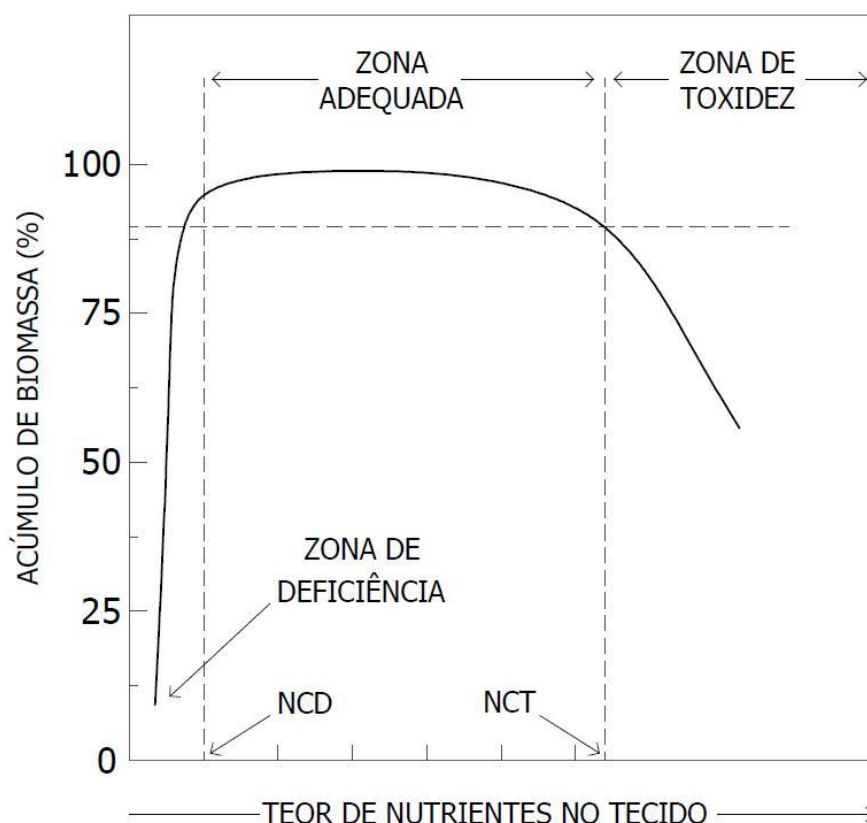


Figura 2 - Crescimento da planta em função da concentração de nutrientes no tecido vegetal. NCD – nível crítico de deficiência. NCT – nível crítico de toxidez.

Fonte: Marengo e Lopes (2011)

2.5.2 Função dos nutrientes minerais - macronutrientes

2.5.2.1 Nitrogênio

Segundo Epstein (1972) e Marschner (1995), nos sistemas cultivados o nitrogênio é absorvido principalmente na forma de nitrato, enquanto nos sistemas naturais predomina a absorção de amônio. É o elemento mineral mais abundante nas plantas (RAIJ, 1991; MARENCO e LOPES, 2011).

Dentre os papéis do nitrogênio na planta destaca-se sua participação na síntese de aminoácidos, constituintes de proteínas, e na formação de ácidos nucléicos e outros compostos importantes no metabolismo celular (MARENCO e LOPES, 2011).

A maior parte do nitrogênio da folha (70%) encontra-se nos cloroplastos, fazendo parte da molécula de clorofila; conseqüentemente, conforme preconizado por Evans (1983; 1989), há uma correlação positiva entre o teor de N e o de clorofila, e também entre o conteúdo de N foliar e a atividade fotossintética. O teor de nitrogênio na planta também influencia o padrão de distribuição de carboidratos, o que indica uma forte correlação entre o teor de nitrogênio e a produção de biomassa (LAWLOR, 2002).

Estudos tem demonstrado que o nitrogênio interage com outros nutrientes minerais, onde pode-se citar proporções de N/P de 10 a 12 e N/S de 20 a 30 consideradas adequadas (MARSCHNER, 1995).

Segundo Kumar e Aprot (1990), a planta assimila o amônio proveniente da redução do nitrato absorvido da solução do solo, da descarboxilação da glicina durante a fotorrespiração, do metabolismo de amidas e ureídeos, da degradação de proteínas (proteólise) durante a senescência e do catabolismo de certos aminoácidos como a arginina.

O amônio (NH_4^+) é rapidamente metabolizado, pois é um íon tóxico, ainda que em quantidade relativamente baixa, pelo fato de interferir na produção de ATP. Sua assimilação se dá predominantemente pela via da glutamina sintetase (GS) e glutamina oxoglutarato aminotransferase (GOGAT) e em outra rota que pode estar envolvida a enzima glutamato desidrogenase (GDH) (MARENCO e LOPES, 2011).

Milfin e Habash (2002); Dubois et al., (2003), têm sugerido que o principal papel da GDH pode estar mais relacionado à reciclagem do carbono na célula, ao intermediar a produção de 2-oxoglutarato em tecidos em déficit de carbono.

No que se refere às respostas das culturas à aplicação de nitrogênio, Cantarella e Raj (1986) observaram respostas positivas de produtividade em aproximadamente 50% dos ensaios de adubação nitrogenada conduzido com oito culturas no Estado de São Paulo. Como esses resultados se referem a experimentos realizados há vários anos, é propável que atualmente as respostas sejam mais acentuadas.

Na cultura do abacaxi, o N aplicado propicia frutos de maior tamanho, mas, em contrapartida, tende a reduzir os teores de sólidos solúveis e a acidez (MARTINS e VENTURA, 2011). Resposta de crescimento da parte aérea e sistema radicular das culturas de feijão, milho, arroz e soja à aplicação de N foram testadas por Fageria (1994), sendo observado por esse autor redução no crescimento quando o N foi suprimido.

Plantas deficientes em nitrogênio apresentam-se amareladas e com crescimento reduzido, têm seu ciclo encurtado e com clorose nas folhas mais velhas por ser um elemento facilmente translocável (RAIJ, 1991; MARENCO e LOPES, 2011). Especificamente na cultura do milho, a deficiência se manifesta também através da coloração roxa nos caules, pecíolos e nas folhas inferiores devido ao acúmulo de antocianina, provavelmente devido ao redirecionamento do excesso de carboidratos para a síntese de tais pigmentos (TAIZ e ZEIGER, 2002).

Outros sintomas de deficiência se manifestam pelo ângulo agudo entre caule e folhas, dormência de gemas laterais, redução no perfilhamento; senescência precoce e folhas menores devido ao menos número de células (MALAVOLTA et al., 1997).

Já o excesso de nitrogênio em plantas pode causar um crescimento vegetativo exuberante, em detrimento da produção de tubérculos e raízes, maior susceptibilidade a doenças (RAIJ, 1991; MARENCO e LOPES 2011) e pode haver redução na frutificação (MALAVOLTA et al., 1997).

2.5.2.2 Fósforo

O fósforo representa entre 0,2% e 0,5% da biomassa vegetal (RAGHOTHAMA, 1999; SCHACHTMAN et al., 1998) e, no solo, encontra-se na formas orgânicas e inorgânicas. Do P inorgânico total na planta 85 a 90% está localizada no vacúolo (MARENCO e LOPES, 2011), também chamado por esses autores de compartimento não metabólico.

Esse elemento é absorvido preferencialmente como H_2PO_4^- , consequência não só do efeito do pH na abundância dessa espécie iônica em solução, mas também de

um marcante decréscimo de adsorção de fósforo com a elevação do pH da solução (MENGEL e KIRKBY, 1987).

Segundo Schachtman et al., (1998), as plantas priorizam a formação de raízes e aumentam sua taxa de absorção, translocam P das folhas mais velhas e removem as reservas de P do vacúolo quando o fornecimento de fosfato inorgânico é limitado.

Os processos que envolvem a absorção do P não estão completamente esclarecidos, porém, para Marengo e Lopes (2011), o mais provável é que o P atravessasse a membrana como co-transporte com o H^+ através dos mecanismos de alta afinidade onde predomina na absorção de P inorgânico em solos deficientes em fósforo e o segundo, chamado de baixa afinidade, que tem alto K_m (50 a 330 μM).

O fósforo participa de um grande número de compostos das plantas, essenciais em diversos processos metabólicos (RAIJ, 1991), estando presente também nos processos de transferência de energia. Desempenha papel chave no metabolismo celular e, na célula, está presente na forma inorgânica ou esterificado em compostos carbonados ou outras formas importantes no metabolismo energético das células (ATP, GTP) (MARENGO e LOPES, 2011). O P forma parte de fosfolipídeos (constituente essencial de membranas celulares), açúcares fosfatados, nucleotídeos (NAD, FAD, ATP, UTP, GTP) e coenzimas (CoA, Fad e ácidos nucleicos) (MARENGO e LOPES, 2011). Desempenha papel importante na síntese de proteínas, que por sua vez, reflete no maior crescimento da planta (DAVI et al., 2008).

Diem et al., (2000), comenta que quando a disponibilidade de P é limitada, algumas espécies formam raízes especializadas na absorção desse elemento. Já em quantidades adequadas, estimula o desenvolvimento radicular, promove boa formação de frutos e sementes, incrementa a precocidade da produção (RAIJ, 1991) e aumenta o teor de óleo da soja (ABBAS, 1993).

No que se refere à interação do fósforo com outros elementos, Zhu et al., (2001) comenta que há um antagonismo entre Zn e P, ou seja, quando a disponibilidade de Zn é limitada e a de P adequada, a escassez de Zn provoca uma absorção

descontrolada de P_i , elevando sua concentração no tecido. Furlani et al., (2005) asseguram que a interação Zn/P no interior da planta pode alterar seus processos metabólicos. Para Marenco e Lopes (2005) a proporção N/P deve ser em torno de 10-20, citando que valores acima de 16 implicam em um indicativo de deficiência de P.

Estudos de respostas das espécies vegetais à adubação fosfatada foram desenvolvidos no passado e são no presente objeto de muitas pesquisas face a importância desse elemento na fisiologia da planta. Raij et al., (1981) obtiveram respostas positivas nas culturas do milho e feijão em termos de produtividade à aplicação de fósforo. Resposta de crescimento da parte aérea e sistema radicular das culturas de feijão, milho, arroz e soja à aplicação de N, P e K foram testadas por Fageria (1994). Esse autor concluiu que entre os três macronutrientes, o P é o nutriente mais limitante no crescimento dessas culturas. Segundo Coutinho et al., (1991), a adubação fosfatada promove aumentos significativos na produção de grãos de milho. Kleper e Anghinoni (1995) também constataram que a elevação de dosagens de fósforo promove aumento na produção de biomassa seca das plantas de milho.

A deficiência de P retarda o crescimento de uma forma geral (RAIJ, 1991; MARENCO e LOPES, 2011). Folhas verde-azulada ou manchas pardas, ângulos foliares estreitos, menor perfilhamento e gemas laterais dormente são também exemplos de sintomas de deficiência de fósforo (MALAVOLTA et al., 1997). Elliott et al., (1997) cita que a deficiência de P no trigo retarda o desenvolvimento, a antese e a senescência, reduzindo o número de perfilhos produtivos.

Já o excesso de P, não parece ser um problema para as plantas, pois o “consumo de luxo” é transferido para polifosfatados e outros fosfatos, sem afetar o crescimento (RAIJ, 1991). Para Malavolta et al., (1997) o excesso não é reconhecido diretamente, porém, pode induzir deficiência de Cu, Fe, Mn e Zn.

2.5.2.3 Potássio

Segundo Boaretto et al., (1999) as concentrações de K consideradas adequadas para a maioria das culturas estão na faixa de 15 a 30 g/kg de matéria seca, sendo absorvido do solo pelas raízes na forma de K^+ , em que transportadores e canais

participam de sua absorção (MARENCO e LOPES, 2011). Para Raij (1991), o K é o mais importante cátion na fisiologia vegetal.

Os canais presentes na membrana plasmática da célula vegetal são extremamente eficientes na absorção de K^+ , mesmo que em baixas concentrações (HIRSCH et al., 1998).

As funções do K^+ são inúmeras na planta, sendo que esse elemento não faz parte de compostos específicos, ou seja sua função não é estrutural (RAIJ, 1991). Segundo Suelter (1970), o potássio é requerido em numerosas enzimas do metabolismo vegetal. As ATP_{ases} , por exemplo, são ativadas pelo Mg^{2+} , e sua atividade é favorecida pelo K^+ , demonstrando a importância desse elemento no metabolismo energético da planta. O K^+ é mantido no citoplasma em concentração alta. No vacúolo, a concentração do K^+ varia de 10 a 200 mM, e pode atingir a 500 mM nas células-guarda (MARSCHNER, 1995).

Dentre os processos fisiológicos necessários ao funcionamento da planta, destaca-se o papel do K^+ na diminuição do potencial osmótico para o aumento da pressão de turgos (osmorregulação) favorecendo a extensão celular, o movimento de estômatos, o transporte no floema e a ascensão de água pelo xilema devido à pressão radicular (MARSCHNER, 1995). Atua também na fotossíntese como contra-íon do efluxo de H^+ através da membrana do tilacoide no processo de fotofosforilação (MARENCO e LOPES, 2011).

O K interage com outros íons no processo de sua absorção. Segundo Marchner (1995), o amônio (NH_4^+) diminui sua absorção e o Ca^{2+} favorece-a.

Estudos tem demonstrado que o aumento do teor foliar de K levam a diminuição no teor de Ca e Mg (SOARES et al., 2010; LO MONACO et al., 2009). Esse fato se deve, possivelmente, em função da competição entre K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} para ocupação dos sítios de troca dos grupos carboxílicos dos microporos radiculares, ou seja, um excesso de K^+ na solução ocupa a maior parte desses sítios, provocando a repulsão do Ca^{2+} e Mg^{2+} .

A aplicação de potássio em culturas tem apresentado bons resultados em termos de crescimento e produtividade. Fageria (1994) demonstrou que ao se retirar o

elemento potássio da adubação das cultura do feijão, milho, arroz, trigo e soja, houve um decréscimo acentuado na produção de matéria seca da parte aérea e raízes dessas culturas.

Oliveira et al., (2012) observaram incremento na produtividade média de melancia sob diferentes lâminas de água de reúso e doses de potássio. Em se tratando de sistema radicular, Paula et al., (2011) observaram que a aplicação de doses crescentes de potássio veiculados através de soro de leite promoveram aumento nos teores de K^+ da raiz de forragem hidropônica de milho. Já Souza et al., (2002) constatou decréscimo no crescimento de raízes de maracujazeiro submetidas a doses elevadas de potássio, sugerindo que a elevação da condutividade elétrica do solo pode ter afetado seu desenvolvimento. Moraes et al (2011) observou que aumento de doses de K_2O provocam aumento nos teores de potássio na folha do maracujazeiro amarelo.

A deficiência de potássio em dicotiledônea se manifesta por clorose, que evoluem com rapidez para lesões necróticas, devido ao acúmulo de putrescina, uma diamina (MARENCO e LOPES, 2011). Os mesmos autores citam que plantas de milho deficientes em potássio desenvolvem colmos frágeis e raízes mais suscetíveis ao ataque de fungos e organismos patogênicos.

De acordo com Baumgartner et al., (1978) a deficiência de K em maracujazeiro provoca atraso na floração, redução no tamanho dos frutos e na área foliar afetando, conseqüentemente, a fotossíntese e o conteúdo de sólidos solúveis nos frutos.

Para Raij (1991), a deficiência de potássio não revela sintomas imediatos, caracterizando a situação de “fome oculta”. Outros sintomas podem se expressar através da formação de internódios mais curtos em plantas anuais, diminuição da dominância apical, do sistema radicular e do tamanho de frutos (MALAVOLTA et al., 1997).

Já o excesso de K^+ pode causar desequilíbrios no balanço eletroquímico das células. Leva também à deficiência de cálcio e magnésio induzida (MALAVOLTA et al., 2000).

2.5.2.4 Cálcio

O cálcio é absorvido como cátion divalente (Ca^{2+}) e, sua translocação no floema é muito reduzida (MARENCO e LOPES, 2011). O teor desse elemento varia com a espécie e o órgão da planta, sendo que em geral, as monocotiledôneas têm teores de Ca menores (1-7 g/kg de MS) do que as dicotiledôneas, que contêm entre 8 e 20 g/kg de matéria seca (GALLO et al., 1986; MIRANDA e MIRANDA, 2000). É consumido em quantidades muito variadas, em diferentes culturas, dentro dos limites de cerca de 10 até 200 kg/ha de Ca (RAIJ, 1991).

Segundo Raij (1991), um ponto importante diz respeito às raízes das plantas necessitarem de cálcio do próprio ambiente de absorção de água e nutrientes, para a sua sobrevivência, pois as plantas não translocam o elemento, pelo floema, até as raízes. Uma outra questão relacionada à sua baixa mobilidade pelo floema, é que para esse nutriente alcançar regiões de baixa taxa transpiratória, a pressão radicular se torna fundamental no seu suprimento (MARENCO e LOPES, 2011).

Diferentemente do Mg^{2+} e K^+ , é encontrado sempre em concentração extremamente baixa, de 0,2 a 0,3 μM no citosol e de 2 a 6 μM no estroma do cloroplasto (MARSCHNER, 1995). Na célula, a maior parte (50 a 75%) do cálcio está no vacúolo e outra parte considerável (30 a 50% do total) encontra-se na superfície externa da membrana e na parede celular (MARENCO e LOPES, 2011). Outro aspecto importante relacionado ao cálcio é que esse elemento se liga aos grupos carboxílicos de polissacarídeos pectinados na lamela média, motivo pelo qual plantas deficientes reduzem a resistência à penetração de bactérias e fungos (MALAVOLTA et al., 2002).

A função do cálcio na planta, além de estrutural, está relacionada à manutenção do balanço de íons no vacúolo, atuando como contraíons de ânions orgânicos e inorgânicos (MARENCO e LOPES, 2011).

De fato, a maior parte das funções realizadas pelo Ca na planta está relacionada à manutenção da estabilidade da membrana e da parede celular, porém ressalta-se também sua função na absorção seletiva de íons, no transporte intracelular e

na comunicação intercelular através da corrente citoplasmática (SATTELMACHER et al., 1993).

Como ativador enzimático, o cálcio ativa somente algumas, como α -amilase, fosfolipase, ATP_{ases} , cinase da adenina e cinase da arginina (MARENCO e LOPES, 2011). Contrariamente, segundo Marschner (1995) a concentração de Ca^{2+} no citosol deve se manter em níveis bastante baixos, pois várias enzimas do citoplasma (ex: PEP carboxilases) são inibidas pelo cálcio. Para a manutenção de baixas concentrações de Ca^{2+} no citosol, vários mecanismos atuam como extrusão do Ca^{2+} para o apoplasto, redirecionamento do Ca^{2+} do citosol para o vacúolo e precipitação, dependendo da espécie, como cristais insolúveis de oxalato, sulfato, fosfato ou carbonato de cálcio (MARENCO e LOPES, 2011).

O Ca^{2+} também atua como mensageiro da planta a estímulos do meio (MALAVOLTA et al., 2002). Essa função pode ocorrer através da intermediação de um grupo de proteínas que ligam-se reversivelmente ao Ca^{2+} , destacando-se a calmodulina (SNEDDEN e FROMM, 1998), e com isso desenvolvendo papéis como ativadora de numerosas proteínas envolvidas em vários processos celulares, como o alongamento e a divisão celular, a atividade de enzimas e o movimento gravitrópico.

A interação do Ca^{2+} com outros elementos é observada principalmente em solos. Segundo Epstein (1972) solos muito deficientes comumente apresentam elevada disponibilidade de alguns elementos como Al e Mn que pode causar toxidez às plantas caso haja absorção excessiva. Ao contrário, alta concentração de Ca^{2+} no solo eleva o pH e pode induzir deficiência de Mn, Fe, Zn e Cu.

Respostas de cálcio em culturas não têm sido registradas com freqüência, por sua não ocorrência ou porque o efeito da ação corretiva de calcário supera possíveis efeitos de deficiência de cálcio. Segundo Raji (1991) a aplicação de calcário adiciona, em geral, quantidades suficientes do nutriente ao solo. Nijhon et al., (1987) destacaram que a deficiência de Ca é a principal causa da diminuição da produtividade de milho em ultissol da Nigéria.

Paula et al., (2011) constataram que doses crescentes de soro de leite aplicado como fonte de nutrientes, inclusive cálcio, em milho forrageiro provocou

decréscimo linear nos teores de cálcio foliar. Essa redução pode ser atribuída pela competição com o K^+ e com o Na^+ (PRADO, 2008). Já Júnior et al., (2011) observaram que doses crescentes de torta de filtro não alteraram os teores foliares de cálcio em plantas cana de açúcar.

Santos (2012), estudando a influência da aplicação de água residuária tratada sobre o estado nutricional de helicônia, notaram que os teores foliares de cálcio encontravam-se dentro da faixa recomendada.

Alguns dos principais sintomas de deficiência de cálcio nas plantas são, segundo Malavolta et al., (1997), crescimento não uniforme da folha, murchamento e morte de gemas apicais, deformação de tubérculos, manchas necróticas internervais, colapso do pecíolo, cessação do crescimento apical e pequena frutificação ou produção de frutos anormais.

Em contrapartida, o excesso de cálcio na planta não é muito conhecido. Possíveis deficiência de potássio e magnésio podem ser observadas nesse caso (MALAVOLTA et al., 1997).

2.5.2.5 Magnésio

As exigências de magnésio pelas culturas são relativamente modestas, situando-se entre 10 a 40 kg/ha e a forma absorvida pelas plantas é como cátion Mg^{2+} (RAIJ, 1991). Na faixa de suficiência o seu teor oscila entre 1,5 e 4 g/kg de matéria seca (MARENCO e LOPES, 2011).

Uma das principais funções do magnésio na planta é como ativador enzimático. Numerosas enzimas requerem ou são estimuladas por esse elemento, sendo as mais conhecidas as fosfatases, ATP_{ases} , carboxilases, cinases, enolase, polimerases e co-fator de quase todas as enzimas que atuam em substratos fosforilados (MARENCO e LOPES, 2011).

Apesar de ocupar posição central na molécula de clorofila (RAIJ, 1991; MALAVOLTA et al., 2002), apenas uma pequena parcela (< 25%) é necessária na síntese de clorofila e em outras funções do cloroplasto e citoplasma. Entre 5 a 10% da fração do Mg presente na planta é utilizada para a formação da lamela

média, juntamente com o Ca, da parede celular e a grande parte (~70%) atua no vacúolo como contraporte de ânions de ácidos orgânicos e inorgânicos (MARENCO e LOPES, 2011). Segundo Marschner (1995) o Mg^{2+} no vacúolo atinge concentrações de aproximadamente 15 mM no mesofio e até 120 mM nas células da endoderme, valores altos necessários à manutenção do pH e balanço de cargas das células.

O Mg também é requerido nos ribossomos para a síntese de proteínas, e no núcleo para a síntese de RNA (MARENCO e LOPES, 2011).

Segundo Marschner (1995) vários íons podem interagir competindo com a absorção do Mg^{2+} , como NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mn^{2+} . Notadamente, para Marenco e Lopes (2011), o efeito negativo do amônio na absorção de Mg^{2+} se dá principalmente pelo seu efeito acidificante no citosol, mais do que pela competição nos sítios de absorção.

O suprimento de magnésio às culturas é feito, comumente, através de calcário dolomítico.

Paula et al., (2011) constataram que doses crescentes de soro de leite aplicados como fonte de nutrientes, inclusive magnésio, em milho forrageiro provocou decréscimo linear nos teores de magnésio foliar. Essa redução pode ser atribuída pela competição com o K^+ e com o Na^+ (PRADO, 2008). Já Júnior et al., (2011) observaram que doses crescentes de torta de filtro não alteraram os teores foliares de magnésio em plantas de cana de açúcar.

Santos (2012), estudando a influência da aplicação de água residuária tratada sobre o estado nutricional de helicônia, notaram que os teores foliares de magnésio encontravam-se acima da faixa recomendada.

Fisiologicamente, a deficiência de Mg causa alterações no tamanho, na estrutura e no funcionamento dos cloroplastos, podendo levar também à acumulo de amido nos cloroplastos em consequência da redução da síntese de proteínas (MARENCO e LOPES, 2011).

Nas plantas, os sintomas de deficiência podem se manifestar através de clorose internerval (MALAVOLTA et al., 2002; MARENCO e LOPES, 2011), sendo que as

células do mesófilo próximas aos feixes vasculares retêm clorofila por períodos mais prolongados do que as células do parênquima, o que pode retardar a aparição de clorose.

Em café e algodão, podem aparecer respectivamente, necrose e o desenvolvimento de cor alaranjada ou rocha (MALAVOLTA et al., 1997). Já o excesso de Mg, para esses autores, os sintomas não são muito identificados, porém pode levar a possível carência de potássio e cálcio.

2.5.2.6 Enxofre

O S é absorvido pelas raízes em forma altamente oxidada (SO_4^{2-}) (MARENCO e LOPES, 2011) e os teores, em plantas, são da ordem de 0,2 a 0,5% da matéria seca (RAIJ, 1991).

Segundo Zhao et al., (1999) e Leustek et al., (2000) a maior parte do SO_4^{2-} é translocada via xilema para a parte aérea, onde é reduzido e assimilado, e o restante é metabolizado na raiz, sendo que a maior parte do S da planta está nas proteínas, onde participa de dois aminoácidos essenciais, a cisteína e a metionina (RAIJ, 1991; DROUX, 2004). Acredita-se que, na maioria das plantas, a maior parte do S (~90%) está associada a esses aminoácidos (SALISBURY e ROSS, 1992).

Para a redução do SO_4^{2-} a sulfídeo (S^{2-}), que ocorre principalmente nos cloroplastos das folhas, e sua posterior incorporação em cisteína, Hell (1997) estima que sejam necessárias 14 ATP, tendo-se a ferredoxina como doador de elétrons.

Após a redução o S é assimilado, que consiste na incorporação do Sulfídeo na O-acetilserina (OAS) para produzir cisteína, uma reação catalizada pela OAS tiol-liase. A cisteína pode ser incorporada a proteínas ou utilizada para formar a metionina (MARENCO e LOPES, 2011). Segundo os mesmos autores, na forma não reduzida o enxofre é componente de membranas, pois é parte dos sulfolipídios.

As vitaminas tiamina e biotina; a coenzima A, essencial na respiração; a ferredoxina, uma proteína importante na fotossíntese; e o glutathione, um

tripeptídeo que atua como antioxidante em vários processos de destoxificação são exemplos de outros compostos essenciais que contêm S (DROUX, 2004).

Raij (1991) aborda que resultados favoráveis à aplicação de gesso devem-se ao efeito do enxofre.

O enxofre pode ser veiculado para suprimento das demandas nutricionais de culturas agrícolas pela aplicação de água residuária. Com esse objetivo, estudo desenvolvido por Paula et al., (2011) constataram que doses crescentes de soro de leite aplicados como fonte de nutrientes, inclusive S, em milho forrageiro promoveu aumento linear na concentração de enxofre foliar dessa espécie.

Considerando o metabolismo da planta, em deficiência de S observa-se redução na síntese de proteínas, redução nos teores de clorofila e de sulfato inorgânico (MARENCO e LOPES, 2011). Na planta, os sintomas de deficiência se manifestam através de uma clorose generalizada na folha, folhas pequenas com enrolamento das margens, necrose e desfolhamento, internódios curtos e redução no florescimento (MALAVOLTA et al., 1997). O excesso, segundo os mesmos autores se manifesta através de clorose internerval em algumas espécies.

2.6 Necessidades nutricionais da cultura do milho

De acordo com Malavolta et al., (2002) a adubação tem como finalidade imediata cobrir a diferença entre a exigência nutricional da planta e o fornecimento pelo solo.

O que e quanto utilizar na fertilização da cultura do milho é respondido com base na análise de solo e frequentemente começou a ser usada no Brasil, em escala crescente, a análise de folha, associada à de solo.

Na Tabela 2, estão apresentadas as classes de interpretação para avaliação de resultados de análise de solo.

Tabela 2 – Classes de interpretação para avaliação de resultados de análise de solo.

Característica	Método	Classificação		
		Baixo	Médio	Alto
pH*	pH em água	< 5,0	5,0 - 5,9	6,0 - 6,9
	pH em CaCl ₂	< 4,5	4,6 - 5,5	5,6 - 6,5
Matéria Orgânica (dag/dm ³)	Colorimétrico	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0
<i>P (mg/dm³) em textura argilosa</i>		< 20	20 - 40	> 40
<i>P (mg/dm³) em textura média</i>	<i>Mehlich – 1</i>	< 40	40 - 60	> 60
<i>P (mg/dm³) em textura arenosa</i>		< 60	60 - 80	> 80
<i>K (mg/dm³)</i>	<i>Mehlich – 1</i>	< 60	60 - 150	> 150
Ca (cmol _c /dm ³)	KCl 1 mol/L	< 1,5	1,5 - 4,0	> 4,0
Mg (cmol _c /dm ³)	KCl 1 mol/L	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0
S (mg/dm ³)	CaH ₂ PO ₄ 0,01 mol/L	< 5,0	5,0 - 10	> 10
B (mg/dm ³)	Água quente	< 0,35	0,35 - 0,9	> 0,9
Zn (mg/dm ³)	Mehlich – 1	< 1,0	1,0 - 2,2	> 2,2
Cu (mg/dm ³)	Mehlich – 1	< 0,8	0,8 - 1,8	> 1,8
Fe (mg/dm ³)	Mehlich – 1	< 20	20 - 45	> 45
Mn (mg/dm ³)	Mehlich – 1	< 5,0	5,0 - 12	> 12
Al (cmol _c /dm ³)	KCl 1 mol/L	< 0,3	0,3 - 1,0	> 0,1
Acidez potencial - H + Al (cmol _c /dm ³)	Correlação pH SMP	< 2,5	2,5 - 5,0	> 5,0
CTC efetiva (cmol _c /dm ³)	Soma de bases + Al	< 2,5	2,5 - 6,0	> 6,0
CTC pH 7 (cmol _c /dm ³)	Soma de bases + H + Al	< 4,5	4,5 - 10	> 10
Soma de bases (cmol _c /dm ³)	K + Ca + Mg + Na	< 2,0	2,0 - 5,0	> 5,0
Saturação em bases (%)	Soma de bases/CTC x 100	< 50	50 - 70	> 70
Saturação de alumínio (%)	Al/CTC efetiva x 100	< 20	20 - 40	> 40

* A interpretação dessa característica deve ser elevada, média e fraca no lugar de baixo, médio e alto

Texto em itálico refere-se aos valores específicos para culturas anuais

Fonte: Prezotti et al., (2007)

Conhecidos os valores referenciais da análise de solo para a cultura do milho, deve-se agora saber a quantidade de adubo a ser aplicado ao solo, considerando

se estarão disponíveis para absorção. O solo é heterogêneo e nele ocorrem diversas reações envolvendo os nutrientes adicionados, e que muitas vezes, embora presentes, não estão disponíveis para absorção pelas raízes (MARTINEZ et al., 2003).

A quantidade de nutrientes exigido pela cultura do milho está apresentada na Tabela 3, extraído de Prezotti et al., (2007).

Tabela 3 – Quantidade de nutrientes recomendado para a cultura do milho

Nutriente	Produtividade esperada (t/ha)			
	3.500 - 5.500 kg/ha		Acima de 5.500 kg/ha	
	Plantio	Cobertura	Plantio	Cobertura
Nitrogênio	----- kg/ha de N -----			
	10	60	10 a 15	100 a 120
Fósforo	----- kg/ha de P ₂ O ₅ -----			
Baixo	70	0	100 a 110	0
Médio	40	0	80	0
Alto	0	0	50	0
Potássio	----- kg/ha de K ₂ O -----			
Baixo	40	20	70	40
Médio	20	0	50	20
Alto	0	0	30	0

Se a análise de solo indicar baixo teor de S aplicar 50 kg/ha do nutriente no plantio

Se a análise de solo indicar baixos teores de micronutrientes, aplicar por hectare: 5 kg de Zn; 1 kg de Cu; 1,5 kg de B; 1 kg de Mn e 0,15 kg/ha de Mo, no sulco de plantio.

Fonte: Prezotti et al., (2007)

Já os tecidos da planta mostram o estado nutricional em um dado momento, permitindo uma avaliação mais eficiente do estado nutricional da cultura. Segundo Fontes (2011) a avaliação do estado de nutrientes na planta utilizando a análise foliar é baseada no fato que determinada concentração de um dado nutriente indica o estado da planta neste nutriente e que normalmente está relacionada com a quantidade suprida pelo solo e absorvida em toda a planta.

Fontes (2011) preconiza que a análise foliar pode ser realizada com outros objetivos tais como: confirmar a diagnose visual de sintomas de deficiência/toxidez; suportar resultados da análise de solo; verificar se o nutriente aplicado ao solo foi absorvido pela planta; determinar a composição mineral da planta e em pesquisa de interações entre nutrientes.

Na tabela 4 estão apresentados os teores foliares de macro e micronutrientes considerados adequados para o milho.

Tabela 4 – Teores foliares de macro e micronutrientes considerados adequados para o milho

MACRONUTRIENTES (dag/kg)					
N	P	K	Ca	Mg	S
2,7-3,5	0,2-0,40	1,7-3,5	0,25-0,80	0,15-0,50	0,15-0,30
MICRONUTRIENTES (mg/kg)					
Fe	Zn	Cu	Mn	B	
30-250	15-100	6-20	20-200	10-25	

Fonte: Rajj et al. (1996); Malavolta et al. (1997); Encaper (2000)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condição de casa de vegetação, no período de junho a agosto de 2013, pertencente ao Departamento de Botânica da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.

Utilizou-se, no experimento, um solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, coletado na profundidade de 0 a 20 cm. Para a caracterização física e química do solo, sete amostras simples foram coletadas por meio de trado, secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm sendo, posteriormente, misturadas formando uma amostra composta.

A caracterização química do solo (Tabela 5) foi realizada no Laboratório de Análises de Solos do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper, seguindo-se os métodos descritos pela Embrapa (1997).

Tabela 5 - Características químicas do solo utilizado no experimento

Característica	Método	Unidade	Teor
pH em água	pH em água	-	5,30
Matéria Orgânica	Colorimétrico	dag.kg ⁻¹	1,20
P	Mehlich - 1	mg/dm ³	1,00
K	Mehlich - 1	mg/dm ³	30,00
Ca	KCl 1 mol/L	cmol _c /dm ³	0,30
Mg	KCl 1 mol/L	cmol _c /dm ³	0,10
S	CaH ₂ PO ₄ 0,01 mol/L	mg/dm ³	4,1
B	Água quente	mg/dm ³	0,10
Zn	Mehlich - 1	mg/dm ³	0,50
Cu	Mehlich - 1	mg/dm ³	0,70
Fe	Mehlich - 1	mg/dm ³	56,80
Mn	Mehlich - 1	mg/dm ³	7,30
Al	KCl 1 mol/L	cmol _c /dm ³	0,40

A ARC foi coletada em uma unidade de beneficiamento de café localizada no município de Brejetuba, ES. A determinação da composição física e química da água residuária (Tabela 6) foi realizada no CETAN - Centro Tecnológico de Análises. As características químicas e físicas foram determinadas de acordo com Instruções de Trabalho baseada em metodologias oficiais e validada de acordo com a norma NBR ISO/IEC 17025:2005.

Tabela 6 - Características físicas e químicas da ARC

Característica	Teor
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	4510 ± 98
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	2200 ± 58
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L de O ₂)	7400 ± 60
Condutividade (μS/cm)	3360 ± 7,4
Sódio total (mg/L)	0,100 ± 0,0066
Nitrogênio total (mg/L)	32,0 ± 0,89
Fósforo total (mg/L)	12,2 ± 0,79
Potássio total (mg/L)	659 ± 6,6
Cálcio total (mg/L)	40,2 ± 2,6
Magnésio total (mg/L)	22,5 ± 1,5
Enxofre total (mg/L)	0,24 ± 0,015
Ferro total (mg/L)	4,90 ± 0,31
Manganês (mg/L)	0,05 ± 0,008
Cloro total (mg/L)	< 0,05
Boro total (mg/L)	< 0,001
Zinco total (mg/L)	< 0,003
Cobre total (mg/L)	0,600 ± 0,038
Molibdênio total (mg/L)	0,002 ± 0,00014
Níquel total (mg/L)	0,100 ± 0,0066

O ensaio foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso, onde foram avaliadas 7 doses de ARC, com 3 repetições. As doses de ARC foram determinadas com vistas a fornecer 0, 50, 100, 150, 200, 250 e 300 mg de K por dm³ de solo, o que equivaleu a 0,00; 15,17; 30,35; 45,52; 60,70; 75,87 e 91,05 litros de ARC por m² de solo, considerando-se 0,20 m de profundidade e 10.000 m² de área (2.000.000 dm³). Ressalta-se que não foi realizada calagem e não se utilizou adubação mineral durante o experimento, com o intuito de avaliar apenas o efeito da ARC no fornecimento de nutrientes para as plantas de milho.

A maior dose de ARC aplicada adicionou ao solo, respectivamente, 0,21, 0,10, 6,58, 0,15, 0,16 e 0,001 vezes a quantidade de N, P, K, Ca, Mg e S requerida para a cultura do milho considerando a quantidade recomendada por Prezotti et al., (2007) e por Barber e Olson (1968) no plantio e cobertura, em produtividade acima de 5.500 kg/ha.

Um dia após a coleta, a ARC foi aplicada a volumes de 8 L de solo, acondicionados em bacias de plástico, nas doses de 0,00; 0,61; 1,21; 1,82; 2,43; 3,03 e 3,64 litros, juntamente com 3,64; 3,03; 2,43; 1,82; 1,21; 0,61 e 0,00 litros de água destilada visando equiparar as condições de umidade de todos os tratamentos.

Trinta dias depois da aplicação da água residuária, após a evaporação, o solo de cada uma das bacias foi destorreado, homogeneizado e acondicionado em vasos de plástico com capacidade para 2 dm³. A massa de solo colocada em cada vaso foi determinada com base na densidade do solo e no volume do vaso, equivalente a uma massa de 2,6 kg por vaso. Após o acondicionamento do solo nos vasos, procedeu-se o umidecimento com água destilada. Os vasos foram distribuídos em uma bancada, na qual permaneceram durante a condução do experimento.

Realizou-se a semeadura de cinco sementes de milho híbrido BR 206 por vaso, bem distribuídas, a aproximadamente um centímetro de profundidade. Cinco dias após a germinação das plantas foi feito o desbaste, mantendo-se três plantas por vaso que se apresentavam com maior uniformidade.

As irrigações subsequentes foram feitas diariamente com água destilada levando-se em consideração 90% da capacidade de campo do solo e, para tanto, testes de pesagem dos vasos foram realizados através da saturação e pesagem frequente até se obter peso constante, momento esse em que foi determinada a capacidade de campo.

A partir desses testes, obteve-se o peso médio do conjunto com solo em capacidade de campo, e como todos os vasos utilizados para o experimento foram preenchidos com a mesma massa de solo, o volume de água a ser adicionado foi obtido pela diferença do peso médio do conjunto com o solo em capacidade de campo e o peso de cada vaso, que era medido diariamente.

Aos 30 dias após a germinação determinou-se o diâmetro do caule (DC) das plantas, medindo-as com auxílio de um paquímetro a 1 cm de altura do solo. Após o procedimento fez-se a colheita das plantas através de um corte raso, separando-se a parte aérea das raízes, ao nível do solo. A área foliar (AF) foi obtida logo após o corte através de um medidor de área foliar, e em seguida todo

o material (caule e folha) foi colocado em sacos de papel e acondicionado em estufa de ventilação forçada de ar para secagem a 65 °C, até atingir peso constante, momento em que foi pesado para obtenção da matéria seca da parte aérea (MSPA). As raízes foram retiradas dos vasos, lavadas em peneira para a retirada de todo o solo aderido e também levada à estufa para a determinação da matéria seca da raiz (MSR).

Com os valores de matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz e área foliar foi calculada as seguintes razões alométricas: relação parte aérea/raiz – PA/Raiz (MSPA/MSR), razão massa radicular – RMR (matéria seca raiz/matéria seca total) e razão área foliar – RAF (área foliar/matéria seca total).

A determinação dos teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) presentes na parte aérea das plantas de milho foi realizada no Laboratório do Centro Regional de Desenvolvimento Rural – Incaper, conforme a metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2004). As determinações de P, K, Ca, Mg e S foram realizadas no extrato nitroperclórico, cujo P foi quantificado colorimetricamente pelo método molibso-vanadato; o N foi determinado após digestão sulfúrica, por destilação em aparelho Kjeldahl e quantificação por titulação; K por fotometria de chama e Mg, Ca e S por absorção atômica (EMBRAPA, 1999).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as variáveis em função das doses de ARC submetidas à análise de regressão, testando-se os coeficientes até 0,10 de propabilidade. A escolha dos modelos estatísticos para expressar o comportamento das características estudadas seguiu o critério de maior significância dos parâmetros. Entre as variáveis dependentes, foi calculado o coeficiente de correlação linear de Pearson para se avaliar a relação entre os dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de crescimento

O efeito da ARC sobre a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho apresentou efeito significativo ($p < 0,01$), e o modelo que melhor descreveu este resultado foi o linear (Figura 3).

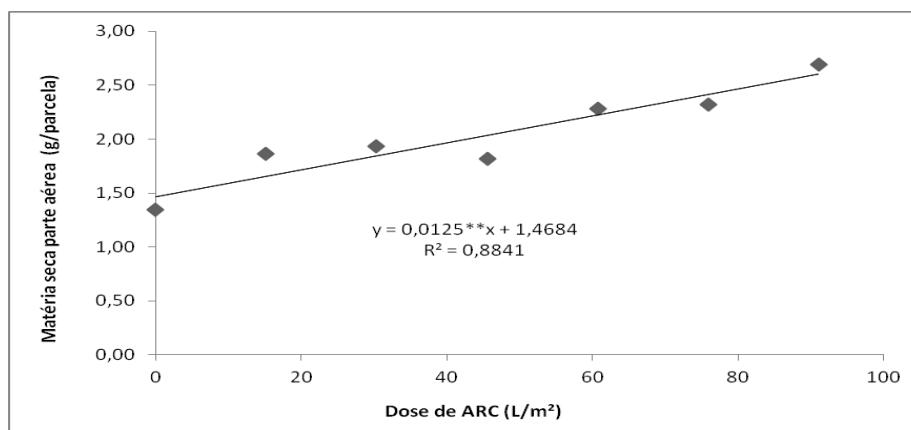


Figura 3 – Matéria seca da parte aérea de plantas de milho em função das doses de ARC

Houve elevação média de 0,12 g/parcela de matéria seca para cada 10 litros de ARC aplicados por m² de solo, sendo que o tratamento que recebeu a maior dose de ARC (91,05 L por m² de solo) foi 78,5% superior ao tratamento testemunha que não recebeu ARC. O incremento da matéria seca das plantas de milho obtido nesse experimento foi inferior ao obtido por Prezotti et al., (2012) em estudo semelhante para avaliar respostas do milho à aplicação de doses crescentes de ARC. Esse autor observou um aumento de 3 vezes na produção de matéria seca do tratamento que recebeu a maior dose de ARC (80 L por m² de solo) comparativamente ao tratamento que não recebeu ARC. Já Soares et al., (2010) não observou efeito significativo das doses de ARC sobre a matéria seca da parte aérea de plantas de milho cultivados em caixa de cimento, atribuindo à esse resultado as baixas doses aplicadas.

A baixa produção de matéria seca na dose zero (Figura 3) pode ter sido em função dos baixos teores de nutrientes presentes no solo utilizado e a baixa declividade da reta da equação de regressão em função das pequenas quantidades de nutrientes fornecidas pela ARC, mesmo considerando a maior

dose, o que limitou o crescimento das plantas. Segundo Malavolta et al., (1997), a variável rendimento de matéria seca está intimamente associada à quantidade de N colocado à disposição da planta. Nesse sentido, considerando que a quantidade de N máxima adicionada ao solo através da ARC foi de 21,58 % da dose recomendada para todo o ciclo da cultura, sugere-se que a pequena quantidade de N adicionada ao solo limitou maiores incrementos de rendimento de matéria seca, demonstrando a importância desse macronutriente para a cultura. Os baixos incrementos de matéria seca, possivelmente, estão em virtude também da baixa disponibilidade de P no solo e a baixa concentração desse elemento na ARC, o que limitou a síntese de proteínas e maiores crescimento das plantas (DAVID et al., 2008).

O baixo incremento de matéria seca observado na Figura 3, e as possíveis explicações para o ocorrido conforme descrito anteriormente está de acordo com o preconizado por Raji (1991). Esse autor afirma que havendo um fator limitante sério ao crescimento, o que no caso desse trabalho sugere-se que seja a baixa disponibilidade de alguns nutrientes, a correção de um dos nutrientes em deficiência pode não produzir o efeito desejado enquanto os outros nutrientes não forem corrigidos.

O efeito positivo da aplicação de água residuária de café sobre o milho tem sido destacado na literatura por autores como Soares et al., (2011) e Prezotti et al., (2009). A água residuária de café também tem sido objeto de estudos para avaliação de seus efeitos sobre outras culturas. Matos et al., (2001), ao avaliarem os efeitos da ARC sobre a produtividade dos cafeeiros, verificaram tendência de queda com o aumento da ARC fornecida por planta, embora aplicações de doses acima de 600 L/planta tenham concorrido para a recuperação da produção. Ribeiro et al., (2009) observaram que a aplicação de água residuária de café nos cafeeiros Catuaí e Catucaí, cultivados em vasos e em casa de vegetação, até a concentração de 135 mg/L de potássio favorece o crescimento da planta, mostrando-se igualmente, ou melhor, que a adubação concencional.

A aplicação de água residuária de café ao solo apresentou efeito linear significativo ($p < 0,01$) sobre a área foliar das plantas de milho (Figura 4), sendo que a maior dose (91,05 L/m²) proporcionou um aumento de aproximadamente

duas vezes a área foliar da testemunha. Observa-se, pela equação de regressão, um aumento de 25,8 cm² para cada 10 litros de ARC aplicados por m² de solo.

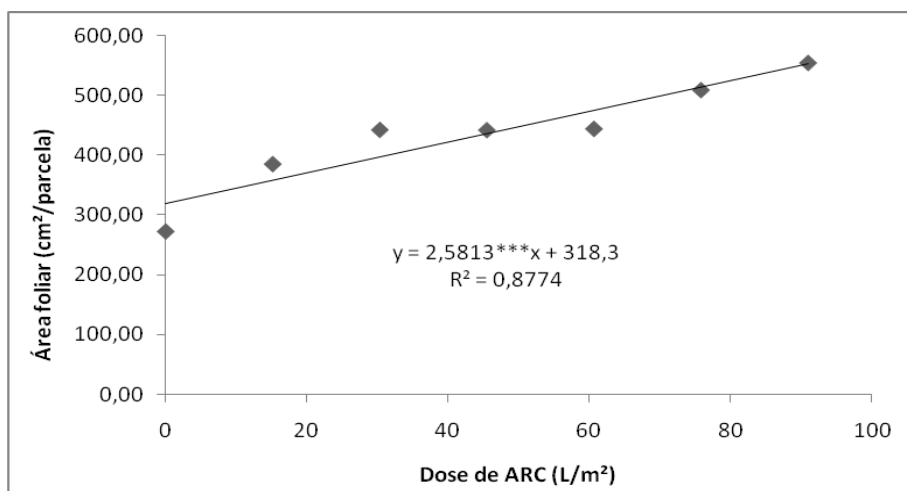


Figura 4 – Área foliar de plantas de milho em função das doses de ARC

Duarte et al., (2012), avaliando o efeito ocasionado pelo uso de diferentes doses de manipueira nas características agrônômicas da alface obtiveram um efeito quadrático na equação de regressão em relação à área foliar, e que o maior valor dessa variável foi o obtido com a aplicação de 45 m³/ha de manipueira. O ajuste quadrático para a variável área foliar também foi verificado por Santos et al., (2010), porém com resultados menos expresivos. Os autores sugeriram que o efeito quadrático obtido na equação de regressão pode ter ocorrido em função de algum efeito deletério de nutrientes, sobretudo do potássio.

Prado et al., (2004) verificaram decréscimo de área foliar quando estudaram a aplicação de doses crescentes de potássio na cultura do maracujá, sendo que as doses adequadas deveriam ser menores que àquelas equivalentes ao fornecimento de 300 mg de K/dm³.

O efeito linear observado na Figura 4 sugere que, apesar das altas doses de K adicionadas ao solo (0,9 a 5,45 vezes a dose de K recomendada para a cultura do milho), possíveis efeitos indesejados como aumento da condutividade elétrica com conseqüente redução do potencial osmótico do solo não interferiram no desenvolvimento das plantas de milho, mesmo porque a dose máxima aplicada foi equivalente ao fornecimento de 300 mg de K/dm³, corroborando com o verificado por Prado et al., (2004).

Segundo Ferri et al., (1985), a determinação da área foliar é importante porque as folhas são as principais responsáveis pela captação da energia solar e pela produção de matéria orgânica através da fotossíntese. Pode-se inferir, pelos resultados aqui apresentados (Figura 4), que os nutrientes adicionados ao solo através das doses crescentes de ARC proporcionaram um aumento crescente na área foliar das plantas de milho e consequentemente uma maior produção de matéria seca no tratamento que recebeu a maior dose (91,05 L/m²), em função do maior aparato fotossintético, o que está de acordo com o proposto por Fayad (1998) que afirma haver uma estreita relação positiva e significativa entre as taxas de crescimento e de absorção de nutrientes.

Na Figura 5 observa-se que o aumento das doses de água residuária de café promoveu aumento linear significativo ($p < 0,001$) no diâmetro do caule das plantas de milho, com elevação de 0,29 mm para cada 10 L de ARC aplicados por m² de solo.

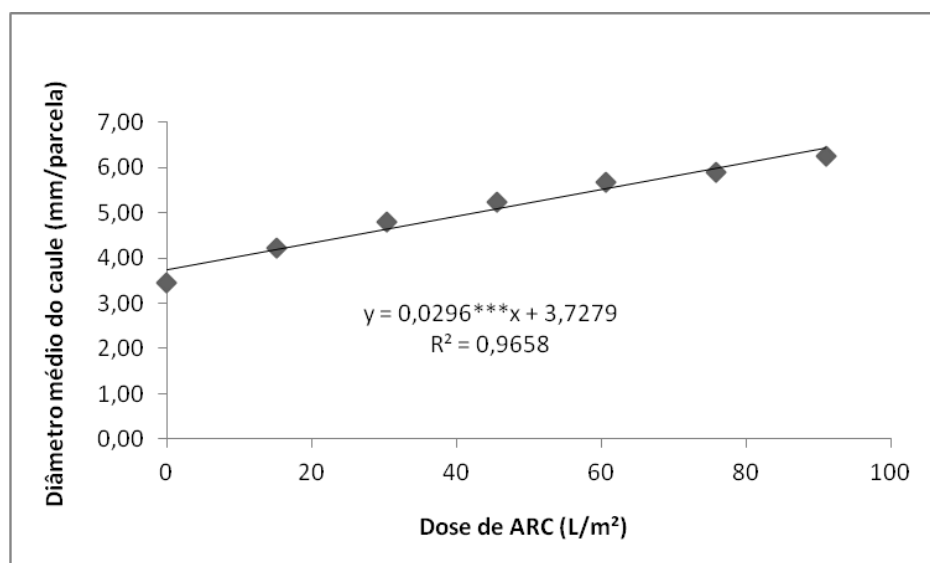


Figura 5 – Diâmetro médio do caule das plantas de milho em função das doses de ARC

Ficou comprovado, pela equação de regressão, que a maior dose de ARC (91,05 litros por m² de solo) proporcionou um aumento de 72% no diâmetro do caule das plantas de milho comparado ao tratamento testemunha que não recebeu o efluente.

Ribeiro et al., (2009) ao estudarem os efeitos da água residuária de café sobre o diâmetro do ramo ortotrópico dos cafeeiros Catuaí e Catucaí cultivados em vasos e em casa de vegetação, observaram tendência de maiores valores para o tratamento onde se aplicou a maior dose de potássio via ARC (135 mg de K/L). Soares et al., (2011) notaram, aos 35 dias após a semeadura, que a utilização da água residuária de café aumentou em 28% o diâmetro do caule de plantas de milho cultivadas em vasos e em casa de vegetação, comparado-se o tratamento que recebeu a maior dose ao tratamento testemunha que não recebeu ARC.

A significância observada na Figura 5 sobre o diâmetro do caule do milho pode ser atribuída à tendência de maior contribuição das doses mais elevadas no incremento de potássio e outros nutrientes disponíveis às plantas.

Com relação à matéria seca do sistema radicular do milho, não houve efeito significativo ($p > 0,1$) das doses de ARC. Já a relação matéria seca da parte aérea/matéria seca do sistema radicular foi descrita pelo modelo linear ($p < 0,001$) conforme Figura 6.

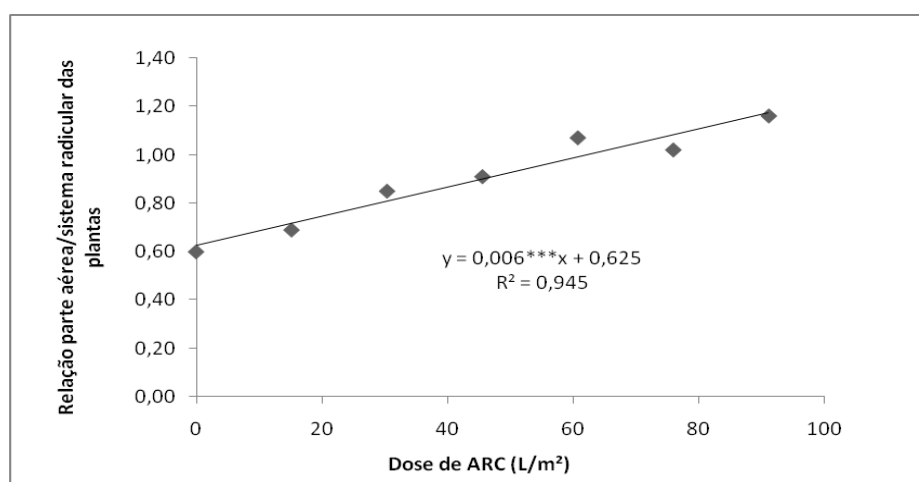


Figura 6 - Relação matéria seca da parte aérea/matéria seca do sistema radicular das plantas de milho em função das doses de ARC

O aumento da relação PA/Raiz foi notório, e a aplicação da equação de regressão demonstra um incremento de 88,7% dessa relação quando se aplicou a maior dose de ARC (91,05 L/m²) em comparação à testemunha. Esse efeito indica que nos tratamentos onde foram aplicadas as menores doses de ARC, as plantas priorizaram o desenvolvimento radicular em detrimento do crescimento da parte

aérea. Segundo Ericsson et al., (1996), quando a disponibilidade de P e N é limitada os assimilados da planta são preferencialmente direcionados para a formação de raízes, o que está de acordo com o comportamento obtido nesse experimento (Figura 6), pois a dose de ARC intermediária (45,52 L/m²) adicionou ao solo somente 11 e 5% do N e P exigido pela cultura do milho considerando todo o ciclo da cultura, respectivamente.

Na Figura 7 observa-se que o aumento nas doses de ARC aplicadas proporcionou efeito linear significativo ($p < 0,001$) para a variável RAF.

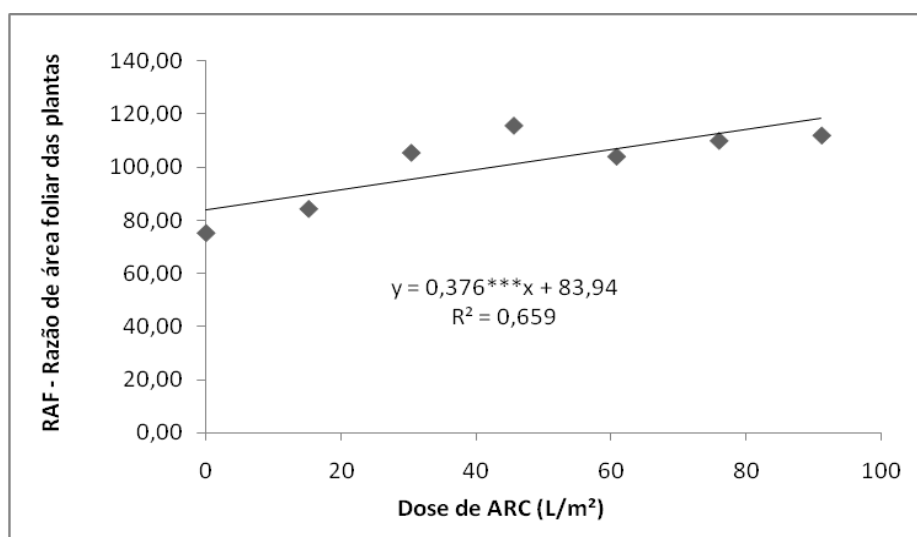


Figura 7 – Razão de área foliar (área foliar/matéria seca total) das plantas de milho em função das doses de ARC

Ferri (1985) cita que a razão de área foliar é a medida da dimensão relativa do aparelho assimilador, e é utilizado como um parâmetro apropriado para as avaliações dos efeitos do manejo de culturas. Ao avaliar a equação de regressão da Figura 7, pode-se inferir que a aplicação de ARC no solo provocou um aumento relativo do aparato fotossintético das plantas de milho.

Para a variável razão massa radicular, observou-se um decréscimo linear com as doses de ARC (Figura 8). Isso demonstra que aumentando-se as doses de ARC, o que conseqüentemente aumenta a quantidade de nutrientes disponibilizados às plantas, há uma redução da proporção de raiz em relação à matéria seca total, sugerindo que as plantas com menor quantidade de nutrientes disponíveis

priorizaram a alocação de fotoassimilados para as raízes em comparação aos outros órgãos.

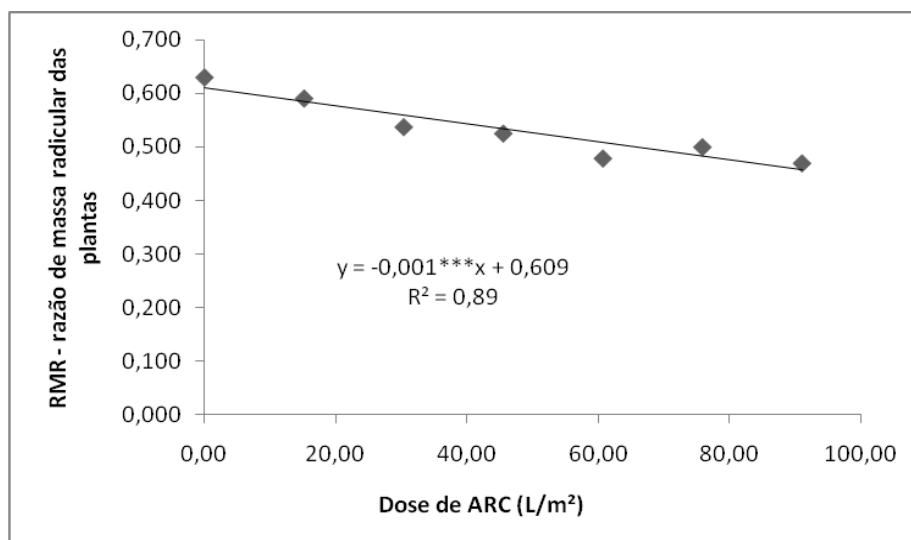


Figura 8 – RMR das plantas de milho em função das doses de ARC

Conforme observado na Figura 8, o tratamento controle, onde não foi adicionado ARC, obteve a maior proporção de raízes em relação à matéria seca total (61,16%). Marengo e Lopes (2011) citam que em plantas com falta de nitrogênio mineral, a matéria seca da raiz pode representar até 90% da matéria seca total da planta, o que pode ser uma possível explicação para a equação de regressão (Figura 8), pois menores doses de ARC disponibilizaram às plantas uma menor quantidade de N, aumentando a RMR.

4.2 Correlação entre as variáveis de crescimento

Algumas das variáveis de crescimento avaliadas apresentaram entre si forte correlação (Tabela 7).

Tabela 7 – Correlação entre as variáveis de crescimento das plantas de milho.

	MSR (g/parcela)	MSPA (g/parcela)	AF (cm ² /parcela)	DC (mm/parcela)	RELAÇÃO PA/RAIZ	RMR	RAF
	----- r -----						
MSR (g/parcela)	-	0,21 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	-0,44 ^{ns}	0,47 ^{ns}	-0,58 ^{ns}
MSPA (g/parcela)	-	-	0,93**	0,93**	0,92**	-0,90**	0,69 ^{ns}
AF (cm ² /parcela)	-	-	-	0,95**	0,91**	-0,91**	0,87*
DC (mm/parcela)	-	-	-	-	0,98**	-0,98**	0,87**
RELAÇÃO P.A/RAIZ	-	-	-	-	-	-0,99**	0,84*
RMR	-	-	-	-	-	-	-0,88**

MSR, MSPA, AF, DC, RELAÇÃO PA/RAIZ, RMR E RAF = matéria seca do sistema radicular, matéria seca da parte aérea, área foliar, diâmetro médio do caule, relação matéria seca da parte aérea/matéria seca do sistema radicular, razão massa radicular e razão área foliar; ^{ns}, * e **, não significativo e significativo a 5 e 1 %, respectivamente

A MSPA apresentou uma correlação positiva com AF e Relação PA/RAIZ, com valores de 0,93 e 0,92, respectivamente. Esse resultado é esperado, pois à medida que se aumenta a área foliar, maior é o acúmulo de fotoassimilados e maior será a MSPA. Consequentemente, aumentando a MSPA, a relação parte aérea/raiz também cresce.

O aumento do diâmetro do caule das plantas de milho em função das doses de ARC acompanhou o aumento da MSPA e da área foliar, onde se obteve uma correlação positiva de 0,93 e 0,95 respectivamente. Já a RMR correlacionou-se negativamente com a MSPA ($r = -0,90$) em função da maior MSPA nos tratamentos de maiores doses de ARC, o que fez com que os valores da RMR reduzissem.

Uma forte correlação positiva também foi observada entre a área foliar e relação PA/Raiz e RAF (Tabela 4), e negativa com a RMR ($r = -0,91$). O diâmetro do caule apresentou forte correlação negativa com a RMR ($r = -0,98$), demonstrando a grande contribuição desse órgão na matéria seca total da planta, o que levou à redução do valor da RMR.

A relação PA/Raiz mostrou correlação negativa com a RMR (Tabela 4), principalmente em função da MSPA, pois com o aumento dessa variável há redução da RMR, considerando que a matéria seca da raiz, de forma geral, apresentou-se constante diante dos tratamentos. A RAF, por ser a área foliar determinante no seu cálculo, correlacionou-se positivamente com a relação PA/Raiz, com valor de 0,84.

4.3 Teor de nutrientes na parte aérea

Com o aumento das doses de ARC, notou-se aumento linear ($p < 0,001$) nos teores de N da parte aérea do milho (Figura 9)

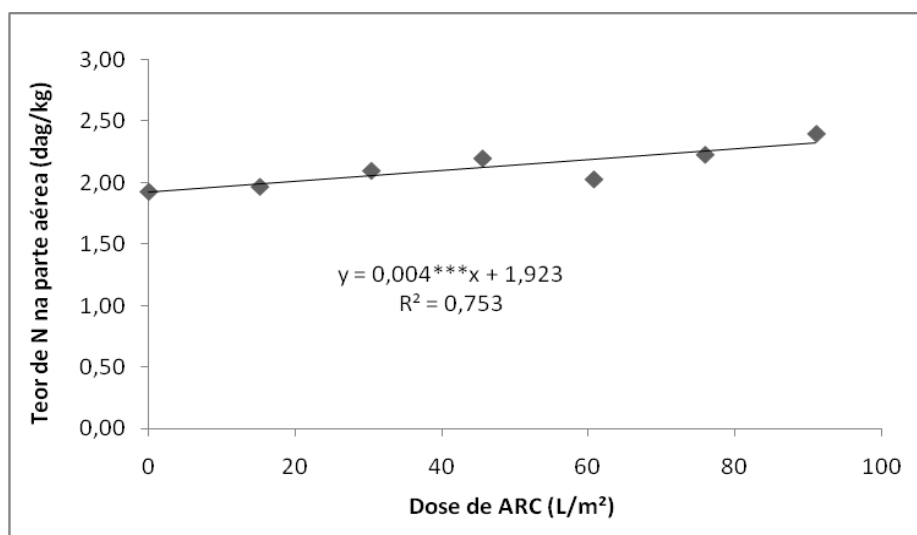


Figura 9 – Teor de N na parte aérea de plantas de milho em função de doses de ARC

Os baixos incrementos no teor de N foliar obtidos em função das doses de ARC indica ser em função da baixa concentração de N na ARC utilizada nesse experimento, pois a maior dose adicionou ao solo apenas 21,58% da necessidade de N da cultura do milho. Observa-se, pela equação de regressão que houve um aumento de 0,044 dag/kg de N para cada 10 litros/m² de ARC, e que o maior teor de N foliar encontrado foi somente 21,1% acima do teor encontrado no tratamento testemunha. Já para o acúmulo de N (mg/parcela) na parte aérea das plantas, observou-se acréscimo linear significativo ao nível de 1% de probabilidade ($y = 0,354**x + 27,46$), com incremento de 3,54 mg de N para cada 10 litros/m² de ARC.

Prezotti et al., (2012) não observaram incremento no teor de N foliar de plantas de milho em função das doses crescentes de ARC, sugerindo a esse resultado o efeito de diluição também observado por Sartor et al., (2012) avaliando doses crescentes de resíduos de suínos na cultura do milho. Já Lo Monaco (2005) verificou que a maior concentração de nitrogênio na folha de cafeeiro em estágio de produção foi obtida com a aplicação da menor dose de ARC, sugerindo que o ocorrido foi em função do melhor equilíbrio de disponibilidade de nutrientes dessa dose.

O efeito positivo no aumento dos teores foliares de N da cultura do milho, em função de doses de resíduos e efluentes orgânicos, tem sido observado por autores como: Gomes et al., (2007); Voeira et al., (2011); Paula et al., (2011).

Embora a adição de doses crescente de ARC tenha aumentado a absorção de N, as quantidades absorvidas não foram suficientes para proporcionar nutrição adequada às plantas. Os valores médios de N estiveram, em todos os tratamentos, abaixo da faixa de 2,7 a 3,5 dag/kg, considerada adequada para a cultura do milho (MALAVOLTA et al, 1997). Ressalta-se que em todos os tratamentos foram observado sintomas visuais de deficiência caracterizados pela coloração roxa nas folhas inferiores, provavelmente devido ao redirecionamento do excesso de carboidratos para a síntese de antocianina (TAIZ e ZEIGER, 2002), além de clorose nas folhas mais velhas, indicando, possivelmente, que o N contido na ARC não estava completamente disponível às plantas.

Um outro ponto que pode justificar a baixa absorção de N pelo milho neste ensaio são as perdas desse elemento provocadas pelo processo de desnitrificação e volatilização da amônia (COELHO et al., 1991), efeito observado e sugerido também por Vieira et al., (2011) ao avaliar o teor de N em plantas de milho, cultivadas em campo, decorrentes da adição de lodo anaeróbio de estação de tratamento de efluentes de indústria de parboarização do arroz. Os resultados verificados nesse trabalho e por outros autores, indicam a necessidade de avanços no entendimento dos processos envolvidos na mineralização do N orgânico em solos adubados com resíduos orgânicos.

Os teores de P nas plantas, promovido pela adição de ARC ao solo, foi descrito pelo modelo quadrático ($p < 0,01$) conforme observado na Figura 10. A tendência de queda nos teores provavelmente é em função do efeito de diluição proposto por Lemaire et al., (1997), sendo esse efeito observado também por Prezotti et al., (2012) ao testar doses crescentes de ARC em plantas de milho cultivadas em casa de vegetação.

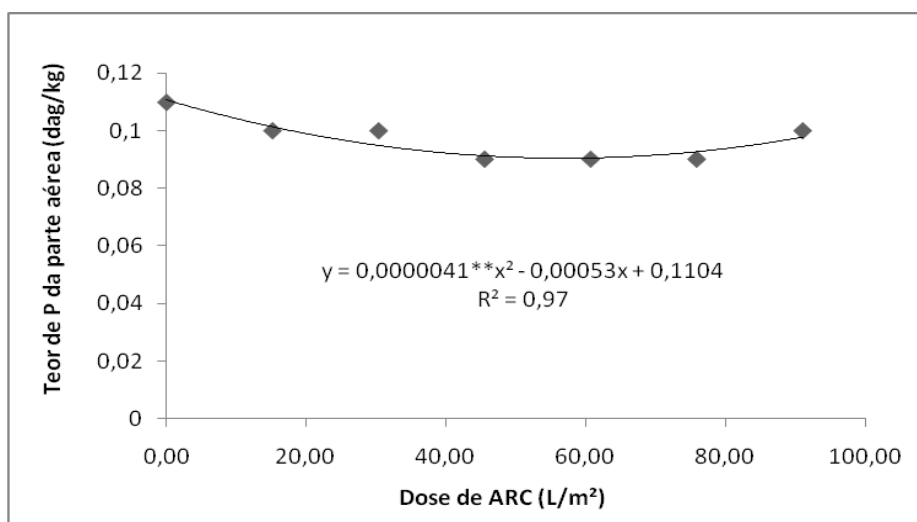


Figura 10 – Teor de P na parte aérea de plantas de milho em função de doses de ARC

Em contrapartida, o acúmulo de P (mg/parcela) na parte aérea das plantas foi descrito pelo modelo linear ao nível de 5% de probabilidade ($y = 0,009 \cdot x + 1,556$), demonstrando que o tratamento que recebeu a maior dose de ARC (91,05 L por m² de solo) absorveu 74,3% mais P comparativamente ao tratamento testemunha que não recebeu o efluente.

De acordo com Malavolta et al., (1997) a faixa de valor considerada adequada para a cultura do milho está entre 0,2 a 0,4 dag/kg de P. O tratamento que proporcionou o maior teor de P na parte aérea esteve 45% abaixo do valor da faixa adequada.

Um outro indicativo de que as plantas de milho estavam deficientes em P é que os valores médios da proporção N/P dos tratamentos situavam-se em torno de 18, ou seja, bem acima do preconizado Marengo e Lopes, (2005) que recomendam uma proporção em torno de 10 a 12.

Cabe destacar que os baixos teores de P na parte aérea das plantas podem ter ocorrido em função da baixa disponibilidade desse nutriente no solo e na ARC. A maior dose adicionou ao solo apenas 10,1% do P recomendado para a cultura do milho considerando todo o ciclo. O efeito observado para o teor de P sugere também um desbalaceamento na relação entre os nutrientes em função das altas doses de ARC, o que pode deixar o P indisponível para as plantas (RODRIGUES e CASALI, 1999), já que esse efeito de redução do teor foliar de P também foi observado por Paula et al., (2011) ao estudarem os efeitos de doses de soro de leite, efluente que apresenta alta concentração de potássio, sobre o crescimento e nutrição mineral de milho forrageiro em cultivo hidropônico.

Apesar dos resultados observados na Figura 8, pesquisas têm demonstrando aumento nos teores de P foliar de culturas agrícolas submetidas à aplicação de resíduos e efluentes orgânicos contendo P e adubação mineral fosfatada (ALVES et al., 2002; SANTOS, 2012; MIOLA et al., 1999; VIEIRA et al., 2011).

Quanto ao potássio, houve aumento significativo ($p < 0,001$) dos teores de K, e o modelo de regressão que melhor se ajustou foi o quadrático (Figura11).

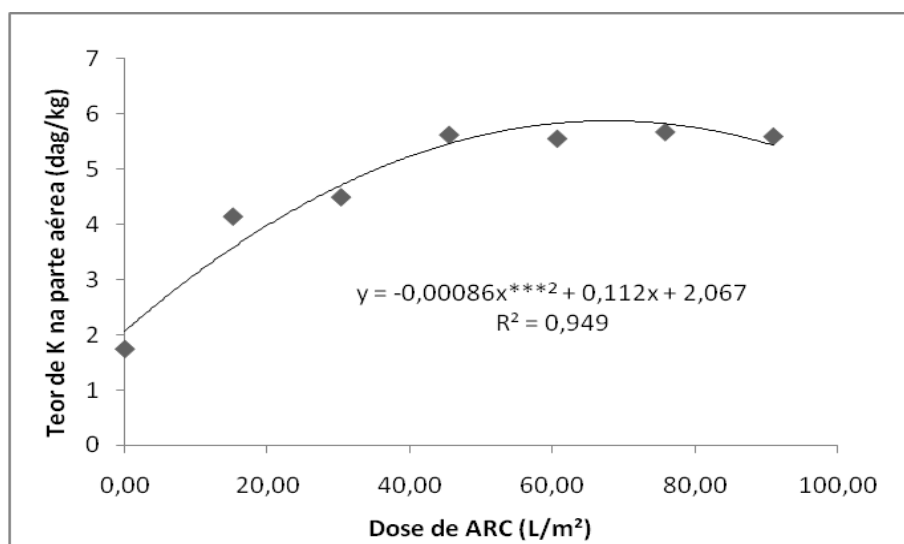


Figura 11 – Teor de K na parte aérea de plantas de milho em função de doses de ARC

O aumento mais pronunciado nos teores de K foi observado entre o tratamento testemunha (1,75 dag/kg) e o tratamento da dose equivalente a 15,17 L/m² de ARC (4,15 dag/kg), com uma taxa de aumento de 1,12 dag/kg para cada 10 L de

ARC. Nas doses seguintes, observam-se incrementos menores e tendência de queda, sendo que a dose responsável pelo máximo teor foi de 65,11 L de ARC/m² de solo, calculada com base na derivada de primeira da equação de regressão (Figura 11).

Para o acúmulo de K (mg/parcela) na parte aérea das plantas o modelo de regressão que melhor se ajustou foi o linear ao nível de 0,1% de probabilidade ($y = 1,239^{***}x + 42,97$). A equação de regressão demonstra que a cada 10 litros de ARC aplicados por m² de solo, há um acúmulo de 12,39 mg de K. A equação também evidencia o aumento significativo na absorção de K das plantas do tratamento que recebeu a maior dose de ARC (91,05 L/ m² de solo) em comparação ao tratamento testemunha, em função principalmente da maior disponibilidade desse nutriente mineral na solução do solo.

Apenas o tratamento testemunha apresentou teor de K dentro da faixa de valor considerada adequada para a cultura do milho (MALAVOLTA et al., 1997). Os teores de K das plantas nos tratamentos que receberam ARC ficaram acima da faixa de suficiência; no entanto, não apresentaram toxidez que pode ser atribuído ao consumo de “luxo” do K, uma vez que o nutriente é armazenado no vacúolo das células, não causando toxidez às plantas (LOURENÇO et al., 2013). O potássio é um elemento que apresenta amplitude bastante elevada em termos de concentração no tecido foliar, sem causar problemas de toxidez (MALAVOLTA et al., 1997).

A tendência de queda demonstrada na equação de regressão (Figura 11) pode estar associada a problemas de desequilíbrio nutricional na planta, efeito também verificado e sugerido por Lo Monaco (2005) em avaliação do estado nutricional do cafeeiro, em estágio de produção, submetido a doses crescentes de ARC.

Prezotti et al., (2012) e Soares et al., (2010) verificaram aumento dos teores de K de plantas de milho cultivadas em vaso e em casa de vegetação em função de dose de ARC, apesar de incrementos mais discretos, concordando com os resultados desta pesquisa.

Os teores de Cálcio e Magnésio na parte aérea das plantas de milho foram influenciados pela aplicação da ARC, explicado pelo modelo linear decrescente ($p < 0,001$) da Figura 12.

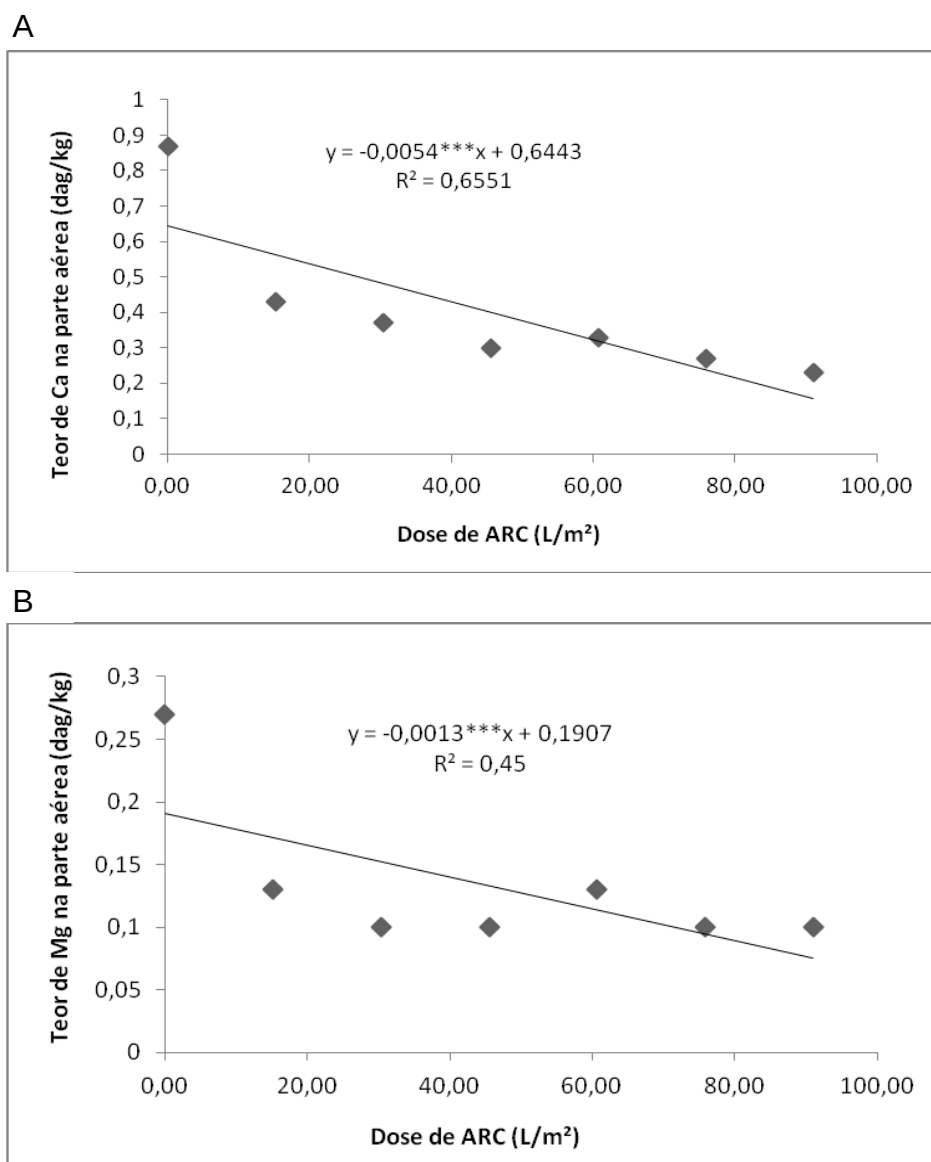


Figura 12 – Teores de Ca (A) e Mg (B) na parte aérea de plantas de milho em função de doses de ARC

O baixo coeficiente de determinação das equações da Figura 12 está em função do acentuado decréscimo nos teores de Ca e Mg entre o tratamento testemunha e o tratamento que recebeu a primeira dose de ARC (15,17 L/m²). Para o teor de Ca na parte aérea foi observado uma redução de 50,51% entre esses dois tratamentos e para o Mg uma redução de 51,85%.

Em função do acentuado decréscimo no teor de Ca na parte aérea das plantas, entre o tratamento testemunha e o tratamento que recebeu a primeira dose de ARC (15,17 L/m²), o acúmulo desse nutriente (mg/parcela) se ajustou ao modelo quadrático ao nível de 0,1% de probabilidade ($y = 0,001^{***}x^2 - 0,161x + 10,96$), inicialmente decrescente e com tendência de aumento a partir da dose de 80,5 L de ARC/m² de solo. Para o Mg, o comportamento observado referente ao acúmulo desse elemento (mg/parcela) na parte aérea das plantas foi semelhante ao do Ca, e o modelo que se ajustou também foi o quadrático ao nível de 5% de probabilidade ($y = 0,0004x^2 - 0,047x + 3,292$). A dose correspondente ao menor acúmulo de Mg foi a de 58,75 L de ARC/m² de solo, obtida com base na derivada de primeira da equação de regressão, e a partir dessa dose houve aumento no acúmulo desse nutriente.

Acredita-se que o excesso de potássio pode ter concorrido, por competição, para a menor absorção do Ca e Mg. De acordo com Malavolta (1986), o excesso de potássio pode induzir carência de cálcio e magnésio, pois pode ocorrer competição não específica entre os cátions pelas cargas negativas da célula (MALAVOLTA et al., 1997). Esse efeito é reforçado por Kupper (1981), ao afirmar que somente depois que o cálcio e o magnésio estiverem em níveis adequados no solo é que se deve pensar em adubações mais pesadas de potássio, para que haja decréscimo da força iônica desse elemento (LO MONACO, 2005).

Ressalta-se que os teores de Ca e Mg do solo utilizado nesta pesquisa foram classificados como baixo (PREZOTTI et al., 2007) e não foi realizada qualquer tipo de adubação mineral ou orgânica, à exceção dos tratamentos com ARC, contendo Ca e Mg.

Corroborando com o resultado deste trabalho, Soares et al., (2010) e Lo Monaco et al., (2009) observaram redução nos teores de Ca e Mg com o aumento das doses de ARC em plantas de milho cultivadas em casa de vegetação e em folhas de café arábica em estágio produtivo, respectivamente, e Vieira (2011) também verificaram diminuição na absorção de Ca e Mg por plantas de milho cultivadas à campo decorrentes da adição de lodo anaeróbico de estação de tratamento de efluentes de arroz parborizado. Já Morrill et al., (2012) não observaram que a absorção de Ca e Mg pela cultura do milheto forrageiro e sorgo sudão foi afetada

pelas doses de K adicionadas através do soro de leite, apesar de as equações de regressão apresentarem tendências quadráticas, ou seja, as maiores doses de soro de leite utilizadas indicavam queda na absorção de Ca e Mg.

Mesmo havendo acentuado decréscimo nos teores de Ca da parte aérea das plantas, apenas o tratamento onde se aplicou a maior dose de ARC (91,05 L/m²) ficou abaixo da faixa de valor considerada adequada (0,25 a 0,8 dag/kg), segundo Malavolta et al., (1997), sendo que o tratamento onde não se aplicou ARC ficou acima dessa faixa adequada.

Considerando o teor de Mg na parte aérea das plantas, apenas o tratamento onde não foi aplicado ARC (testemunha) encontrava-se dentro da faixa de valor (0,15 a 0,5 dag/kg) considerada adequada para a cultura do milho (MALAVOLTA et al., 1997), os demais tratamentos estavam com teor abaixo do adequado.

No que se refere ao teor de S na parte aérea (Figura 13), elemento que depende do fluxo de massa para ser absorvido (BARBER e OLSON, 1968), observou-se efeito linear significativo ($p < 0,05$), onde as doses de ARC promoveram um pequeno aumento da ordem de 0,002 dag/kg para cada 10 litros/m² de ARC. O baixo incremento no teor de S da parte aérea (Figura 13) possivelmente é em função da baixa concentração do S na ARC (0,24 mg/L). Apesar disso, o acúmulo de S (mg/parcela) foi significativo ao nível de 0,1% de probabilidade e o modelo que melhor se ajustou foi o linear ($y = 0,019^{***}x + 1,742$), evidenciando que o tratamento que recebeu a maior dose de ARC (91,05 L por m² de solo) absorveu aproximadamente duas vezes mais enxofre que o tratamento testemunha que não recebeu o efluente.

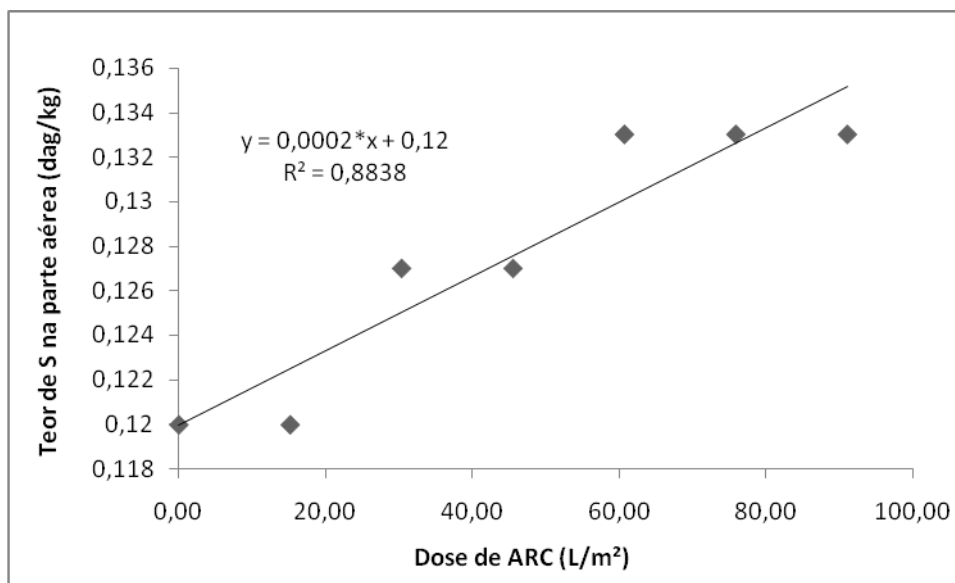


Figura 13 – Teor de S na parte aérea de plantas de milho em função de doses de ARC

Apesar do aumento na absorção e do teor de S na parte aérea das plantas em função das doses de ARC, todos os tratamentos encontravam-se abaixo da faixa de valor considerada adequada (0,15 a 0,30 dag/kg), segundo Malavolta et al., (1997) e também abaixo da proporção N/S considerada adequada por Marschner (1995), que é de 20 a 30.

Prezotti et al., (2012) observaram que a utilização de ARC não incrementou o teor de S na parte aérea de plantas de milho cultivadas em vaso e em casa de vegetação, sugerindo que esse resultado se deu em função do efeito de diluição, pois a taxa de formação dos tecidos foi superior à taxa de absorção do S, o que acarretou a redução do seu teor na parte aérea da planta. Junio et al., (2013), ao estudarem os efeitos da adubação com doses de composto de lodo de esgoto e com fosfato natural de Gafsa sobre os teores de nutrientes na folha do milho, verificaram que o teor de S na folha não foi influenciado pelos tratamentos, ficando abaixo dos limites considerados adequados. Já Paula et al., (2011) obtiveram efeito positivo significativo no teor de S da parte aérea de milho forrageiro em cultivo hidropônico e adubado com doses de soro de leite bovino, e o teor desse nutriente na parte aérea encontrava-se na faixa de suficiência.

4.4 Correlação entre as variáveis de crescimento e o teor dos nutrientes na parte aérea

As correlações entre as variáveis de crescimento e o teor dos macronutrientes na parte aérea das plantas e a correlação entre os teores dos macronutrientes foliares foram significativos (Tabela 8).

Tabela 8 – Correlação entre as variáveis de crescimento e o teor dos nutrientes na parte aérea das plantas de milho.

	N ¹	P ¹	K ¹	Ca ¹	Mg ¹	S ¹
	----- r -----					
MSR (g/parcela)	-0,29 ^{ns}	0,44 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,12 ^{ns}	-0,51 ^{ns}
MSPA (g/parcela)	0,77*	-0,50 ^{ns}	0,80*	-0,83*	-0,69 ^{ns}	0,87**
AF (cm ² /parcela)	0,88**	-0,61 ^{ns}	0,89**	-0,92**	-0,86*	0,85*
DC (mm/parcela)	0,83*	-0,71 ^{ns}	0,92**	-0,88**	-0,77*	0,94**
RELAÇÃO P.A/RAIZ	0,8*	-0,65 ^{ns}	0,86*	-0,82*	-0,69 ^{ns}	0,98**
RMR	-0,77*	0,75 ^{ns}	-0,91**	0,87**	0,75*	-0,97**
RAF	0,81*	-0,76*	0,90**	-0,88**	-0,84*	0,82*
N ¹		-0,37 ^{ns}	0,7 ^{ns}	-0,72 ^{ns}	-0,65 ^{ns}	0,72 ^{ns}
P ¹			-0,88**	0,78*	0,74 ^{ns}	-0,68 ^{ns}
K ¹				-0,98**	-0,92**	0,81*
Ca ¹					0,97**	-0,75*
Mg ¹						-0,60 ^{ns}

MSR, MSPA, AF, DC, RELAÇÃO PA/RAIZ, RMR E RAF = matéria seca do sistema radicular, matéria seca da parte aérea, área foliar, diâmetro médio do caule, relação matéria seca da parte aérea/matéria seca do sistema radicular, razão massa radicular e razão área foliar; ¹ Teor do elemento (dag/kg) na parte aérea das plantas de milho; ^{ns}, * e **, não significativo e significativo a 5 e 1 %, respectivamente

Os teores de N, K e S da parte aérea das plantas de milho mostraram correlação com a MSPA, AF e DC (Tabela 8), o que está de acordo com o preconizado por Fontes (2011), que diz haver uma estreita relação entre crescimento e concentração de nutrientes na planta. Especificamente para o N, Lawlor (2002) indica haver uma forte correlação entre o teor de nitrogênio na planta e a produção de biomassa e França et al., (2011) demonstrou que a disponibilidade de N afeta significativamente o crescimento vegetativo da cultura do milho. Para o

K, Fayad (1998) também observou estreita relação entre a taxa de crescimento e a taxa de absorção de K, corroborando com os resultados desta pesquisa.

A forte correlação observada entre a AF e os teores de N e K, com valores de 0,88 e 0,89 respectivamente, sugere a influência dessa variável de crescimento no processo transpiratório das plantas, ou seja, a maior área foliar favorece maior transpiração, condição que aumenta a absorção dos nutrientes N e K, transportados no solo, predominantemente por fluxo de massa (NOVAIS e MELLO, 2007; OLIVEIRA et al., 2010).

A correlação positiva verificada entre a área foliar e o teor de S na parte aérea (Tabela 4), também sugere ao papel do processo de fluxo de massa da absorção desse nutriente. Segundo Barber e Olson (1968), quase 100% do enxofre absorvido pela cultura do milho ocorre através do fluxo de massa.

Em relação às variáveis relação PA/RAIZ e o teor de N, obteve-se uma correlação positiva de 0,8, o que está de acordo com o preconizado por Marengo e Lopes (2011) ao afirmarem que quando há menor disponibilidade de N, os assimilados da planta são preferencialmente direcionados para a formação de raízes. Nesta pesquisa, a medida que a disponibilidade de N aumentou em função dos tratamentos, aumentaram-se os teores foliares e a relação PA/RAIZ.

Entre os teores de nutrientes na parte aérea, observa-se na Tabela 8 uma forte correlação negativa entre o teor de K e os de Ca e Mg. Essa relação possivelmente ocorreu em função da competição entre esses nutrientes nos sítios de absorção radiculares, pois o K adicionado através da ARC gerou um aumento de sua concentração na solução do solo, ocupando preferencialmente os sítios de absorção em detrimento da absorção de Ca e Mg.

Para Marengo e Lopes (2011), nos microporos da raiz, os grupos carboxílicos (RCOO^-) atuam como sítios para a troca de cátions. Assim, os cátions acumulam-se nesses pontos e os ânions são repelidos. As altas doses de ARC, que incorre no aumento na concentração do cátion K^+ na solução do solo, poderia explicar a correlação negativa entre os teores de K e P na parte aérea das plantas (Tabela 8) em função da dinâmica eletrostática. Porém, essa correlação não ocorreu com o S, que também é absorvido na forma aniônica, o que indica a necessidade de

avanços no entendimento dos processos envolvidos na absorção e relação de equilíbrio entre os nutrientes adicionados via ARC.

5 CONCLUSÕES

- A ARC aumenta o rendimento da matéria seca, área foliar e diâmetro do caule das plantas de milho em seus estágios iniciais;
- Embora o teor de N na parte aérea e a absorção de N aumente em função das doses de ARC, é insuficiente para suprir a exigência nutricional das plantas, sendo observados claros sintomas visuais de deficiência; para o K, a primeira dose de ARC (15,17 L por m² de solo) é suficiente para elevar o teor foliar desse nutriente acima da faixa de suficiência;
- A aplicação da ARC no solo aumenta os teores de N, K e S da parte aérea das plantas de milho em seus estágios iniciais e diminui os de Ca, Mg e P;
- As doses de ARC proporcionam uma maior absorção dos nutrientes N, P, K e S pelas plantas de milho em seus estágios iniciais e menor absorção dos nutrientes Ca e Mg;
- Atenção deve ser dada à aplicação de altas doses de ARC em função do desbalanceamento na relação entre nutrientes;
- A aplicação da ARC no solo é suficiente para atender a exigência das plantas de milho em K, porém outros nutrientes devem ser complementados a fim de suprir a exigência nutricional e evitar desbalanço entre os nutrientes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, M. Effect of phosphorus, plant density and plant type on oil and protein content in soybean (*Glycine max*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.63, p.118-119, 1993.

ALVES, W. W. A. de.; ALBUQUERQUE, J. H. de.; OLIVEIRA, F. A. de.; CAVALCANTE, L. F.; SOUZA, C. C. de. Manejo de água disponível no solo e adubação fosfatada: efeito sobre a cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n.2, p.247-251, 2002.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande, PB: UFPB, 1991. (Estudos FAO irrigação e drenagem – Boletim 29).

BARBER, S. A. & OLSON, R. A. Fertilizer use on corn. In NELSON, L> B., ed. **Changing patterns in fertilizer use**. Madison, American Society of Agronomy, 1968. P.163-88

BASTOS, R. K. X., MARQUES, M. O., **Utilização de esgoto tratado em fertirrigação, hidroponia e piscicultura – Uma análise crítica**. In: Utilização de esgoto tratado em fertirrigação, hidroponia e piscicultura/ Rafael Kopschitz Xavier Bastos (coordenador). – Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. 267 p. : il. Projeto PROSAB.

BAUMGARTNER, J. G.; LOURENÇO, R. S.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral e adubação do maracujazeiro (*Passiflora Edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) Adubação mineral. **Científica**, v.6, p.361-367, 1978.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Métodos de análises químicas em plantas**. Recife: UFRPE, 2004, 148p

BOARETTO, A. E.; CHITOLIA, J. C.; VAN RAIJ, B.; SILVA, F. C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. S. Amostragem, acondicionamento e preparação das amostras de plantas para análise química. In: SILVA, F. C. (Org). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999, p.49-73

CAIELLI, E. L. Subprodutos e resíduos da agroindústria na alimentação animal. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL, 2., Nova Odessa, 1986. **Anais...** Nova Odessa, Fundação Cargill, 1986. P. 17-27.

CAMPOS, J. M. C. **Contaminación Del água em Costa Rica por resíduos del procesamiento del café y de La porcicultura.** In: - Prevención de La contaminación del água por La agricultura y actividades afines, Santiago: FAO, 1993. P.113-124. (Informe sobre temas hídricos, n.1).

CANTARELLA, H. & RAIJ, B. van. **Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo.** In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO NITROGENADA NO BRASIL. Ilhéus, 1986. Campinas, SBCE, 1986. P.243-73

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C. **Nutrição e adubação do milho forrageiro.** In EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo. Milho para silagem: Tecnologias, sistemas e custo de produção. Sete Lagoas, 1991. P.29-73. (Embrapa – CNPMS. Circular Técnica, 14)

CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial **[da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 18 de mar. 2005, Seção 1, p.58-63. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 28 ago. 2013.

COREY, R. B. Factors affecting the availability of nutrients to plants. In: WALSH, L. M. & BEATON, J. D., ed. **Soil testing and plant analysis.** Madison, American Society of Agronomy, 1973. P.23-33.

COUTINHO, E. L. M.; NATALE, W.; STUPIELLO, J. J.; CARNIERE, P. E. Avaliação da eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho. **Científica**, São Paulo, v.19, n.2, p.93-104, 1991.

DAVID, M. A.; MENDONÇA, V.; REIS, L. L.; SILVA, E. A.; TOSTA, M. S.; FREIRE, P. A. Efeito de doses de superfosfato simples e de matéria orgânica sobre o crescimento de mudas de maracujazeiro ‘amarelo’. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, p.147-152, 2008.

DROUX, M. Sulfur assimilation and the role of s  lfur in plant metabolism: a survey. **Photosynthesis Research**, v.79, p.331-348, 2004.

DUARTE, A. S.; SILVA, E. F. F.; ROLIM, M. M.; FERREIRA, R. F. A. L.; MALHEIROS, S. M. M.; ALBUQUERQUE, F. S. Uso de diferentes doses de manipueira na cultura da alface em substitui  o    aduba  o mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.3, p.262-267, 2012.

DUBOIS, F.; TERCE-LAFORGUE, T.; GONZALEZ-MORO, M. B.; ESTAVILLO, J. M.; SANGWAN, R.; GALLAIS, A.; HIREL, B. Glutamate dehydrogenase in plants: is there a new story for an old enzyme? **Plant Physiology & Biochemistry**, v.41, p.565-576, 2003.

ELIAS, L. G. Composi  o química de La pulpa de café, y otros subproductos. **Pulpa de café: composición tecnología y utilización**. Ed. Brahan, J. E.; Bressani, R. CII D, 1978, p. 19-29.

ELLIOTT, D. E.; REUTER, D. J.; REDDY, G. D.; ABBOT, R. J. Phosphorus nutrition of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) 1. Effects of phosphorus supply on plant symptoms, yield, components of yield, and plant phosphorus uptake. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.48, p.855-867, 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.

EPSTEIN, E. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. London, New York: John Wiley & Sons, 1972. 412p.

ERICSSON, T.; RYTTER, L.; VAPAAVOURI, E. Physiology of carbon allocation in trees. **Biomass and Bioenergy**, v.11, p.115-127, 1996.

EVANS, J. R. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.) **Plant Physiology**. V.72, p.297-302, 1983.

EVANS, J. R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. **Oecologia**. V.78, p.9-19, 1989.

FAGEIRA, N. K. Soil acidity affects availability of nitrogen, phosphorus and potassium. **Batter Crops International**, Atlanta, v.10, p.8-9, 1994.

FAYAD, J. A. **Absorção de nutrientes, crescimento e produção do tomateiro cultivado em condições de campo e estufa**. 1998. 81p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 240p.

FERREIRA, P. A.; GARCIA, G. de O.; MATOS, A. T. de; RUIZ, H. A.; BORGES JUNIOR, J. C. F. Transporte no solo de solutos presentes na água residuária de café, **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.28, n.1, p.29-35, 2006.

FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal** 1. 2ª ed. São Paulo: EPU, 1985. 361p.

FONTES, P. C. R. **Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnóstico**, Viçosa: O Autor, 2011. 296p.

FRANÇA, S.; MIELNICZUK, J.; ROSA, L. M. G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. Nitrogênio disponível ao milho: Crescimento, absorção e rendimento de grãos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.11, p.1143-1151, 2011.

FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R.; MEDA, A. R.; DUARTE, A. P. Efficiency of maize cultivars for zinc uptake and use. **Scientia Agrícola**, v.62, n.3, p.264-273, 2005.

GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A.; QUAGGIO, J. A.; BATAGLIA, O. C. Resposta diferencial das culturas de soja e sorgo à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p. 253-258, 1986.

GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p.459-465, 2007.

HELL, R. Molecular physiology of plant sulfur metabolism. **Plant**, v.202, p.138-148, 1997.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água do Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In: MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. dos (eds). Reúso da Água. Barueri, SP: Manole, 2003.

IEMA. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Instrução Normativa Nº 13**, de 17 de dezembro de 2007. Disponível em: <http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp>. Acesso em: 27/08/2013.

JÚNIOR, A. B. A.; NASCIMENTO, C. W. C. do; SOBRAL, A. F.; SILVA, F. B. V. da; GOMES, W. A. Fertilidade do solo e adsorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.10, p.1004-1013, 2011.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; SANTOS, G. B.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A. Produtividade de milho adubado com composto de solo de esgoto e fosfato natural de gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.7, p.706-712, 2013.

KLEPKER, O.; ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo no solo e da localização do adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.19, p.403-408, 1995.

KUMAR, P. A.; ABROL, Y. P. Ammonia assimilation in higher plants. In: ABROL, Y. P. (Ed) **Nitrogen in higher plant**. Taunton, Somerset: Research Studies Press, 1990, p.159-179.

KUPPER, A. Fatores climáticos e edáficos na cultura cafeeira. In: **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato. Instituto internacional da Potassa, 1981.

LAWLOR, D. W. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.773-787. 2002.

LEMAIRE, Ed. g. **Diagnóstico do status de nitrogênio nas lavouras**. Berlim, Springer, 1997. 56p.

LEUSTEK, T.; MARTIN, M. N.; BICK, J. A.; DAVIES, J. P. Pathways and regulation of sulfur metabolism revealed through molecular and genetic studies. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.51, p.141-165, 2000.

LO MONACO, P. A. **Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos**. 2005. 101p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

LO MONACO, P. A.; MATOS, A. T. de; MARTINEZ, H. E. P.; FERREIRA, P. R.; RAMOS, M. M. Características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. **Irriga, Botucatu**, v.14, n.3, p.348-364, 2009.

LOURENÇO, K. S.; CORRÊA, J. C.; ERNANI, P. R.; LOPES, L. dos S.; NICOLOSO, R. da S. Crescimento e absorção de nutrientes pelo feijoeiro adubado com cama de aves e fertilizantes minerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.37, p.462-471, 2013.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. P.165-274.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, E. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**, Viçosa: Editora UFV. 2005. 451p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**, 3. ed. Viçosa: Editora UFV. 2011. 486p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London, New York: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, Y. P.; ZABINI, A. V. Diagnóstico do Estado Nutricional do Cafeeiro. In: **Produção Integrada de café**. ZAMBOLIM, L. (ed). Viçosa; UFV; DFP, 2003, p.397-441.

MARTINS, A. G. & VENTURA J. A. Adubação N-P-K e o desenvolvimento, produtividade e qualidade dos frutos do abacaxi 'GOLD' (MD-2). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.4, p.1367-1376, 2011.

MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320p. (Coleção do Agricultor. Grãos).

MATIELLO, J. B. Quentes como o café: indicações de usos de equipamentos, produtos e serviços para a cafeicultura. Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÊ, 1999. p.124-140.

MATOS, A. T, de. Tratamento de resíduos na pós-colheita do café. In: BOREM, F. M. (Ed.). **Pós colheita do café**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. Cap. 6, p. 159-201.

MATOS, A. T, de. Tratamento e destinação final dos resíduos gerados no beneficiamento do fruto do cafeeiro. **Produção Integrada de Café**. ZAMBOLIM, L. (Ed). Viçosa: UFV; DPF, 2003. P. 647-705.

MATOS, A. T.; FIA, R.; LO MONACO, P. A. Fertirrigação da cultura do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e despulpa de seus frutos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café; MINASPLAN, 2001. V.2, p.1351-1356.

MATOS, A. T. de; LO MONACO, P. A. Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos de lavagem e despulpa dos frutos do cafeeiro. Viçosa,

MG. UFV, 2003. 68p. (UFV-DEA. **Revista Engenharia na Agricultura**. Boletim Técnico, 7).

MATSUNO, Y. **Urban wastewater: A valuable resource for agriculture**. A case study from horoonabad, Sri Lanka: International Water Management Institute, 2002. 20p. Research Report, 63.

MEDEIROS, G. M. G. de. **Condições de reúso dos efluentes finais das ETE's do estado da Paraíba**. Campina Grande – PB: UFCG, 2007, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, 2007. 115p.

MENGEL, A.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

MIFLIN, B.; HABASH, D.Z. The role of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in nitrogen assimilation and possibilities for improvement in the nitrogen utilization of crops. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.979-987, 2002.

MIOLA, G. R.; TEDESCO, M. J.; BISSANE, C. A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. de O. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.5, p.813-819, 1999.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C. Efeito residual do calcário na produção de milho e soja em solo glei pouco húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.209-215, 2000.

MORAES, J. C. B. de; SALCEDO, I. H.; SOUZA, V. F. Doses de potássio por gotejamento no estado nutricional do maracujareiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.8, p.763-770, 2011.

MOREIRA, A. C. O tesouro redescoberto. **Revista Panorama Rural**, v.1, n.6, 1999. p.16-41.

MORRILL, W. B. B.; ROLIM, M. M.; NETO, E. B.; PEDROSA, E. M. R.; OLIVEIRA, V. S.; ALMEIDA G. L. P. Produção e nutrientes minerais de milheto forrageiro e

sorgo Sudão adubado com solo de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.2, p.182-188, 2012.

MURRAY, A.; RAY, I. Wastewater for agriculture: A reuse-oriented planning model and its application in Peri-urban China. **Water Research**, v.44, p. 1667-1679, 2010.

NJHON, B. O.; ENWEZOR, W. O.; ONZENAKWE, B. I. Calcium deficiency identified as an important factor limiting maize growth in acid ultisols of Eastern Nigeria. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.14, p.113-124, 1987.

NOGUEIRA, V. S. Preparo do café. In: **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA M.; YAMADA T. Eds. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisas da Potassa e do Fosfato, 1986. 447p. 423-432.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap.4, p.133-204.

OLIVEIRA, E. M. M.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. H.; FERREIRA, P. A.; COSTA, F. O.; ALMEIDA, I. C. C. Nutrient supply by mass flow and diffusion to maize plant in response to soil aggregate size and water potential. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.317-327, 2010.

OLIVEIRA, P. G. F. de; MOREIRA, O. C.; BRANCO, L. M. C.; COSTA, R. N. T. C.; DIAS, C. N. Eficiência do uso dos fatores de produção água e potássio na cultura da melancia irrigada com água de reúso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.2, p.153-158, 2012.

PAGANINI, W. S. **Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície**. São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997. 232 p.

PAULA, L. de; ROLIM, M. M.; NETO, E. B.; SOARES, T. M.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, E. F. F. Crescimento e nutrição mineral de milho forrageiro em cultivo

hidropônico com solo de leite bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.9, p.931-939, 2011.

PINTO, A. B. **Avaliação de gramíneas forrageiras com uso de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa – MG: UFV, 2001, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001. 108p.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**, São Paulo: UNESP, 2008. 408p.

PRADO, R. M.; BRAGHIROLI, L. F.; NATALE, W.; CORRÊA, M. C. M.; ALMEIDA, E. V. de. Aplicação de potássio no estado e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, p.295-299, 2004.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A.; **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5ª aproximação, Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007.305p.

PREZOTTI, L. C.; POLONINI, M. A.; SOARES, A. F.; ROCHA, A. C. da. **Teores de nutrientes nas águas residuárias do café e características químicas do solo após sua aplicação**. Vitória, ES; Incaper, 2012. 24p. (Incaper, Documentos 208).

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. C. da.; SOARES, S. F.; GUARÇONI, A.; MONELLI, A. P. Alteração nas características químicas do solo submetido à aplicação de água residuária do processamento pós-colheita dos frutos de café e sua influência sobre o crescimento de plantas de milho. In: 34º Simpósio Brasileiro de Pesquisa Cafeeira. **Anais...** Caxambu, MG, p.83-85, 1986. 2009.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, p.665-693, 1999.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres. Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1996. 285p (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; FEITOSA, C. T.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A. P. de; DECHEN, A. R.; ALVES, S.; SORDI, G.; VEIGA, A. A.; CAMPANA, M. P.; PETINELLI, A.; NERY, C. **A análise de solo para discriminar respostas à adubação para a cultura do milho**. Bragantia, Campinas, 40:57-75, 1981

RIBEIRO, M. S.; LIMA, L. A.; FARIA, F. H. de; REZENDE, F. C.; FARIA, L. A. Efeitos de águas residuárias de café no crescimento vegetativo de cafeeiros em seu primeiro ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.4, p.569-577, 2009.

RODRIGUES, E. T.; CASALI, V. W. D. Rendimento e concentração de nutrientes em alface, em função das adubações orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, v.17, p.125-128, 1999.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology**, 4. ed. Belmont, CA: Wadsworth Publishing, 1992. 682p.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p.17-29, 2007.

SANTOS, M. H. V.; ARAÚJO, A. C. de.; SANTOS, D. M. R.; LIMA, N. S.; LIMA, A. C. A.; LIMA, C. L. C.; SANTIAGO, A. D. Uso da manipueira como fonte de potássio na cultura da alface (*Lactuca sativa*, L.) cultivada em casade-vegetação. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.32, p.729-733, 2010.

SANTOS, O. S. N.; PAS, V. P. S.; GLOAGUEN, T. V.; TEIXEIRA, M. B.; FADIGAS, F. S.; COSTA J. A. Crescimento e estado nutricional de helicônia irrigada com água residuária tratada em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.8, p.820-827, 2012.

SARTOR, L. R.; ASSMANN, A. L.; ASMANN, T. S.; BIGOLIN, P. E.; MIYAZAWA, M.; CARVALHO, P. C. F. Efeito das taxas de resíduos de suínos em milho, feijão comum, feijão de soja e trigo - rendimento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.2, 2012.

SATTELMACHER, B.; HEINECKE, I.; MUHLING, K. H. Influence of minerals on cytoplasmic streaming in root hairs of intact wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). **Planta and Soil**. V.155/156, p.107-110, 1993.

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. **Plant Physiology**, v.116, p.447-453, 1998.

SILVA, J. S.; SAMPAIO, C. P.; MACHADO, M. C.; LO MONACO, P. A. Preparo, Secagem e Armazenagem. **Secagem e armazenagem de café: tecnologia e custos** – Viçosa: UFV, CBP&D – Café, 2001.

SNEDDEN, W. A.; FROMM, H. Calmodulin, calmodulin-related proteins and plant responses to the environment. **Trends in Plant Science**, v.3, p.299-304, 1998.

SOARES, S. F.; MORELI, A. P.; DONZELES, S. M. L.; PRESOTTI, L. C. ROCHA, A. C. de. **Efeitos da água residuária do café em plantas e no substrato de cultivo de aveia**. Comunicado Técnico Embrapa nº 01, Brasília, DF, 2010.

SOARES, S. F.; DONZELES, S. M. L.; MORELI, A. P. Crescimento de plantas de milho em vasos após a aplicação de água residuária do processamento do café. In: VII Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil. **Anais...** Araxá, MG, p.83-85. 2011.

SOARES, S. F.; DONZELES, S. M. L.; MORELI, A. P.; ROCHA, A. C. da; PRESOTTI, L. C.; SOARES, G. F.; SOARES, V. F. **Água residuária do café: geração e aproveitamento**. Belo Horizonte, MG. EPAMIG, 2008. 4p. (Circular Técnica, 30).

SOARES, S. F.; SOARES, V. F.; SOARES, G. G.; ROCHA, A. C. da; MORELI, A. P.; PRESOTTI, L. C. Destinação da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; BRAGANÇA, S. M.;

FEERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. de. **Café conilon**. Vitória: Incaper, 2007. P.519-529.

SOOCCOL, C. R.; LEIFA, F.; WOICIECHOWSKI, A. L.; BRAND, D.; MACHADO, C. M. M.; SOARES, M.; CHRISTEN, P.; PANDEY, A. Experiência brasileira na valorização biotecnológica de subprodutos da agroindústria do café. In: Seminário Internacional Sobre Biotecnologia Na Agroindústria Cafeeira. **Anais...** Londrina, PR, p.323-328, 1999.

SOUSA, J. T., HAANDEL, A. C., GUIMARÃES A. V. A., **II – 056 – Comparação entre sistemas wetlands tratando efluente anaeróbio**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2001.

SOUZA, V. F. de; FOLEGATTI, M. V.; FILHO, M. A. C.; FRIZZONE, J. A. Distribuição radicular do maracujazeiro sob siferentes doses de potássio aplicados por fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.51-56, 2002.

SUELTER, C. H. Enzymes activated by monovalent cations. **Science**, v.168, p.789-795, 1970.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 3. ed. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, 2002. 690p.

TAYLOR, G.L.; NEAL, L.A. Land treatment of waste as na industrial sitting advantage. In: INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, 37, 1982. **Proceedings...** Purdue Univ., 1982. P.233-238.

VAN DEER HOECK, W.; HASSAN, U. M.; ENSINK, J. H. J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; HUSSAIN, R.;

VASCO, J. Z. Procesamiento de frutos de café por via humeda y generación de subprodutos, In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. **Proceedings...** Londrina, PR: UFPR, IAPAR, IRD, 2000. P.345-355.

VIEIRA, G. D'A; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS R. M. V. Atributos do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes da parbolização do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.2, p.535-542, 2011.

ZHAO, F. J.; HAWKESFORD, M. J.; McGRATH, S. P. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. **Journal of Cereal Science**, v.30, p.1-17, 1999.

ZHU, Y. -G.; SMITH, S.E.; SMITH, F. A. Zinf (Zn)-phosphorus (P) interactions in two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) differing in P uptake efficiency. **Annals of Botany**, v.88, p.941-945, 2001.