

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS, EXPORTAÇÃO  
DE NUTRIENTES DE GENÓTIPOS E FOLHA DIAGNÓSTICA DO  
CUPUAÇUZEIRO

**MARLENE EVANGELISTA VIEIRA**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO – 2021

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS, EXPORTAÇÃO  
DE NUTRIENTES DE GENÓTIPOS E FOLHA DIAGNÓSTICA DO  
CUPUAÇUZEIRO

**MARLENE EVANGELISTA VIEIRA**

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marta Simone Mendonça Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Ismael de Jesus Matos Viégas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO – 2021

### FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

V658

Vieira, Marlene Evangelista.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS, EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES DE GENÓTIPOS E FOLHA DIAGNÓSTICA DO CUPUAÇUZEIRO / Marlene Evangelista Vieira. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

86 f.

Inclui bibliografia.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2021.

Orientadora: Marta Simone Mendonça Freitas.

1. *Theobroma grandiflorum*. 2. fruteira nativa. 3. composição química. 4. nutrição de plantas. 5. diagnose foliar. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS, EXPORTAÇÃO  
DE NUTRIENTES DE GENÓTIPOS E FOLHA DIAGNÓSTICA DO  
CUPUAÇUZEIRO

**MARLENE EVANGELISTA VIEIRA**

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

Aprovada em 18 de março de 2021

Comissão Examinadora:

---

Prof. Dr. Almy Junior Cordeiro de Carvalho (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

---

Prof. Dr. Marcelo Vivas (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

---

Prof. Dr. Ismael de Jesus Matos Viégas (D.Sc., Agronomia) – UFRA  
(Campus Capanema)

---

Prof<sup>a</sup>. Marta Simone Mendonça Freitas (Dsc., Produção Vegetal) – UENF  
Orientadora

À Deus, pelo dom da vida  
À minha mãe (Isabel Barbosa Evangelista),  
A meus irmãos, Maciel Vieira (*in memoriam*), Marly Vieira, Marcilene Vieira,  
Márcio Vieira e Marcos Barbosa, por todo o apoio e incentivo,  
Dedico

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da minha vida e de todos da minha família, por ter nos proporcionado muita saúde. Também sou grata por Ele ter colocado pessoas maravilhosas em meu caminho, pessoas que, sem dúvida, foram de suma importância para a realização desse sonho, dentre essas pessoas agradeço:

À minha mãe, Isabel Barbosa, minha rainha, por todos os ensinamentos de perseverança, bondade com o próximo. Pelo carinho e muita compreensão. Mãe, você é um exemplo a ser seguido. AMO-TE MUITO. Agradeço, também pela ajuda na coleta dos frutos;

A todos os meus familiares, em especial aos meus irmãos e sobrinhos pela amizade, respeito e muito amor. Cada um de vocês tem um lugarzinho especial no meu coração. AMO MUITO VOCÊS. Em especial meu amado irmão Maciel, que foi morar com o Pai em 2020. Mano para sempre te amarei;

À minha orientadora, professora doutora Marta Simone Mendonça Freitas, pela orientação, compreensão, paciência, dedicação e todos os conhecimentos científicos. Obrigada professora por todos os momentos alegres que tivemos no laboratório, com certeza eu aprendi muito com a senhora nesses anos de convivência;

Ao meu coorientador, professor doutor Ismael de Jesus Matos Viégas, por ter embarcado comigo na ideia de trabalhar com o cupuaçuzeiro, agradeço, também pela sua amizade e carinho comigo;

Ao Dr Rafael Moysés Alves, o “pai dos cupus”, que durante todo o doutorado, também me orientou. Sempre com muita paciência, zelo e carinho. Estava sempre disposto a ajudar;

Ao técnico do Laboratório, senhor José Accácio, pela ajuda nas análises de toda a tese, ressalto que, tudo que aprendi de laboratório foi com esse excelente técnico. Agradeço também pela sua amizade;

Ao técnico da Embrapa Amazônia Oriental de Tomé-Açu Edilson Braga Rodrigues, bem como todos os funcionários da base, por todo o apoio na coleta dos frutos, conhecimento da cultura, pela amizade e pelas palavras de carinho e amizade;

A todos os amigos do laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, os que já passaram (Tháisa Capato Lima, Jéssica Morais Cunha, Ygor Gonçalves, Luciana Pereira, Diesily Andrade) e os que ainda permanecem Diego Alves Peçanha, Assistone Costa de Jesus agradeço pela ajuda nas análises nutricionais. Vocês foram essenciais para tudo acontecer;

Agradeço também aos alunos que chegaram recente, Detony Petri, Joseph Pereira, Liliane Machado e Alex do Carmo, pela amizade e boa convivência no laboratório;

Às “meninas do Pará”, Deyse Jacqueline Malcher e Gleyce Kelly Ramos, pelas trocas de conhecimento, pelos momentos de conversas e de boa convivência, levarei vocês para a vida. Sentirei saudades dos nossos cafés;

Aos meus amigos “abençoados” pelos momentos de diversão e pela amizade;

Aos professores, por todo o conhecimento compartilhado;

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Brasil – código de financiamento 001 pela concessão de bolsa de estudos, necessária à conclusão deste curso;

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), pela oportunidade de fazer o doutorado;

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
<b>2.1 Aspectos gerais da cultura do cupuaçuzeiro</b> .....	4
<b>2.2 Nutrição de frutíferas tropicais</b> .....	7
<b>2.2.1 Diagnose foliar de frutíferas</b> .....	8
<b>2.2.2 Exportação de nutrientes em frutíferas</b> .....	10
<b>2.3 Disponibilidade de nutrientes e nutrição de cupuaçuzeiro</b> .....	11
3. TRABALHOS .....	14
3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS DO CUPUAÇUZEIRO: FERRAMENTA IMPORTANTE PARA USO NO MELHORAMENTO GENÉTICO DA ESPÉCIE. ....	14
RESUMO .....	14
ABSTRACT .....	15
INTRODUÇÃO .....	16
MATERIAL E MÉTODOS.....	18
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
CONCLUSÕES .....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
3.2 EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELOS FRUTOS DE GENÓTIPOS DE CUPUAÇUZEIRO .....	37



RESUMO .....	37
ABSTRACT .....	38
INTRODUÇÃO .....	39
MATERIAL E MÉTODOS.....	41
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
3.3 PADRÕES DE NUTRIENTES FOLIARES PARA CULTURA DO CUPUAÇUZEIRO: EFEITO DA POSIÇÃO DA FOLHA NO RAMO .....	57
RESUMO .....	57
ABSTRACT .....	58
INTRODUÇÃO .....	59
MATERIAL E MÉTODOS.....	60
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	62
CONCLUSÃO .....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

## RESUMO

VIEIRA, Marlene Evangelista, D.Sc, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2021. Caracterização físico-química de frutos, exportação de nutrientes de genótipos e folha diagnóstica do cupuaçuzeiro. Orientadora: Profa. Dra. Marta Simone Mendonça Freitas. Coorientador: Prof. Dr. Ismael de Jesus Matos Viégas.

Para aumentar a produção e a resistência das plantas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), as pesquisas de melhoramento genético com a cultura se intensificaram nos últimos anos e as plantas produziram mais, por outro lado, a exigência nutricional também aumentou tornando dessa forma os trabalhos com nutrição, para essa cultura, essenciais para que estas expressem toda sua capacidade produtiva. Diante disso, objetivou-se, caracterizar físico-quimicamente os frutos e quantificar a exportação de nutrientes pelos frutos de diferentes genótipos de cupuaçuzeiro, além de definir a folha diagnóstica da cultura. Foram coletados 240 frutos, de seis genótipos, denominados de BRS Careca, BRS Fartura, BRS Duquesa, BRS Curinga, BRS Golias (32, 42, 46, 61, 64, respectivamente), e o genótipo 63, este em fase final de melhoramento. As plantas que há treze anos passaram por um processo de exortia de substituição de copas, foram instaladas numa área em solo do tipo Latossolo Amarelo, da Embrapa Amazônia Oriental, localizada no município de Tomé-açu, PA. Para análises das características física do fruto e físico-química da polpa, foram selecionados, 20 frutos de cada genótipo e os dados foram submetidos à análise de variância univariada e multivariada pelo método dos componentes principais. Os materiais

testados apresentaram características adequadas tanto para mercado *in natura* quanto para a indústria, com índices de qualidade de polpa superiores aos determinados pelo MAPA. Para quantificar a exportação de nutrientes pelos frutos, foram empregados os 240 frutos coletados e quantificados o teor de macro e micronutrientes nas diferentes partes do fruto (casca, semente e polpa), posteriormente, transformados para acúmulo pela relação com a massa da matéria seca de cada compartimento dos frutos, a partir dessas informações, foi estimado a exportação desses nutrientes por tonelada de frutos frescos dos seis genótipos. O potássio é o nutriente mais exportado pelas cascas dos genótipos, sendo responsável por 56,9% do acúmulo desse nutriente em relação ao fruto inteiro. O potássio e o nitrogênio foram os nutrientes mais exportados pelos frutos frescos dos genótipos com valores variando de K (3,61 a 5,73 kg t<sup>-1</sup>) e de N (2,62 a 2,88 kg t<sup>-1</sup>). A exportação dos nutrientes por tonelada de frutos frescos dos genótipos analisados obedece à seguinte ordem para os macronutrientes (kg t<sup>-1</sup>): K (4,25), N (2,73), P (0,54), Mg (0,40), S (0,29), Ca (0,26) e para os micronutrientes (g t<sup>-1</sup>): Zn (6,24), Fe (4,97), Mn (3,46), Cu (2,45), Ni (0,18) e Mo (0,11). Por fim, para a definição da folha diagnóstica, foram amostradas um total de 400 amostras de folhas em 10 posições no ramo de 40 plantas do genótipo BRS Manacapuru e determinado os teores de macro e micronutrientes nas folhas. Os teores foliares de N, P, K e Mg foram superiores nas folhas novas e decrescendo com a idade da folha. Efeito contrário foi observado para teores foliares de cálcio, ferro e boro, em que as folhas velhas apresentaram maiores teores para esses nutrientes. No presente estudo, os teores de N, P e K, Ca e Mg demonstraram que os dados obtidos nas folhas 4, 5 e 6 para esses nutrientes foram mais homogêneos, pois apresentaram valores baixos de desvio padrão e coeficiente de variação em relação as outras posições das folhas no ramo. Portanto, os padrões de diagnósticos nutricionais foliares da cultura do cupuaçuzeiro indicam que as folhas 4, 5 e 6 coletados nas direções norte, sul, leste e oeste são as mais representativas para a diagnose foliar da cultura.

## ABSTRACT

VIEIRA, Marlene Evangelista, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março, 2021. D.Sc., Physico-chemical characterization of fruits, export of nutrients of the genotypes and cupuaçuzeiro diagnostic leaf. Advisor: Profa. Dra. Marta Simone Mendonça Freitas. Co- advisor: Ismael de Jesus Matos Viégas.

In order to increase the production and resistance of cupuassu trees plants (*Theobroma grandiflorum*), researches for genetic improvement with the crop have intensified in recent years and the plants produced more, on the other hand, the nutritional requirement also increased, thus making work with nutrition, for this culture, essential for them to express their full productive capacity. Therefore, the objective was to characterize physicochemically the fruits and quantify the export of nutrients by the fruits of different cupuazu genotypes, in addition to defining the diagnostic sheet of the crop. A total of 240 fruits of six genotypes were collected, called BRS Careca, BRS Fatura, BRS Duquesa, BRS Curinga, BRS Golias (32, 42, 46, 61, 64, respectively), and the genotype 63, which is in the final stage of improvement. The plants that thirteen years ago went through a crown replacement exertion process, were installed in an area of the Yellow Latosol type soil, belonging to Embrapa Amazônia Oriental, located in the municipality of Tomé-açu, PA. To analyze the physical characteristics of the fruit and physical-chemical characteristics of the pulp, 20 fruits of each genotype were selected and the data were submitted to univariate and multivariate analysis of variance using the principal components method. The tested materials showed adequate characteristics for both the fresh market and the industry, with pulp quality indexes superior to those determined by

MAPA. To quantify the nutrient export by the fruits, the 240 fruits collected were used and the macro and micronutrient content was quantified in the different parts of the fruit (peel, seed and pulp), later transformed for accumulation by the relation with the dry matter mass of each fruit compartment, based on this information, the export of these nutrients per ton of fresh fruits of the six genotypes was estimated. Potassium is the nutrient most exported by the skins of the genotypes, accounting for 56.9% of the accumulation of this nutrient in relation to the whole fruit. Potassium and nitrogen were the nutrients most exported by fresh fruits of the genotypes with values ranging from K (3.61 to 5.73 kg t<sup>-1</sup>) and N (2.62 to 2.88 kg t<sup>-1</sup>). The export of nutrients per ton of fresh fruits of the analyzed genotypes obeys the following order for the macronutrients (kg t<sup>-1</sup>): K (4.25), N (2.73), P (0.54), Mg (0.40), S (0.29), Ca (0.26) and for micronutrients (g t<sup>-1</sup>): Zn (6.24), Fe (4.97), Mn (3.46), Cu (2.45), Ni (0.18) and Mo (0.11). Finally, to define the diagnostic leaf, a total of 400 leaf samples were sampled in 10 positions in the branch of 40 plants of the BRS Manacapuru genotype and the macro and micronutrient contents in the leaves were determined. Leaf contents of N, P, K and Mg were higher in young leaves and decreased with leaf age. Opposite effect was observed for foliar contents of calcium, iron and boron, in which the old leaves had higher contents for these nutrients. In the present study, the contents of N, P and K, Ca and Mg showed that the data obtained in leaves 4, 5 and 6 for these nutrients were more homogeneous, as they presented low values of standard deviation and coefficient of variation in relation to the others positions of leaves on the branch. Therefore, the patterns of foliar nutritional diagnoses of the cupuaçu crop indicate that the 4th, 5th and 6th of leaves in the branches collected in the north, south, east and west directions are the most representative for the leaf diagnosis of the cupuassu trees.

## 1. INTRODUÇÃO

A fruticultura é um importante setor do agronegócio brasileiro, com alta expectativa nacional, pois possui uma das maiores diversidade biológica do mundo, tornando dessa forma, a produção de frutas uma das principais atividades do país (Virgolin et al., 2017). As diferentes condições de clima das distintas regiões brasileiras e disponibilidade de áreas faz com que o país seja um gigante na produção de frutas, colocando o Brasil como terceiro maior produtor mundial, participando dessa forma, diretamente da economia do país através do valor das exportações e mercado interno (Fachinello et., 2011; Gerum et al., 2019).

A fruticultura brasileira é conhecida pela vasta biodiversidade de frutos tropicais que são excelentes fontes de nutrientes minerais, além de compostos bioativos capazes de prevenir e reduzir os riscos de diversas doenças crônicas (Alves et al., 2019). Além das frutas tradicionais, muitas outras estão presentes na dieta do brasileiro, ainda não industrializadas. Essas frutas, geralmente, são consumidas na natureza ou processadas em casa ou ainda, em pequenas agroindústrias de cooperativas com baixa tecnologia, em forma de polpas congeladas, geleias, sorvetes e doces (Mariko et al., 2017).

Dentre essas, o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex Spreng.) Schum) é uma espécie frutífera nativa da região amazônica, da ordem Malvales, família Malvaceae e subfamília Sterculioideae. A planta pode chegar até 20 metros, ocorrendo espontaneamente em áreas de floresta primária, no entanto, quando

cultivada, pode ter seu tamanho reduzido, devido ao manejo, como a poda, que a cultura necessita (Alves et al., 2020).

A importância econômica da cultura está em seus frutos, através da sua polpa e semente (amêndoa). As polpas são apreciadas pelo sabor e aroma marcante, da qual, se derivam sucos, sorvetes, cremes, picolés e uma infinidade de doces (Venturieri, 1996; Ferreira et al., 2009). As amêndoas podem ser utilizadas nas indústrias farmacêutica, cosmética e na indústria alimentícia na produção do cupulate, produto similar ao chocolate (Gonçalves et al., 2010).

O cultivo comercial do cupuaçuzeiro teve início no estado do Pará, na década de 70 e, posteriormente, expandindo-se para toda a Região Amazônica (Alves et al., 2010). Porém, não demorou muito para as plantas serem atacadas pela principal doença que assola o gênero *Theobroma*, vassoura-de-bruxa, causada pelo fungo *Moniliophthora perniciosa* Stahel Aime e Phillips-Mora (Alves et al., 2009), causando queda na produtividade e conseqüentemente o desânimo dos produtores. Para resolver esse problema, em 1984, a Embrapa Amazônia Oriental, iniciou os estudos de melhoramento genético da cultura, visando o desenvolvimento de materiais com características superiores de produção de frutos e resistência à vassoura-de-bruxa. Desde então, vem sendo lançados vários genótipos e disponibilizados aos produtores. Em 2020 foram lançados cinco novos genótipos com alto valor produtivo, tanto de polpa como de amêndoas, além de serem resistentes às doenças (Alves e Chaves, 2020).

Embora, os estudos de melhoramento genético da cultura estejam avançados, outros estudos precisam ser realizados para serem definidas as recomendações, com base técnica e científica, principalmente a respeito do beneficiamento do fruto e da nutrição das plantas.

A adequada nutrição das plantas frutíferas é quase uma necessidade à produção, seja pela pobreza natural dos solos tropicais ou pelas grandes quantidades de elementos que são imobilizados pela parte vegetativa ou exportados a cada safra (Natale, 2012). A nutrição se faz necessária para que a planta tenha ao seu dispor durante todo o seu ciclo vital, os nutrientes necessários em quantidades adequadas para que possam cumprir as suas funções no metabolismo vegetal (Prado, 2009).

Os estudos de nutrição com a cultura do cupuaçuzeiro são carentes de informações, principalmente, no que se refere à folha diagnóstica da cultura, assim

como o conhecimento da composição mineral dos frutos e as quantidades por eles removidas do solo, através da colheita. As informações existentes e usadas, para o cupuaçuzeiro, são as mesmas utilizadas pela cultura do cacau (*Theobroma cacao*) do mesmo gênero, entretanto, os estudos precisam ser realizados por espécie, pois cada cultura possui exigências diferentes em termos nutricionais.

A diagnose foliar das plantas vem sendo usada para o monitoramento do estado nutricional, através da análise do tecido vegetal permitindo ajustes dos nutrientes, com a adubação e calagem para alcançar altas produtividades (Natale et al., 2020). Destarte em plantas frutíferas, se faz necessário, o conhecimento da composição mineral dos frutos e as quantidades por eles removidos do solo através da colheita, sendo uma importante ferramenta para formular recomendação de adubação para a cultura (Malavolta, 2006).

Nesse contexto, o trabalho teve por objetivo avaliar as características, física do fruto e as físico-químicas da polpa, por meio de análises univariadas e multivariadas pelo método de componentes principais; quantificar a exportação de macro e micronutrientes nas diferentes partes do fruto e a exportação de nutrientes pela colheita de frutos frescos de seis genótipos de cupuaçuzeiro, bem como a recomendação de reposição de adubação para a cultura. Avaliou-se, também, os teores de nutrientes nos pares de folhas, em relação à posição no ramo, para definir quais pares são representativas para a diagnose foliar na cultura.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Aspectos gerais da cultura do cupuaçuzeiro

Na região amazônica está concentrada a maior biodiversidade de flora e fauna do mundo (Costa et al., 2013). Sua flora inclui uma variedade de frutas exóticas com características sensoriais e nutricionais únicas (Dembitsky et al., 2011; Souza et al., 2020). As frutas são consumidas como fontes de vitaminas, minerais e fibras (Chang et al., 2018), por essa razão, as frutas representam um grande potencial para consumo humano com características nutricionais capazes de prevenir certas doenças (Rufino et al., 2010; Alves et al., 2019).

Dentre, as espécies nativas da Amazônia, o cupuaçuzeiro [*Theobroma grandiflorum* (Wild ex Spreng) Schum] é uma espécie frutífera arbórea da família Malvaceae, do gênero *Theobroma* é apreciado pelos consumidores, seja pelo aroma agradável, seja pelo sabor marcante de sua polpa, que serve para o preparo de sucos, sorvetes, cremes, geleias, entre outros. As sementes são utilizadas nas indústrias farmacêutica e cosmética, a partir da extração da manteiga e ainda, essas têm potencial de produção do cupulate, produto similar ao chocolate do cacau (*Theobroma cacao*) (Genovese e Lannes, 2009; Costa et al., 2020).

A frutífera é encontrada espontaneamente no sul e sudoeste do estado do Pará, no estado do Amazonas e no estado do Maranhão. Em termos sociais, o cupuaçuzeiro é tradicionalmente cultivado com maior frequência em pequenas propriedades, ocupando mão de obra familiar, geralmente consorciado com outras

culturas. Na pequena propriedade pode ser consorciado, no primeiro ano com mandioca, milho, feijão, bananeira ou mamoeiro, proporcionando uma renda extra, durante a fase jovem do cultivo, resultando na melhoria da qualidade de vida dos pequenos produtores (Araújo et al., 2017). A espécie se desenvolve bem em clima tropical, com condições edafoclimáticas semelhantes ao da floresta tropical úmida da Amazônia. O cupuaçuzeiro está sendo cultivado e vem se adaptando bem em outros estados brasileiros, principalmente em áreas tradicionalmente produtoras de cacau, como a Bahia e o Espírito Santo (Souza et al., 2017).

O cultivo comercial do cupuaçuzeiro teve início no estado do Pará, na década de 70 e, posteriormente, se expandiu para todo o bioma amazônico (Alves et al., 2010). A crescente procura pelas amêndoas e sua polpa tem impulsionado o aumento da área plantada de cupuaçuzeiro na Amazônia e em outras regiões do Brasil, em decorrência da fácil adaptação com outras espécies em sistemas agroflorestais (Alves et al., 2020).

O fruto do cupuaçuzeiro é uma baga grande, constituído de casca (epicarpo e mesocarpo), polpa (endocarpo), placenta e sementes. O fruto varia de 10 cm a 40 cm de comprimento e de 9 cm a 15 cm de diâmetro, pesa em média 1200 g, e produz em média 30 sementes por fruto. No geral, o fruto é constituído de 45% de casca, 37% de polpa, 15% de sementes e 3% de placenta.

As cascas são rígidas e lenhosas, de cor verde recoberta de pelos marrons, pulverulento que se desprende com o manuseio do fruto, possui espessura variando de 0,6 a 1 cm (Souza et al., 2017), com razoáveis teores de potássio, ferro, manganês. Podem ser usadas também como substrato, desde que misturadas com pequenas concentrações de fertilizantes, para produção de mudas (Mendes et al., 2019).

As amêndoas são utilizadas nas indústrias farmacêutica e cosmética devido às propriedades antioxidantes da manteiga, além de possuir potencial para uso na indústria alimentícia através da produção do “cupulate”, produto similar ao chocolate. A polpa, alicerce da cadeia produtiva de cupuaçu, é apreciada pelos consumidores seja pelo aroma agradável, seja pelo sabor marcante e serve para o preparo de sucos, sorvetes, cremes, geleias, entre outros (Genovese e Lannes 2009; Franklin e Nascimento, 2020).

Em relação às características físico-químicas da polpa de cupuaçu, a Instrução Normativa nº 01 de 7 de janeiro de 2000, do Ministério da Agricultura,

definiu que a composição deve obedecer aos teores mínimos de 9,0 °Brix de sólidos solúveis; 2,6 de pH; 1,5 g/100g expressa em ácido cítrico de acidez titulável; 18 mg/100g de polpa de ácido ascórbico. Sua coloração pode ser branca e amarelada, com sabor levemente ácido e aroma próprio. A polpa ou purê de cupuaçu, não fermentado e não diluído, é reconhecido como padrão de identidade e obtido da parte comestível do fruto, exceto semente, através de processo tecnológico adequado (BRASIL, 2017).

A composição físico-química da polpa do cupuaçu foi determinada por vários autores, como Santos et al. (2010) que analisaram sete marcas comerciais de polpas de cupuaçu e encontraram valores de acidez titulável, variando de 1,28 a 2,31% de ácido cítrico; Canuto et al. (2010) que quantificaram acidez total de 3,50% de ácido cítrico em polpas do fruto; Costa et al. (2003) que encontraram acidez titulável de 2,27% de ácido cítrico; Pugliese et al. (2013) que observaram teores de proteínas variando de 0,7 a 1,2% e teores de vitamina C de 1,8 a 17 mg por 100g de polpa.

Com o objetivo de aumentar a produção e a resistência à vassoura-de-bruxa, na década de 1980, a Embrapa Amazônia Oriental, iniciou os estudos de melhoramento genético do cupuaçuzeiro, visando o desenvolvimento de materiais genéticos com essas características. Em 2002 foram lançados pela Embrapa Amazônia Oriental, quatro cultivares de cupuaçuzeiro, denominados de BRS Coari, BRS Codajás, BRS Manacapuru e BRS Belém, em que aliavam boa produtividade e frutos resistentes à vassoura-de-bruxa (Alves e Cruz, 2003). Em 2012 foi lançada a cultivar BRS Carimbó, resultado da seleção e cruzamento de 16 materiais clonais (Alves e Ferreira, 2012).

Em 2020, o programa de melhoramento genético da Embrapa da Amazônia Oriental desenvolveu cinco novas cultivares clonal, tais como, BRS Careca, BRS Duquesa, BRS Fatura, BRS Curinga e BRS Golias, esses materiais aliam alta produção de polpa e sementes, além de apresentarem resistência à vassoura-de-bruxa. Dessa forma, disponibilizando materiais para diversificar a base genética dos materiais para os produtores (Alves e Chaves, 2020), esses cinco genótipos podem ser utilizados, ainda, em substituição de dosséis de plantas improdutivas (Alves et al., 2020).

Em decorrência das pesquisas, em um período relativamente recente com a cultura e, ainda por se tratar de planta perene, existem diversos aspectos sobre

as etapas de beneficiamento dos frutos e o manejo de cultivo, principalmente em relação à nutrição da planta que necessitam ser definidos em termos de recomendações com base técnico-científica para cultura do cupuaçuzeiro (Silva Junior et al., 2011).

## **2.2. Nutrição de frutíferas tropicais**

Um elemento é considerado essencial às plantas, quando este faz parte de um composto intrínseco da estrutura ou do seu metabolismo e/ou quando a planta, privada desse elemento, exibe anomalias em seu crescimento, desenvolvimento ou reprodução (Epstein e Bloom, 2006). Em geral as plantas necessitam de 17 elementos essenciais para o adequado crescimento e desenvolvimento, como carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), esses provenientes do ar e da água, os quais compõem aproximadamente 95% da massa da planta. Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio, (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), requeridos em grandes quantidades pelas as plantas, sendo chamados de macronutrientes e os micronutrientes ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), cloro (Cl), molibdênio (Mo) e níquel (Ni) (Malavolta, 2006; Marshner, 2012).

A nutrição se faz necessária para que a planta tenha ao seu dispor durante todo o seu ciclo vital, os nutrientes minerais necessários em quantidades adequadas para que possam cumprir as suas funções no metabolismo vegetal (Prado, 2009). A aplicação de fertilizantes minerais nas plantas frutíferas é uma necessidade ao aumento da produtividade, seja pela pobreza natural dos solos tropicais ou pelas grandes quantidades de elementos que são imobilizados pela parte vegetativa ou exportados a cada safra (Natale et al., 2012).

É importante ressaltar, que nos últimos anos, em função do melhoramento genético, as frutíferas passaram a produzir mais e com qualidades superiores antes da domesticação, no entanto, a exigência pelos nutrientes essenciais também aumentou (Natale et al., 2012). Por isso, determinar as necessidades de nutrientes de cada cultura é sempre um desafio e estudos constantes são necessários. Embora os nutrientes minerais exigidos para a adequada nutrição sejam os mesmos para todos os vegetais, a exigência nutricional é bem variável de uma cultura para a outra e, depende das características das espécies, das condições

edafloclimáticas, da capacidade produtiva, do ciclo da frutífera, dentre outras (Aular e Natale, 2013).

A avaliação do estado nutricional das plantas é uma ferramenta que conjuga as análises de solo e da planta permitindo, de maneira eficaz, a identificação de desequilíbrios nutricionais e dos nutrientes mais limitantes à produção agrícola. Dentro das análises das plantas temos a diagnose foliar e a diagnose visual, embora existam outros métodos como testes de tecidos e teste bioquímico (Malavolta, 2006).

### **2.2.1. Diagnose foliar de frutíferas**

A diagnose foliar é considerada, um método de avaliação do estado nutricional das culturas, e deve ser entendida como parte de um sistema dinâmico onde as folhas são analisadas em um determinado período do ano ou estágio fenológico da planta (Fontes, 2016). O tecido foliar é o mais utilizado, por ser o órgão que melhor reflete o estado nutricional das plantas (Malavolta, 2006), uma vez que, nas folhas ocorrem as atividades fisiológicas (Prado e Rozane, 2020). Devido à sua sensibilidade, alterações no suprimento de nutrientes com reflexos nos teores dos elementos nas folhas e estes, por sua vez, refletem no crescimento e na produtividade das plantas, dentro de certos limites (Rozane e Natale, 2014).

A diagnose foliar das plantas frutíferas vem sendo usada para o monitoramento do estado nutricional, através da análise do tecido vegetal permitindo ajustar os nutrientes, com a adubação e a calagem para alcançar altas produtividades de frutas (Natale et al., 2020). A concentração dos nutrientes nas folhas depende de vários fatores dentre os quais, genótipo (Pessanha et al., 2011), época de amostragem (Natalle et al., 1994; Figueiredo et al., 2000), número de folhas e de plantas (Souza et al., 2014) e posição da folha no ramo (Freitas et al., 2007; Lima et al., 2007; Lima et al., 2011; Lima Filho, 2020). O conhecimento dos teores nutricionais da posição das folhas no ramo é fundamental para se fazer a padronização, uma vez que, a distribuição dos nutrientes nas partes da planta não é homogênea e pode variar de uma folha para outra no mesmo ramo (Freitas et al., 2007), por isso a amostragem da folha adequada é considerada um dos fatores importantes na diagnose foliar (Prado e Natale, 2004).

Os nutrientes considerados móveis no floema, tais como, nitrogênio, fósforo, potássio, tendem a ser mais elevados nas folhas jovens, do que nas folhas velhas, o que pode causar uma superestimação do estado nutricional das plantas, já os teores dos nutrientes com mobilidade reduzida, como o cálcio, boro, manganês e ferro, no geral são mais elevados nas folhas mais velhas (Marshner, 2012).

Lima et al. (2007) definiram, em plantas de gravioleira, as folhas da parte mediana da copa das árvores, na posição mediana do ramo, como adequada para determinar os teores dos nutrientes, portanto indicadas para amostragem e diagnóstico do estado nutricional da planta. Para goiabeira, Natale et al. (1994) sugerem o 3º par de folhas recém maduras, a partir da extremidade do ramo, na época de pleno florescimento das goiabeiras, sendo a coleta realizada no terço médio das plantas. O 3º e 4º par de folhas a partir do fruto nos ramos com frutíferos, nos quatro quadrantes (norte, sul, leste e oeste) são os mais indicados para a cultura da laranjeira (Malavolta et al., 1997).

Malavolta et al. (1997) definiram que a 3º folha, a partir da ponta de lançamento madura, é a folha que melhor representa o estado nutricional da cultura do cacauzeiro. Para a cultura do cupuaçuzeiro, Figueiredo et al. (2000) avaliaram a melhor época para amostragem de folhas de cupuaçuzeiro e sugeriram que as folhas devem ser coletadas no final da safra e no início na renovação foliar, e ainda analisaram a influência da idade da folha. Os autores concluíram que as folhas intermediárias são as que mais expressam o estado nutricional do cupuaçuzeiro. Porém esse estudo analisou apenas o 3º, 6º e o 9º par de folhas. Dessa forma, mais estudos devem ser realizados para definir o melhor par ou pares de folhas da cultura do cupuaçuzeiro.

Os poucos trabalhos que analisam o estado nutricional do cupuaçuzeiro, utilizam como folha diagnóstica, a 3ª folha a partir do ápice, sendo a mesma indicada para a cultura do cacauzeiro (*T. cacao*). E usam como referência os teores nutricionais do estudo realizado por Costa, (2006), em plantas adultas de cupuaçuzeiro, onde os nutrientes foram determinados na terceira folha. E também, o estudo de Salvador et al., (1994), um dos pioneiros referente à produção de mudas e nutrição mineral da cultura. Esses autores estudaram o efeito da omissão de macro e micronutrientes em mudas de cupuaçuzeiro e observaram redução nos teores de todos os nutrientes avaliados quando cultivadas sob omissão. Os teores

nutricionais nas folhas cultivadas em solução nutritiva completa foram: N= 21,6 g kg<sup>-1</sup>, P= 1,8 mg kg<sup>-1</sup>, K= 10,9 mg kg<sup>-1</sup>, Ca= 4,2 g kg<sup>-1</sup>, Mg= 2,9 g kg<sup>-1</sup>, S= 1,7 g kg<sup>-1</sup>, B=62 mg kg<sup>-1</sup>, Cu=3 mg kg<sup>-1</sup>, Fe= 60 mg kg<sup>-1</sup>, Mn= 64 mg kg<sup>-1</sup>, Mo= 13 mg kg<sup>-1</sup> e Zn= 62 mg kg<sup>-1</sup>.

Em plantas frutíferas, além de conhecer os teores nutricionais dos tecidos foliares, se faz necessário, também, o conhecimento da composição mineral dos frutos e as quantidades por eles removidas do solo através da colheita, sendo uma importante ferramenta para formular recomendação de adubação para a cultura (Malavolta, 2006) e dessa forma, a planta expressar todo potencial produtivo.

### **2.2.2. Exportação de nutrientes em frutíferas**

A exigência nutricional de uma determinada cultura se dá pela quantidade de nutrientes extraídos e exportados pela colheita das plantas e a marcha de absorção dos nutrientes durante o ciclo reprodutivo. Nas frutíferas onde os frutos são retirados do pomar para posterior comercialização a reposição de nutrientes, através da adubação, precisa além da análise de solo e do tecido foliar, também dos valores de extração e exportação de nutrientes das culturas (São José et al., 2014). Dessa forma, é de suma importância manejar de forma consciente a adubação e assim aumentar a produtividade das culturas (Rozane e Natale, 2014).

De acordo com Souza Júnior et al., (2012) a extração pode ser definida como a quantidade total de determinado nutriente extraído ou acumulado pela planta, em um determinado período de tempo, por outro lado a exportação diz respeito aos nutrientes que são efetivamente retirados pela colheita. No caso do cupuaçuzeiro, a exportação ocorre pelos frutos, pois nada retorna a área de produção, as sementes e as polpas são comercializadas e as cascas são descartadas. Por isso o conhecimento da exportação de nutrientes de cada parte do fruto é de extrema importância para a cultura, tanto para o planejamento adequado da adubação, quanto o conhecimento de acumulação dos nutrientes pela casca, que pode retornar a área de produção como adubo orgânico, como acontece nas plantações de cacau.

Com o objetivo de analisar a exportação de N, P e K pelos frutos de 54 clones de cacau, Silva (2009) observou que as amêndoas exportaram mais N e P

e as cascas exportaram mais K, esse nutriente foi o mais exportado pelos frutos (semente +casca) dos 54 clones analisados.

Cravo e Sousa, (1996) em estudos de exportação de nutrientes pelos frutos de cupuaçu, relatam que as exportações dos nutrientes por toneladas de frutos foram as seguintes: 3,87 kg de N; 0,44 kg de P; 4,96 kg de K; 0,22 kg de Ca; 1,21 kg de Mg; 3,13 g de B; 22,72 g de Cu; 15,22 g Fe; 10,36 g de Mn e 6,08 g de Zn. Costa (2006) avaliou a exportação de nutrientes em cupuaçuzeiro em dois tipos de solos, gleissolos e latossolos, e observou que a partir da produção de 7.900 kg ha<sup>-1</sup> de frutos, as exportações podem atingir até 54 kg ha<sup>-1</sup> de K, 48 kg ha<sup>-1</sup> de N, 8 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, 8 kg ha<sup>-1</sup> de Mg e 6 kg ha<sup>-1</sup> de P.

Em estudo com dois genótipos de cupuaçuzeiro (186 e 215), Cunha (2012) observou que o nitrogênio foi o nutriente mais exportado pelos dois genótipos, no genótipo 215 os valores de exportação de nitrogênio foram superiores a 60 kg ha<sup>-1</sup>, por outro lado o genótipo 186 exportou mais potássio em relação ao genótipo 215, com valores de exportação acima de 40 kg ha<sup>-1</sup>. Ainda de acordo com esse autor, as exportações por frutos para ambos os genótipos são 14,90 g de N; 2,10 g de P; 9,92 g de K; 1,49 de Ca e 1,13 g de Mg.

Observa-se que os valores de exportações são variados em relação aos estudos mencionados. Para então, programar a adubação de reposição para os diferentes genótipos, sabendo que nos programas de adubação para frutíferas, a quantidade recomendada de cada nutriente é determinada em função da quantidade acumulada nos tecidos da planta, da quantidade exportada pela colheita e das características físico-químicas do solo e do fertilizante (Cantarutti et al., 2007).

### **2.3. Disponibilidade de nutrientes e nutrição de cupuaçuzeiro**

O objetivo da fertilização é suprir os nutrientes que estão em baixa quantidade nos solos ou que foram exportados com a colheita, assim alcançar um equilíbrio ótimo entre os nutrientes para uma máxima produção sustentável da cultura, nesse sentido, o conhecimento da adubação e nutrição das culturas é de extrema importância para os produtores. No entanto, os estudos de nutrição e disponibilidade de nutrientes para a cultura do cupuaçuzeiro são escassos. Dentre os quais o trabalho de Alfaia e Ayres (2004). Esses autores estudaram o efeito de



doses de N, P e K na produção de duas cultivares (com e sem sementes) de cupuaçuzeiro, em Argissolo Vermelho-Amarelo na região da Amazônia Central, o estudo demonstrou aumento na produtividade do cupuaçuzeiro numa combinação específica entre as doses: 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 160 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, para ambas as cultivares.

Ayres e Alfaia (2007) avaliaram os efeitos da calagem e da adubação potássica na produção do cupuaçuzeiro e observaram que no tratamento com calagem a produção de frutos estabilizou até a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Os autores concluíram que a produtividade pode ser incrementada com a aplicação de fertilizantes e calagem, embora os solos amazônicos possuam propriedades físicas bastantes favoráveis ao cultivo, sua baixa fertilidade natural e acidez compromete a produção. Ainda de acordo com os esses autores, os frutos de cupuaçu são ricos em potássio, sendo necessária a reposição desse nutriente para manter o nível adequado de fertilidade dos solos.

Dias et al. (2010) avaliaram o estado nutricional de plantas de cupuaçuzeiro, com cinco e dezoito anos de idade, pelo método DRIS e utilizando como folha padrão a terceira folha, e verificaram que o nitrogênio encontrava-se em excesso nas plantas. Silva (2014) trabalhando com dois genótipos de cupuaçuzeiro, 186 (BRS Codajás) e 215 (BRS Manacapuru), observou divergência entre os genótipos em relação ao acúmulo de nutrientes na terceira folha a partir do ápice. As plantas do clone BRS Manacapuru acumularam mais nutrientes nas suas folhas em relação ao BRS Codajás e a ordem de acúmulo dos macronutrientes nas folhas para os dois genótipos, foi: N>K>Mg>P>Ca>S.

Cunha (2012) estudou os genótipos, BRS Codajás e BRS Manacapuru, e verificou que no genótipo BRS Codajás os nutrientes P, K, Ca e o Mg estão distribuídos em maiores quantidades na casca, enquanto o nitrogênio na polpa. Já no genótipo BRS Manacapuru, os nutrientes P, K, Ca e o Mg estão em maiores quantidades nas sementes e nitrogênio nas cascas dos frutos. Nesse sentido, como não é possível estabelecer uma regra geral para exportação de nutrientes e tampouco para a demanda nutricional de cada genótipo, estudos complementares de nutrição mineral de plantas são necessários como forma de servir de ferramenta para auxiliar no correto manejo da adubação para a cultura e para que estas expressem o máximo potencial produtivo.

No livro “recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará” estão descritas as adubações para cultura do cupuaçuzeiro, no que diz respeito, a fase de plantio, os autores sugerem a aplicação de 10 litros de esterco de curral curtidos ou 3 litros de esterco de galinha ou 1 litro de torta de mamona e 10 g por planta de FTEBR 12 e a dose de fósforo (Tabela 1). E para os demais anos, na fase de crescimento e produção, seguir a recomendação descrita na tabela 1 para os nutrientes N, P e K (Viégas et al., 2020).

Tabela 1. Recomendação de adubação para o cupuaçuzeiro, em função da análise de solo

Época	N (g planta <sup>-1</sup> )	P no solo (mg dm <sup>-3</sup> )*			K no solo (mg dm <sup>-3</sup> )*		
		0 – 10	11 – 20	> 20	0 – 40	41 – 90	>90
		----P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g planta <sup>-1</sup> )----			----- K <sub>2</sub> O (g planta <sup>-1</sup> ) -----		
1 <sup>o</sup> ano	50	60	50	40	100	80	60
2 <sup>o</sup> ano	80	80	60	50	140	100	80
3 <sup>o</sup> ano	110	100	80	70	160	120	100
4 <sup>o</sup> ano	130	130	110	110	180	140	120
5 <sup>o</sup> ano	150	150	140	120	210	160	140
6 <sup>o</sup> ano	170	170	160	140	230	180	160
>7 <sup>o</sup> ano	190	190	170	150	260	200	180

Fonte: Dados publicados no Livro: recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará, Editores, Brasil, Cravo e Viégas, 2020. \*Extrator Mehlich 1.

### 3. TRABALHOS

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DE FRUTOS DO CUPUAÇUZEIRO: FERRAMENTA IMPORTANTE PARA USO NO MELHORAMENTO GENÉTICO DA ESPÉCIE.

##### RESUMO

As frutíferas ocupam uma porção significativa na biodiversidade amazônica, algumas ganhando proeminência nacional, como é o caso do cupuaçuzeiro. Nesse sentido, prover a cultura de suporte técnico e científico torna-se fundamental para promover oferta regular, padronizada e com quantitativo adequado para atender a demanda dos produtos. Este estudo teve o objetivo de avaliar a potencialidade de genótipos de cupuaçuzeiro para serem utilizados no programa de melhoramento genético, com base na característica física do fruto e físico-química da polpa. Foram avaliados seis genótipos de cupuaçuzeiro, BRS Careca, BRS Fartura, BRS Duquesa, BRS curinga, BRS Golias (32, 42, 46, 61 e 64, respectivamente) e o genótipo 63, cujas plantas, oriundas de um ensaio de campo, que há treze anos passaram por um processo de enxertia de substituição de copas, instalados na base física da Embrapa Amazônia Oriental, localizada no município de Tomé Açu,

Pará, Brasil. Foram amostrados 20 frutos de cada genótipo e analisada as características físicas dos frutos (comprimento e diâmetro dos frutos, espessura da casca e as massas da casca, da sementes, da polpa, da placenta e a massa total dos frutos), além das porcentagens de cada parte do fruto e as características físico-química da polpa (teor de sólidos solúveis, pH, vitamina C, acidez titulável, relação SS/AT, umidade, proteínas e cinzas na polpa dos frutos. Os dados obtidos da caracterização física do fruto e físico-química da polpa foram submetidos à análise de variância univariada e multivariada pelo método dos componentes principais, e estabelecida a divergência entre os genótipos. Os materiais testados apresentaram características adequadas tanto para mercado *in natura* quanto para a indústria, com índices de qualidade de polpa superiores aos determinados pelo MAPA, e vantagens comparativas complementares. Tais atributos os credenciam para serem utilizados no programa de melhoramento genético do cupuaçuzeiro, onde características divergentes poderão ser reunidas com hibridações.

**Palavras-chaves:** *Theobroma grandiflorum*, composição química, fruteira nativa, melhoramento genético, caracterização morfoagronômica

#### ABSTRACT

Fruit trees occupy a significant portion of Amazonian biodiversity, some gaining national prominence, such as the cupuassu tree. In this sense, providing a culture of technical and scientific support is essential to promote a regular, standardized offer with an adequate quantity to meet the demand for products. This study aimed to evaluate the potential of cupuazu genotypes to be used in the genetic improvement program, based on the physical characteristics of the fruit and physicochemical pulp. Six cupuassu genotypes, BRS Careca, BRS Fatura, BRS Duquesa, BRS wildcard, BRS Golias (32, 42, 46, 61 and 64, respectively) and the genotype 63, whose plants, from a field trial, were evaluated. thirteen years ago, they underwent a grafting process to replace crowns, installed in the physical base

of Embrapa Amazônia Oriental, located in the municipality of Tomé Açu, Pará, Brazil. Twenty fruits of each genotype were sampled and the physical characteristics of the fruits (length and diameter of the fruits, thickness of the skin and the masses of the peel, seed, pulp, placenta and the total weight of the fruits) were analyzed, in addition to the percentages of each part of the fruit and the physical-chemical characteristics of the pulp (soluble solids content, pH, vitamin C, titratable acidity, SS/TA ratio, moisture, proteins and ash in the fruit pulp). Data obtained from the physical characterization of the fruit and physicochemical of the pulp were submitted to univariate and multivariate analysis of variance by the principal components method, and the divergence between the genotypes was established. The materials tested presented adequate characteristics for both the fresh market and the industry, with pulp quality indexes superior to those determined by MAPA, and complementary comparative advantages. Such attributes qualify them to be used in the genetic improvement program of the cupuaçu tree, where divergent characteristics can be combined with hybridizations.

**Keywords:** *Theobroma grandiflorum*, chemical composition, native fruit, genetic breeding, morpho-agronomic characterization.

## INTRODUÇÃO

O bioma amazônico concentra a maior biodiversidade de flora e fauna do mundo (Costa et al., 2013). A flora inclui uma variedade de frutas nativas com características sensoriais e nutricionais únicas (Souza et al., 2020), as quais representam um grande potencial para consumo humano, sendo capazes de prevenir algumas doenças (Alves et al., 2019). As pesquisas com estas frutíferas é o método mais eficiente de desenvolver sistemas de exploração sustentável, que possibilitem retornos financeiros ao produtor, aproveitamento pela agroindústria, satisfação pelo consumidor e conservação dos recursos naturais.

Dentre essas frutíferas, o cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* (Wild ex Spreng) Schum (Malvaceae), é uma das mais relevantes, sendo o seu fruto, o cupuaçu, apresentando grande importância socioeconômica e cultural na região Norte do Brasil, devido aos múltiplos usos da polpa e das amêndoas. O cupuaçu é caracterizado como uma baga drupácea, de casca lisa, cor verde recoberta por pelos marrons, com dimensões variando de 10 cm a 30 cm de comprimento e de 9 cm a 15 cm de diâmetro, pesando em média 1200 g e produzindo em média 30 sementes por fruto (Souza et al., 2017).

A manteiga, obtida das amêndoas, é utilizada nas indústrias farmacêutica e cosmética devido às propriedades antioxidantes, além de possuir potencial para uso na indústria alimentícia, através da produção do “cupulate”, produto similar ao chocolate (Genovese e Lannes, 2009; Costa et al., 2020). A polpa, alicerce da cadeia produtiva do cupuaçu, é apreciada pelos consumidores pelo aroma agradável e sabor marcante, prestando-se para o preparo de suco, sorvete, creme, geleia, entre outros (Franklin e Nascimento, 2020).

As propriedades físico-químicas estão relacionadas às características organolépticas da polpa do fruto, que apresentam grande variação entre indivíduos. Alguns estudos, com as polpas de frutos de cupuaçuzeiro, relatam os diferentes valores dessas características, tais como, os de Santos et al. (2010) no qual observaram valores de acidez titulável variando de 1,28 a 2,31% de ácido cítrico, diferente do obtido por Canuto et al. (2010), os quais quantificaram acidez titulável em 3,50%. Pugliese et al. (2013), observaram teores de proteínas variando de 0,7 a 1,2% e teores de vitamina C de 1,8 a 17 mg por 100g de polpa. O conhecimento das qualidades nutricionais da polpa é de extrema importância para que a cultura ganhe maior visibilidade no mercado nacional e internacional. A fruta contém elementos essenciais, como vitaminas, minerais e substâncias bioativas que ajudam a regular as funções do organismo (Costa et al., 2017), justificando a correlação positiva que tem sido observada entre o aumento do consumo de frutas na alimentação humana e a crescente preocupação do consumidor com a saúde (Yahia et al., 2017).

Os estudos sobre o melhoramento genético do cupuaçuzeiro iniciaram na década de 1980, visando o desenvolvimento de materiais com características superiores de produção de frutos e resistência à vassoura-de-bruxa (*Moniliophthora perniciosa* Stahel Aime e Phillips-Mora), principal doença que assola cultura (Alves

et al., 2020). Em 2002 foram indicados os primeiros materiais vegetais melhorados pela Embrapa Amazônia Oriental, denominados BRS Coari, BRS Codajás, BRS Manacapuru e BRS Belém, cultivares clonais que apresentavam as características de resistência à doença e alta produção de frutos. Em 2012 foi disponibilizada a cultivar seminal BRS Carimbó, obtida pelo cruzamento de 16 genótipos que aliavam características de resistência e produtividade (Alves et al., 2017).

Devido às exigências mercadológicas, antes de optar pelo tipo de semente ou muda que irá utilizar, o produtor deve ter acesso, entre outras informações agronômicas, às características físicas e físico-químicas dos frutos para, posteriormente, oferecer um produto adequado pelo demandante. Além disso, estas informações são utilizadas no programa de melhoramento genético, para balizar a escolha dos parentais que serão empregados em futuras hibridações, bem como direcionar o melhoramento para uma determinada característica de interesse. Por este motivo, estudos como os focados na presente pesquisa tornam-se fundamentais para sustentabilidade da cadeia produtiva do cupuaçuzeiro.

Diante do exposto, esta pesquisa objetivou traçar o perfil de seis genótipos de cupuaçuzeiro avaliando as características físicas do fruto e físico-químicas da polpa, através de análises uni e multivariadas pelo método de componentes principais, visando identificar os mais promissores para uso em programas de cruzamentos, bem como direcioná-los para nichos de mercado.

## MATERIAL E MÉTODOS

### **Material vegetal**

No final de 2019, a Embrapa Amazônia Oriental recomendou mais cinco genótipos de cupuaçuzeiro, denominados de BRS Careca, BRS Fatura, BRS Duquesa, BRS curinga e BRS Golias (32, 42, 46, 61 e 64, respectivamente), além desses genótipos foi avaliado no presente estudo um genótipo em fase final de melhoramento, o 63, totalizando, dessa forma, seis genótipos estudados, oriundos de um experimento de competição de clones instalado na base física da Embrapa

Amazônia Oriental, localizada no município de Tomé-Açu (02°26'08" S; 48°09'08" W), no nordeste do estado do Pará, Brasil. O solo da região é do tipo Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2016). Foram realizadas coletas das amostras nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm na projeção da copa das plantas de cupuaçuzeiro e determinadas quanto a sua fertilidade e granulometria do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo da área de estudo nas profundidades de 0-20 e 20-40. Embrapa Amazônia Oriental

prof.	pH	P	K	Ca	Ca+Mg	Al	H+Al	CTC	V	m	Areia	Silte	Argila
cm	água	mg dm <sup>-3</sup>				cmolc dm <sup>-3</sup>		total	%			g kg <sup>-1</sup>	
0-20	5,2	134	38,8	1,96	2,60	0,40	5,60	8,37	32,7	12,8	615	60,8	324
20-40	5,1	96,0	31,0	1,46	1,96	0,38	4,30	6,37	32,3	16,2	551	68,8	380

Foram amostradas quatro plantas de cada genótipo e destas, coletados cinco frutos de cada, totalizando 20 frutos de cada genótipo. Para a coleta esperou-se que os frutos se desprendessem das plantas, significando completa maturação fisiológica, e posteriormente, levada para análise no laboratório da Embrapa.

Após revisão se os frutos estavam íntegros e sadios, eram lavados e, imediatamente, descascados e despulpados manualmente. Na sequência, eram separadas casca, sementes, placenta e polpa, para mensuração das respectivas massas. Depois de obtidas as massas das polpas, estas eram fracionadas em quantidade de 100 g, acondicionadas em sacos plásticos, armazenadas e congeladas em freezer. Posteriormente, encaminhadas em caixas isopor, para o Laboratório de Fitotecnia, setor de Nutrição de Plantas da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, no estado do Rio de Janeiro.

### **Características físicas dos frutos de cupuaçu**

O comprimento e o diâmetro dos frutos de cupuaçuzeiro, além da espessura da casca foram determinados usando paquímetro manual. O número de sementes foi quantificado em todos os frutos dos seis genótipos. Todas variáveis foram apresentadas como média por fruto.



As massas dos 120 frutos foram determinadas em balança manual. Para isso, pesaram-se os frutos inteiros e, posteriormente, as suas respectivas partes, casca, semente, placenta e polpa. A composição centesimal das partes de cada fruto foi obtida pela divisão entre a massa de cada parte e a massa do fruto inteiro, representados em porcentagem.

### **Características físico-químicas da polpa**

As análises físico-químicas da polpa foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Determinou-se o teor de sólidos solúveis (SS), expressos em °Brix, através de leitura direta em refratômetro digital. O pH das polpas, utilizando-se pHmetro digital. Para as análises de acidez titulável e vitamina C, 10g de polpa foram diluídas em 100 ml de água deionizada e homogeneizada com auxílio de um mixer. A acidez titulável (AT) foi obtida por meio da titulação com hidróxido de sódio 0,1N, expressa em g de ácido cítrico em 100 g de polpa, e a vitamina C (mg de ácido ascórbico 100 g de polpa) por meio da titulação com solução de 2,6-diclorofenol-indofenol, sal sódico (AOAC, 2016). O RATIO foi calculado pela relação SS/AT, obtido através da divisão dos teores de SS pela AT.

As análises de umidade e cinzas foram realizadas nas polpas dos frutos, segundo metodologia descrita pela AOAC (2016). A umidade das amostras foi determinada pela dessecação em estufa a 105°C, até peso constante. As cinzas foram determinadas após calcinação das amostras em mufla a 550°C. As proteínas foram determinadas através da quantificação do N pelo método de Nessler (Jackson, 1965) e utilizando um fator de 6,25 para transformar em teor de proteínas bruta. Os açúcares redutores foram quantificados pelo método de Somogyi-Nelson (Maldonade et al., 2013).

### **Análises estatísticas**

Os dados de todas as características mensuradas foram submetidos à análise de variância considerando o delineamento em blocos casualizados e,

quando identificado diferença significativa pelo teste F, foi aplicado o teste de agrupamento de médias Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico R (R Core Team, 2014), com auxílio do pacote ExpDesp.pt (Ferreira et al., 2014).

A fim de verificar a dispersão dos genótipos em função do conjunto de variáveis, foi conduzida a análise multivariada de componentes principais (PCA). A partir das médias dos tratamentos obtiveram-se os autovalores e autovetores. Em seguida foram construídos gráficos biplot para o conjunto de variáveis e dos genótipos. A análise e construção dos gráficos foram realizadas com auxílio do software estatístico R (R Core Team, 2014), com utilização de recursos do pacote básico e do pacote *factoextra* (Kassambara e Mundt, 2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### **Características físicas do fruto**

Observou-se que, com exceção do número de sementes, todas as características físicas do fruto apresentaram diferenças entre os genótipos (Tabela 1), atestando a presença de variabilidade entre os mesmos. Embora não tenha apresentado diferenças, o número de sementes variou de 30,8 a 34,6 sementes por fruto entre os clones 64 e 46, respectivamente. Esta característica é importante para a espécie, considerando a formação de um novo nicho de mercado para os produtores da cultura, a produção do cupulate, produto similar ao chocolate do cacau (*Theobroma cacao* L.), que também é obtido a partir das amêndoas (Genovese e Lannes, 2009). Todos os genótipos analisados são considerados promissores para a produção de amêndoas e podem ser recomendados para esta finalidade.

Os valores de comprimento e diâmetro dos frutos variaram de 19,0 cm a 23,8 e de 10,7 cm a 13,0 cm, respectivamente, entre os genótipos estudados. O clone 46 apresentou maior comprimento de fruto em comparação aos clones 32 e

61. Quanto ao diâmetro dos frutos, os clones 46 e 63 expressaram as maiores médias, diferindo dos demais genótipos (Tabela 1). Estas características são importantes para mercado *in natura* de cupuaçu, uma vez que frutos maiores tornam-se mais atrativos para os consumidores, pois, subentende-se que são mais pesados e essa característica está correlacionada com a maior massa de polpa (Alcoforado et al., 2019).

Tabela 1. Valores de comprimento do fruto, diâmetro do fruto, espessura da casca, número de sementes e massas médias da casca, semente, polpa, placenta e fruto inteiro, em seis genótipos de cupuaçuzeiro

Variáveis	Genótipos						CV%
	32	42	46	61	63	64	
Comprimento do fruto(cm)	19,02b	21,42ab	23,80a	20,70b	21,77ab	21,81ab	15,38
Diâmetro do fruto (cm)	10,73b	11,79b	13,05a	11,34b	13,24a	11,66b	10,50
Espessura da casca (cm)	0,77 c	0,98 b	0,92 b	0,96 b	1,12 a	0,99b	11,64
Massa da casca (g)	570,60 c	771,85 b	925,25 a	729,35 b	939,30 a	822,50ab	16,67
Massa da semente (g)	138,13 c	169,40 b	215,85 a	139,40 c	162,70bc	147,05bc	18,48
Massa da polpa (g)	404,2 e	548,60 d	813,80 a	581,80cd	669,35bc	701,20b	17,13
Massa da placenta (g)	12,45d	28,70 ab	35,15 a	19,05 cd	29,00ab	25,60bc	40,38
Massa do fruto (g)	1125,38e	1518,55cd	1990,05a	1469,60d	1800,35ab	1696,35bc	15,01

Médias, na mesma linha, seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à espessura da casca o clone 63 diferiu estatisticamente dos demais genótipos avaliados, com média de 1,1 cm (Tabela 1). Embora para algumas frutíferas, frutos com menor espessura de casca seja uma característica importante, no que diz respeito à seleção de maior rendimento de polpa, para o cupuaçuzeiro deve-se encontrar um ponto de equilíbrio, visto que, os frutos quando maduros se desprendem das plantas e caem no solo. Logo, frutos com menor espessura de casca podem sofrer rachaduras possibilitando a entrada de microrganismos que deterioram a polpa.

O clone 32 apresentou o menor valor de massa de casca (570,6 g) (Tabela 1), isto porque, é um dos frutos de menor dimensão e menor massa total dentre os genótipos avaliados (Tabela 1). Os valores obtidos são menores que os reportados por Alves et al. (2020) para os mesmos genótipos, demonstrando a influência que fatores extrínsecos à genética da planta causam nas características. As cascas trituradas podem ser usadas para compor substratos para produção de mudas,

desde que misturadas com pequenas proporções de fertilizantes (Mendes et al., 2019).

Os valores médios da massa de placenta variaram entre 12,4 g a 35,1 g por fruto e seguiu a tendência da massa da casca, com o clone 46 apresentando o melhor desempenho e o clone 32, o menos favorável para essa característica. O clone 46 também foi superior em massa das sementes, polpa, bem como, quanto à massa média total dos frutos. Esses resultados refletiram nos rendimentos médios destas variáveis, onde este genótipo foi o grande destaque (Figura 1). Os frutos do clone 46 apresentaram 51,7% do seu peso composto pela massa da polpa e das sementes, características interessantes ao produtor, que busca genótipos com dupla aptidão, tanto de sementes como de polpa.

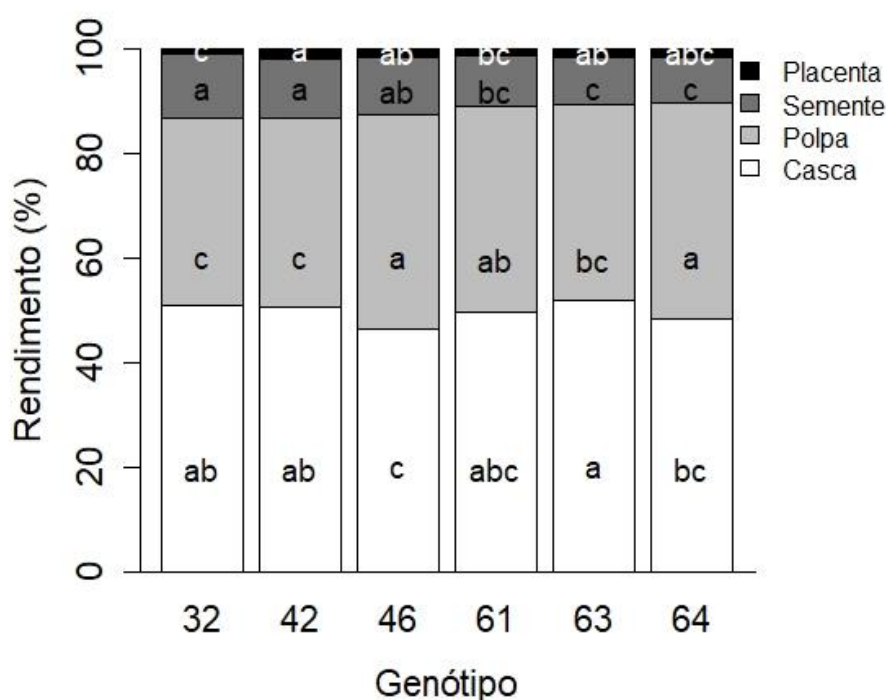


Figura 1. Rendimento (%) de casca, polpa, semente e placenta de frutos de seis genótipos de cupuaçuzeiro. Seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, dentro de cada parte do fruto entre os genótipos.

A constituição física dos frutos de cupuaçuzeiro é, em média, 45% de casca, 37% de polpa, 15% de sementes e 3% de placenta (Souza et al., 2017). Nesse sentido, o melhoramento visa aumentar os rendimentos de polpa e sementes na massa total, em detrimento à porcentagem de casca, considerando que são os principais produtos econômicos da cultura. Neste ensaio os clones 46, 61 e 64 sobressaíram quanto ao rendimento de polpa, podendo ser utilizados em futuros

trabalhos de melhoramento genético como doadores de genes para aumentar a produção dessa característica. Já para a produção de derivados da amêndoa, como o cupulate, os clones 32, 42 e 46 podem ser utilizados pelos produtores (Figura 1).

### Características físico-químicas da polpa

Em média os genótipos apresentaram 84,2% de umidade na polpa dos frutos. Essa umidade variou entre 83% a 85,9% nos genótipos 32 e 64, respectivamente (Tabela 2), resultados similares à Pugliese et al. (2013) que encontraram teores de umidade variando de 83 a 90%, em polpas frescas e comerciais de cupuaçu.

Tabela 2. Teores de umidade (%), cinza (%), proteína (%) e açúcar redutor na polpa (g glicose/100 g polpa), de seis genótipos de cupuaçuzeiro, em fase final de melhoramento

Genótipo	Umidade (%)	Cinza (%)	Proteína (%)	Açúcar redutor (g glicose/100 g polpa)
32	83,0 c	2,3b	6,9c	7,8a
42	83,3bc	3,3a	7,5a	7,3a
46	83,8bc	3,6a	6,9c	7,6a
61	84,3abc	3,2a	7,0bc	7,9a
63	85,2ab	3,0ab	7,4ab	6,1b
64	85,9a	3,4a	7,6 a	6,3b
Média geral	84,3	3,1	7,2	7,2
CV%	2,5	26,46	7,2	14,6

CV= Coeficiente de variação. Médias, na mesma coluna, seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O genótipo 64 apresentou maior teor de cinza (3,4%), porém, diferiu apenas do 32 (2,3%) (Tabela 2). O teor de cinza é considerado uma medida geral de qualidade e, frequentemente, é utilizado como critério na identificação dos alimentos. Também é conhecido como matéria inorgânica, correspondendo à quantidade de minerais presentes nos alimentos (Gadelha et al., 2009). O valor médio para essa característica está abaixo ao observado por Rogez et al. (2004) (5,3%), e superior aos observados por Pugliese et al. (2013) (1,2%) e Sousa et al. (2020) (0,3%).

Os genótipos 42, 63 e 64 apresentaram teores de proteína acima de 7%, superiores à média do ensaio (Tabela 4). Estes resultados estão acima dos relatados por Pérez-Mora et al. (2018), que encontraram valores em torno de 5%. A polpa do cupuaçu é rica em proteínas, contendo quase todos os aminoácidos essenciais, excetuando-se o triptofano, bem como alguns não essenciais como asparagina e glutamina (Ramos et al., 2020). A obtenção de genótipos com maiores teores de proteínas resulta em produtos derivados mais nutritivos aos consumidores.

Em relação aos teores de açúcares redutores, os clones 32, 42, 46 e 61 destacaram-se. Segundo Ferreira et al. (2009) o teor de açúcar redutor é uma característica importante na indicação de frutos destinados à indústria de sucos, pois permite melhor rendimento no processamento industrial. Além desse uso, os frutos com maiores teores de açúcares redutores (glicose e frutose) são preferidos para o consumo *in natura*, uma vez que esses açúcares conferem melhores propriedades organolépticas (Pérez-Mora et al., 2018). Portanto, considerando somente esta variável, os frutos dos genótipos supracitados seriam os mais indicados para atender as demandas. Santos et al. (2010) observaram teores de açúcar redutor inferiores ao do presente estudo, com valores variando de 1,3 a 3,8% em diferentes polpas comerciais de cupuaçu.

Outra característica físico-química importante para o mercado de polpas são os sólidos solúveis, os quais apresentam relação com os teores de açúcares orgânicos e ácidos orgânicos nas polpas. Assim, para a indústria, quanto maior o valor de sólidos solúveis dos frutos, menor a quantidade de polpa para a concentração do suco (Negreiros et al., 2008). Para essa característica, o genótipo 63 foi o que apresentou o menor valor de sólidos solúveis (11,5°Brix) (Figura 2), os demais genótipos apresentaram valores elevados, sendo que, todos os valores dos genótipos superam os padrões mínimos de qualidade requeridos pelas normas brasileiras para a polpa de cupuaçu (9,0°Brix), proposto pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2018).

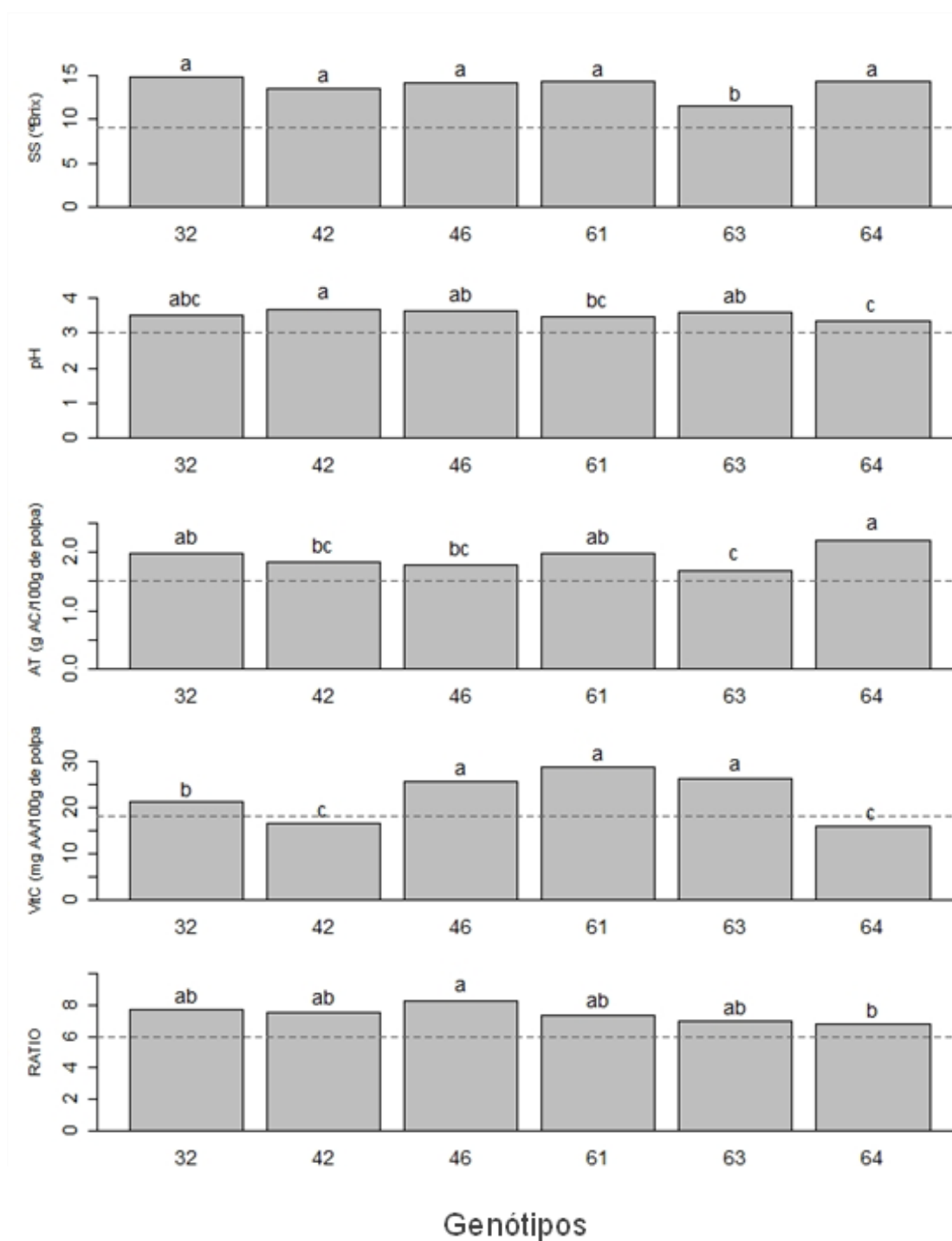


Figura 2. Valores médios de sólidos solúveis (SS) °BRIX, potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável (AT) em g de ácido cítrico (AC)/100g de polpa, vitamina C (VITC) em mg ácido ascórbico (AA)/100g de polpa e sólidos solúveis/acidez titulável (RATIO) das polpas dos frutos de seis genótipos de cupuazieiro. Linha pontilhada (.....): Padrão de qualidade de polpas do MAPA. Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade entre os genótipos.

Os genótipos 61, 64 e 32 propiciaram as polpas mais ácidas, com menores valores de pH (Figura 2). Essa característica assegura a conservação da polpa ao interferir na incidência de microrganismos, sem necessidade de tratamentos térmicos elevados que, de certa forma, refletem na qualidade nutricional da polpa (Alexandre et al., 2015). Esses três genótipos também demonstraram os maiores teores de acidez titulável. Percebe-se a evidente relação entre as variáveis, onde os genótipos com maior acidez titulável foram aqueles com menor pH, enquanto que o clone 63, de menor acidez titulável, também apresentou menores valores de sólidos solúveis, provavelmente pela relação dos ácidos orgânicos.

Todas as variáveis de qualidade das polpas dos genótipos analisados estão acima dos valores estabelecidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2018). Ressalta-se o levantado por Bojacá et al. (2019), que estabeleceram que resultados divergentes de acidez titulável e outras características químicas, decorrem da diferença não só entre genótipos, como do estágio de maturação dos frutos. Isto é comprovado quando é levado em consideração os resultados aqui encontrados, e outros da literatura, como em Santos et al. (2010), que aferiram valores de acidez titulável nas amostras de polpas cupuaçu variando de 1,28 a 2,31% de ácido cítrico; Canuto et al. (2010) os quais observaram médias de 3,50% de ácido cítrico; e Costa et al. (2013), que obtiveram acidez titulável de 2,27% em ácido cítrico em polpa de cupuaçu.

O ácido ascórbico (AA), também conhecido como vitamina C, é um composto solúvel em água, essencial para uma série de reações metabólicas, incluindo a absorção de ferro. A degradação do AA nos alimentos depende de fatores como oxigênio, luz, atividade da água, temperatura e tempo de armazenamento (Figueiredo et al., 2020). Nos genótipos utilizados no presente estudo, os valores de vitamina C tiveram variação entre 15,7 e 28,5 mg 100 g<sup>-1</sup> polpa. Somente os clones 42 e 64 ficaram abaixo dos valores mínimos (BRASIL, 2018) (Figura 2). Os clones 32, 46, 61 e 63 apresentaram valores superiores ao padrão de referência de qualidade proposto pela legislação vigente (18,0 mg 100 g<sup>-1</sup>). Portanto, estes materiais são interessantes para a composição de produtos que tenham o ácido ascórbico como assunto comercial.

Nesse sentido, Santos et al. (2010) analisando sete marcas comerciais de polpa industrializada de cupuaçu, observaram médias variando de 4,95 a 15,26 mg 100 g<sup>-1</sup> de polpa de ácido ascórbico. Sousa et al. (2011) encontraram valor de 14,47



mg 100 g<sup>-1</sup> de ácido ascórbico em resíduos de polpas de cupuaçu. Pugliese et al. (2013) analisaram polpas frescas e comerciais e observaram valores médios variando de 1,8 a 17 mg 100 g<sup>-1</sup> de polpa, respectivamente. Observa-se que essa característica é muito variável entre os estudos supracitados, possivelmente pela sensibilidade do ácido ascórbico, haja vista sua facilidade de degradação, se comparada com as demais vitaminas. Por isto, o teor de AA é considerado um índice de manutenção da qualidade nutricional dos alimentos, pois se constatada a presença do elemento em quantidades adequadas, subentende-se que o percentual de retenção das demais vitaminas será semelhante ou superior (Sucupira et al., 2012).

Os valores da relação entre sólidos solúveis e acidez titulável (Ratio) variaram entre 6,73 a 8,37. Observou-se certa padronização nesta variável, havendo diferenças apenas entre os clones 46 e 64. O RATIO determina o sabor da polpa dos frutos, visto que, relaciona os açúcares solúveis, responsáveis pela doçura, e a quantidade de ácidos livres presente na polpa. Portanto, quanto mais elevada for essa relação, mais doce será a polpa (Maciel et al., 2010). Em polpas de diferentes genótipos de cacau (*T. cacao* L.), Alexandre et al. (2015) observaram valores de RATIO que oscilaram de 6.46 a 9.1, teores de sólidos solúveis variando de 12,97 a 16,55°Brix, acidez titulável com valores de 1,57 a 2,12% de ácido cítrico e pH de 3.19 a 3.45. Ainda para cacau, Bojacá et al. (2019) encontraram valores de sólidos solúveis de 14,4 a 20,39°Brix, acidez titulável oscilando entre 1,30% a 1,59% de ácido cítrico e pH variando entre 3,4 a 3,6.

### **Análise de componentes principais**

Os dois primeiros componentes principais (CP) permitiram uma explicação de 72,75% da variância dos dados, indicando que a representação da diversidade dos genótipos pode ser explicada por esses dois CPs. Resultados similares foram observados por Araújo et al. (2002) estudando as características físicas dos frutos de 22 genótipos de cupuaçuzeiro, em que os dois primeiros componentes principais explicaram cerca de 76% da variação total das características. O primeiro componente principal (CP1) correlacionou-se com a maioria das características físicas do fruto, enquanto o segundo componente (CP2) estava relacionado com a maioria das características físico-químicas da polpa (Figura 3). Portanto, observa-se que a explicação da maior parte da variabilidade é realizada pelas características

físicas dos frutos, havendo, portanto, uma menor contribuição dessa variação atribuída aos caracteres físico-químicos da polpa.

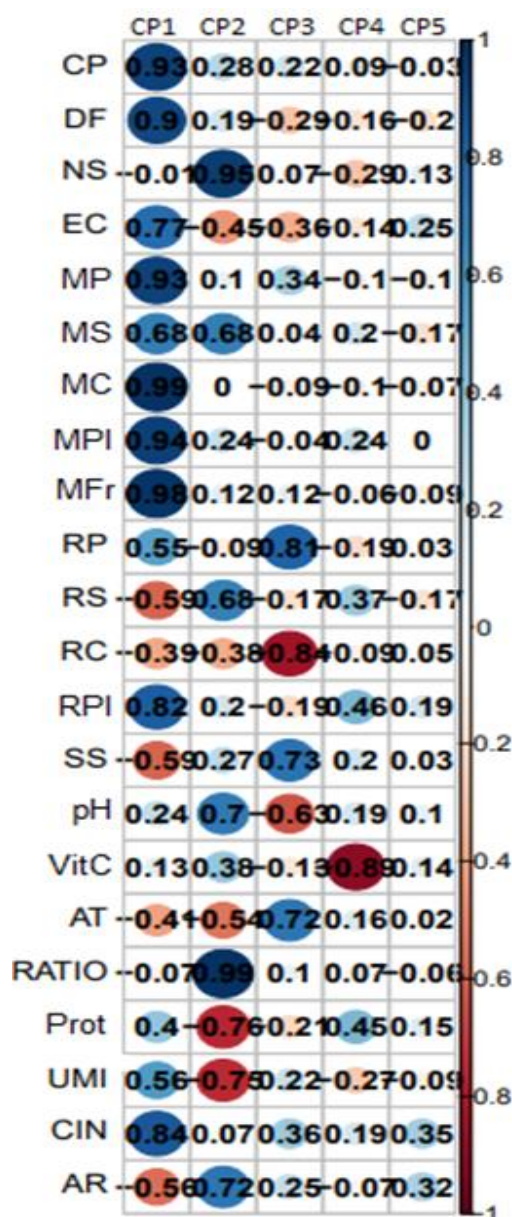


Figura 3. Correlações entre os componentes principais e as características físicas dos frutos e físico-química das polpas de seis genótipos de cupuaçuzeiro. CP – comprimento do fruto (cm); DF – diâmetro do fruto (cm); NS número de sementes; EC – espessura de casca (cm); as massas (g) de polpa (MP), de semente (MS), de casca (MC) de placenta (MPI) e dos frutos inteiros (MFr), os rendimentos (%) de polpa (RP), de semente (RS) de casca (RC) e de placenta (RPI); SS - sólidos solúveis (°BRIX); pH - potencial hidrogeniônico; VitC - vitamina C (mg ácido ascórbico/100g de polpa); TA - acidez titulável (g de ácido cítrico/100g de polpa); RATIO - sólidos solúveis/acidez titulável; Prot – proteína (%); UMI – umidade (%); CIN – cinza; e AR – açúcar redutor (g de glicose/100 g polpa).

Observou-se que as características físicas, tais como, massa da casca (MC), massa de fruto (MFr), comprimento do fruto (CP) e massa de semente (MS); e as características físico-químicas RATIO e o teor de umidade (UM) foram as que mais contribuíram na composição dos componentes (Figura 3). Ainda segundo essa análise, as variáveis, vitamina C (VitC), rendimentos de polpa (RP), placenta (RPI) e casca (RC), sólidos solúveis (SS), acidez total (AT), pH e cinzas (Cin) não tiveram contribuição relevante para a composição dos CPs. Porém, vale ressaltar que este comportamento não pode ser considerado como um senso comum para a cultura, visto que os materiais utilizados no estudo são frutos de um longo processo de melhoramento, o que pode ter contribuído para divergência entre os clones para estas variáveis.

As características do fruto mais importante do ponto de vista econômico, como CP, DF, MFr, MP e MS (Figura 4) correlacionaram-se positivamente entre si. Entre as características físico-químicas, foi observada correlação positiva entre vitC e pH. O RATIO importante na definição de sabor dos frutos apresentou correlação positiva com os SS. Portanto, entre os genótipos de cupuaçuzeiro estudados, os sólidos solúveis contribuíram mais para o RATIO, do que o teor de acidez titulável. A maioria das características físicas do fruto, dentre as quais, CP, DF e o MFr apresentaram correlação negativa com a AT, esses dados demonstram que, quanto maior o fruto, menos ácida é a sua polpa. Este resultado é interessante, pois converge duas vertentes do melhoramento do cupuaçuzeiro: a obtenção de genótipos com frutos grandes e com polpas menos ácidas.

Os seis genótipos analisados foram separados em quatro grupos, demonstrando divergência considerável entre os mesmos (Figura 4). A representação do clone 32 no primeiro quadrante indica que esse genótipo apresentou, dentre as características analisadas, maiores valores de SS, açúcares redutores (AR) e rendimento de sementes (RS). É importante destacar que essas características são desejadas para produção de amêndoas e qualidade de polpa. Por outro lado, apresentou frutos pequenos e conseqüentemente menores valores de massa de polpa. O clone 46 representado no segundo quadrante (Figura 4) indica que as características como, MS, CP, MFr e DF são as de destaques para esse material. Os clones 63 e 64 representados no quarto quadrante apresentaram maiores valores de espessura de casca (EC), proteínas (Prot) e UM e tendem a

apresentar valores menores de AR e RS. Os genótipos 42 e 61 ficaram na região intermediária para as características analisadas.

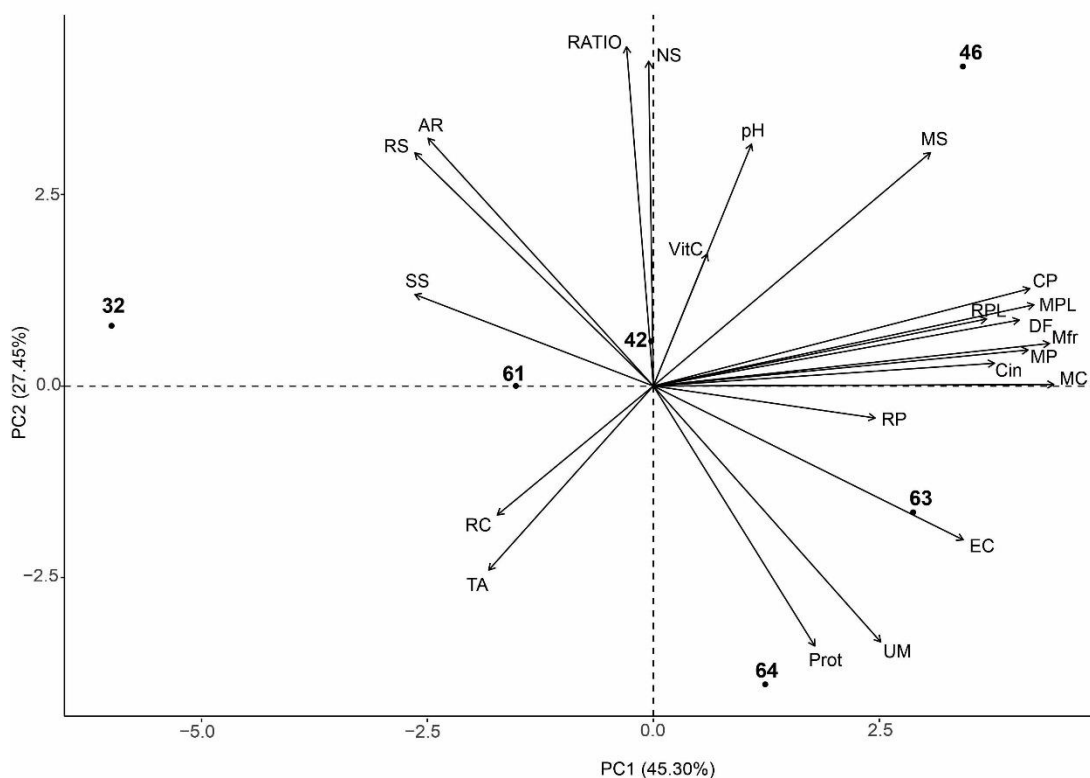


Figura 4. Biplot obtido com os valores dos dois primeiros componentes principais, mostrando a dispersão de seis genótipos de cupuaçuzeiro e 22 características físicas dos frutos e físico-químicas das polpas.

## CONCLUSÕES

Pelas análises dos componentes principais, as características físicas dos frutos são mais determinantes no estabelecimento da variabilidade entre genótipos, que as variáveis físico-químicas da polpa.

Os genótipos estudados apresentam vantagens comparativas complementares. O clone 32 destaca-se pela qualidade da polpa, com teor de AR,

SS, AT e RATIO comparativamente altos, apesar de ter o menor fruto. O genótipo 42 apresenta um fruto mediano de polpa moderadamente ácida, com baixo teor de vitC e altos conteúdos de Prot e Cin. O 46 tem o fruto com maior rendimento, isto é, componentes de maior massa, além de ter a polpa de maior RATIO, isto é, maior doçura, sendo, portanto, o mais indicado para comercialização *in natura*. O 61 destaca-se com o maior teor de vitC entre os genótipos estudados, bem como altas AT e teor de AR, a despeito de possuir um fruto de menor massa. O 64 dispõe de um fruto relativamente mediano, com polpa pobre em vitC, porém rica em minerais e proteínas, além de possui a maior AT e menor pH. Por fim, o genótipo 63, a exemplo do 46, possui um fruto grande, porém com grande parte do seu peso ocupado pela casca, além de conter uma polpa de qualidade mediana.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcoforado, A.T. Pedrozo, C.A., Mayer, M.M., Lima-Primo, H.E. (2019) Repeatability of morpho-agronomic characters of *Theobroma grandiflorum* fruits. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41:1-7.
- Alexandre, R.S., Chagas, K., Marques, H.I.P., Costa, P.R., Cardoso Filho, J. (2015) Fruit characterization of cocoa clones in the coastal region of São Mateus, ES. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19:785–790.
- Alves, B.S.F., Pereira Junior, J.B., Carvalho, F.I.M., Dantas Filho, H.A., Dantas, K.G.F. (2019) Mineral Composition of Amazonian Fruits by Flame Atomic Absorption Spectrometry Using Multivariate Analysis, *Biological Trace Element Research*, 189:259–266.
- Alves, R.M., Silva, C.R.S., Albuquerque, P.S.B., Santos, V.S. (2017) Phenotypic and genotypic characterization and compatibility among genotypes to select elite clones of cupuassu. *Acta Amazônica*. 47:175–184.

- Alves, R.M., Chaves, S.F.S. (2020) Brs careca, brs fartura, brs duquesa, brs curinga, and brs golias: New cupuassu tree cultivars. *Crop Breeding Applied Biotechnology*, 20:1-5.
- Araújo, D.G., Carvalho, S.P. Alves, R.M. (2002) Divergência genética entre clones de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Willd ex Spreng Schum). *Ciência e Agrotecnologia*, 26:13-21.
- Association of Official Analytical Chemistry (2016) Official methods of analysis, 20th edn. AOAC international, Rockville, MD, 3172p.
- Bojacá, A.F.C., Muñoz, M.C.G., Salamanca, A.M.C., Rojas, G.H.C., Tarazona-Díaz, M.P. (2019) Study of the physical and chemical changes during the maturation of three cocoa clones, EET8, CCN51, and ICS60. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99:5910–5917.
- BRASIL (2018) Ministério da Agricultura e do Abastecimento - Padrões de Identidade e Qualidade de Suco e Polpa de Fruta, na forma desta Instrução Normativa (Instrução Normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018). Diário Oficial da União, Brasília, 19p.
- Canuto, G.A.B., Xavier, A.A.O., Leandro, CN., Benassi, M.T. (2010) Caracterização físico-química de polpas de frutos da amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32:1196–1205.
- Costa, A.G.V., Garcia-Diaz, D.F., Jimenez, P., Silva, P.I. (2013) Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red-black berries. *Journal of Functional Foods*, 5:539–549.
- Costa, M.P., Monteiro, M.L.G., Frasao, B.S., Silva, V.L., Rodrigues, B.L., Chiappini, C.C., Conte-Junior, C.A. (2017) Consumer perception, health information, and instrumental parameters of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) goat milk yogurts. *Journal of dairy science*, 100:157-168.
- Costa, R.S., Pinheiro, W.B.S., Arruda, M.S.P., Costa, C.E.F., Converti, A., Costa, R.M.R., Silva Júnior, JO.C. (2020) Thermoanalytical and phytochemical study of the cupuassu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) seed by-product in different processing stages. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1-10.
- Ferreira, E.B., Cavalcante, P.P., Nogueira, D.A. (2014) ExpDesp: An R package for ANOVA and experimental Designs. *Applied Mathematics*, 5:2952-2958.

- Ferreira, R.M.A., Aroucha, E.M.M., Souza, P.A., Queiroz, R.F., Pontes Filho, F.S.T. (2009) Point of harvest of acerola, for the industrial pulp production. *Revista Verde*, 4:13–16.
- Figueiredo, J.A., Lago, A.M.T., Mar, J.M., Silva, L.S., Sanches, E.A., Souza, T.P., Bezerra, J.A., Campelo, P.H., Botrel, D.A. Borges, S.V. (2020) Stability of camu-camu encapsulated with different prebiotic biopolymers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100:3471–3480.
- Franklin, B., Nascimento, F.D.C.A. (2020) Plants for the future: data compilation of nutritional composition of guava-boi, burity, cupuaçu, murici and peach palm. *Brazilian Journal of Development*, 6:10174-10189.
- Gadelha, A.J.F., Rocha, C.O., Vieira, F.F., Ribeiro, G N. (2009) Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de abacaxi, acerola, cajá e caju. *Revista Caatinga*, 22:115-118.
- Genovese, M.I., Lannes, S.C.S. (2009) Comparison of total phenolic content and antiradical capacity of powders and "chocolates" from cocoa and cupuassu. *Food Science and Technology*, 29:810-814.
- Jackson, M.L. (1965) (ed). Soil chemical analysis, Prentice Hall, 498p.
- Kassambara, A., Mundt, F. (2016) 'Factoextra': Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. available in: <http://www.sthda.com/english/rpks/factoextra>. Acesso em 01 de julho de 2020.
- Maciel, M.I.S., Enayde, M., Lima, V., Souza, K.A., Silva, W. (2010) Caracterização físico-química de frutos de genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30:865–869.
- Maldonade, I.R., Carvalho, P.G.B., Ferreira, N., Moulin, B.S.F. (2013) "Protocolo para determinação de açúcares redutores pelo método de Somogyi-Nelson." Embrapa Hortaliças, Brasília, 4p.
- Mendes, R.F., Araújo, J.C., Andrade Neto, R.C., Araújo, J.M. Guilherme, J.P.M. (2019) Crescimento de mudas de maracujazeiro em substrato alternativo com fertilizante de liberação controlada. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 9:34-40.
- Negreiros, J.R.S., Araújo Neto, S.E., Álvarez, V.S., Lima, V.A., Oliveira, T.K. (2008) Caracterização de frutos de progênies de meios-irmãos de maracujazeiro-amarelo em Rio Branco – Acre, *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30:431-437.

- Pérez-Mora, W., Jorrin-Novo, J.V., Melgarejo, L.M. (2018) Substantial equivalence analysis in fruits from three *Theobroma* species through chemical composition and protein profiling. *Food Chemistry*, 240:496–504.
- Pugliese, A.G., Tomas-Barberan, F.A., Truchado P. Genovese, M.I. (2013) Flavonoids, proanthocyanidins, vitamin C, and antioxidant activity of *Theobroma grandiflorum* (Cupuassu) pulp and seeds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61:2720-2728.
- R Core Team. (2014) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Available from URL. <http://www.r-project.org/>.
- Ramos, S., Carazzolle, M., Pereira, G., Delforno, T., Nascimento, M., Aleluia, T., Celeghini, R., Efraim, P. (2020) Influence of pulp on the microbial diversity during cupuassu fermentation. *International journal of food microbiology*, 318:1- 14.
- Rogez, H., Buxant, R., Mignolet, E., Souza, J.N., Silva, E.M., Larondelle, Y. (2004) Chemical composition of the pulp of three typical Amazonian fruits: araçá-boi (*Eugenia stipitata*), bacuri (*Platonia insignis*) and cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). *European Food Research and Technology*, 218:380-384.
- Santos, E.H.F., Figueiredo Neto, A., Donzeli, V.P. (2016) Aspectos físico-químicos e microbiológicos de polpas de frutas comercializadas em Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). *Brazilian Journal of Food Technology*, 19:1-9.
- Santos, G.M., Maia, G.A., Sousa P.H.M., Figueredo, R.W., Costa, J.M.C. Fonseca, A.V.V. (2010) Antioxidant activity and correlations with bioactive components from commercial products of cupuaçu. *Ciência Rural*, 40:1636-1642.
- Sousa, M.S.B, Vieira, L.M., Silva, M.J.M., Lima, A.D. (2011) Nutritional characterization and antioxidant compounds in pulp residues of tropical fruits. *Ciência e Agrotecnologia* 35:554–559.
- Sousa, Y.A. Borges, M.A., Viana, A.F.D.S., Dias, A.L., Sousa, J.J.V.D., Silva, B.A.D., Aguiar, F.S.D. (2020) Physicochemical and microbiological assessment of frozen fruit pulps marketed in Santarém-PA. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23:1–10.
- Souza, A.G.C., Alves, R.M., Souza, M.G. (eds). (2017) *Theobroma grandiflorum*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), PROCISUR, 24p.
- Souza, V.R., Aniceto, A., Abreu, J.P., Montenegro, J., Boquimpani, B., Jesus, V.A., Campos, M.B.E., Marcellini, P.S., Silva, O.F., Cadena, R., Teodoro, A.J. (2020)



- Fruit-based drink sensory, physicochemical, and antioxidant properties in the Amazon region: Murici (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth and verbascifolia (L.) DC) and tapereba (*Spondia mombin*). *Food Science and Nutrition*, 8:2341–2347.
- Sucupira, N.R., Xerez, A.C.P., Sousa, P.H.M. (2012) Perdas vitamínicas durante o tratamento térmico de alimentos. *Journal of Health Sciences*, 14:121–128.
- Yahia, E.M., Celis, M.E.M., Svendsen, M. (2017) The Contribution of Fruit and Vegetable Consumption to Human Health. In: Yaha, E.M. *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*, 2nd edition. John Wiley and Sons, p. 1 -52.

### 3.2. EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELOS FRUTOS DE GENÓTIPOS DE CUPUAÇUZEIRO

#### RESUMO

A nutrição adequada das plantas é essencial para aumentar a produtividade das culturas agrícolas, ressalta-se a necessidade de estudos mais detalhados a respeito da exportação de nutrientes no cupuaçuzeiro, para a definição de doses mais adequadas e manejo de adubação, uma vez que a cultura carece dessas informações. Nesse sentido, objetivou-se quantificar o acúmulo de macro e micronutrientes nas diferentes partes do fruto, a exportação de nutrientes pela colheita dos frutos frescos e, ainda, a recomendação de adubação de reposição para a cultura. Para isso, coletou-se 240 frutos de seis genótipos de cupuaçuzeiro, denominados de BRS Careca, BRS Fatura, BRS Duquesa, BRS Curinga, BRS Golias (32, 42, 46, 61 e 64, respectivamente) e o genótipo 63, que está em fase final de melhoramento. As plantas dos seis genótipos, há treze anos passaram por um processo de enxertia de copas, são oriundas de um ensaio de campo instalado na base física Embrapa Amazônia Oriental, localizada no município de Tomé Açu, Pará, Brasil. Os frutos foram separados em casca, sementes e polpas e posteriormente quantificados os teores de macro e micronutrientes em parte cada parte do fruto. Posteriormente, os dados foram transformados para acúmulo pela relação com a matéria seca de cada compartimento dos frutos. De posse dessas

informações, foi estimada a exportação desses nutrientes por tonelada de frutos frescos dos seis genótipos. E com a média de cada nutriente exportado pelos genótipos foi realizado o cálculo de adubação para a reposição dos nutrientes exportados para cultura. O potássio é o nutriente mais exportado pelas cascas dos genótipos, sendo responsável por 56,9% do acúmulo desse nutriente em relação ao fruto inteiro. O genótipo 42 foi o que mais exportou nutrientes através das sementes, dentre os quais, P, Mg, S, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn. O potássio e o nitrogênio foram os nutrientes mais exportados pelos frutos frescos dos genótipos com valores de K (3,61 a 5,73 kg t<sup>-1</sup>) e de N (2,62 a 2,88 kg t<sup>-1</sup>). Portanto, levando em consideração a exportação de nutrientes pelos genótipos analisados, sugere-se uma adubação de reposição por planta de 382,2 g de N; 432,6 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 592 g de K<sub>2</sub>O; 31,5 g de CaO; 67,7 g de MgO e 17g de FTE.

**Palavras-chaves:** *Theobroma grandiflorum*, fruticultura, nutrição de plantas, recomendação adubação.

#### ABSTRACT

Appropriate plant nutrition is essential to increase the productivity of agricultural crops, highlighting the need for more detailed studies regarding the export of nutrients in cupuassu trees, to define more appropriate doses and fertilizer management, since the crop lacks this information. In this sense, the objective was to quantify the accumulation of macro and micronutrients in different parts of the fruit, the export of nutrients by harvesting fresh fruit, and also the recommendation of replacement fertilization for the crop. For this, we collected 240 fruits of six cupuaçu genotypes, called BRS Careca, BRS Fatura, BRS Duquesa, BRS Curinga, BRS Golias (32, 42, 46, 61, 64, respectively) and the genotype 63, which is in the final stages of improvement. Thirteen years ago, the plants of the six genotypes underwent a crown grafting process, coming from a field trial installed at the Embrapa Amazônia Oriental physical base, located in the municipality of Tomé

Açu, Pará, Brazil. The fruits were separated into peel, seeds and pulp and subsequently quantified the levels of macro and micronutrients in each part of the fruit. Afterwards, the data were transformed for accumulation by the relation with the dry matter of each compartment of the fruits. With this information, the export of these nutrients per ton of fresh fruits of the six genotypes was estimated. And with the average of each nutrient exported by the genotypes, the fertilizer calculation was performed to replace the exported nutrients for the crop. Potassium is the nutrient most exported by the skins of the genotypes, accounting for 56.9% of the accumulation of this nutrient in relation to the whole fruit. Genotype 42 was the one that exported the most nutrients through seeds, among which, P, Mg, S, Fe, Mn, Mo, Ni and Zn. Potassium and nitrogen were the nutrients most exported by fresh fruits of genotypes with values of K (3.61 to 5.73 kg t<sup>-1</sup>) and N (2.62 to 2.88 kg t<sup>-1</sup>). Therefore, taking into account the nutrient export by the analyzed genotypes, a replacement fertilization per plant of 382.2 g of N is suggested; 432.6 g of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 592 g of K<sub>2</sub>O; 31.5 g CaO; 67.7 g MgO and 17 g FTE.

**Keywords:** *Theobroma grandiflorum*, fruit growing, plant nutrition, fertilization recommendation.

## INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica cobre uma área de 5,5 milhões de km<sup>2</sup> (Ritter et al., 2017) e é um dos ecossistemas mais importantes do planeta, se distingue de muitas outras regiões pela alta biodiversidade devido a grande extensão de floresta preservada (Fearnside, 2013). A Amazônia brasileira corresponde cerca de 60% do bioma amazônico total (Eisemberg e Reynolds, 2017). É considerada como centro de origem e de diversificação de várias espécies vegetais, dentre essas, o cupuaçuzeiro [*Theobroma grandiflorum* (willd. Ex Spreng.) schum] que vem ganhando destaque no mercado nacional e internacional, principalmente, pelo uso

na alimentação e para produção de cosméticos de sua polpa e semente (Santos et al., 2016; Costa et al., 2020). O cultivo comercial da cultura vem se expandindo desde a década de 1970 (Alves et al., 2010) com cultivo comerciais nas regiões, norte, nordeste e sudeste do Brasil.

Os estudos de melhoramento genético da cultura iniciaram em épocas relativamente recentes, voltados principalmente para o aumento de produção de polpa e sementes e, resistência a principal doença que acomete o gênero *Theobroma*, a vassoura-de-bruxa, causada pelo fungo *Moniliophthora perniciosa* Stahel Aime e Phillips-Mora (Alves et al., 2020a), entretanto com o aumento da produção das culturas, as quantidades de nutrientes exportados através da colheita dos frutos, também aumentam (Reetz, 2016), nesse sentido, o conhecimento das exigências nutricionais das culturas frutíferas é um dos aspectos de fundamental importância para alcançar o sucesso na atividade, uma vez que, além de afetar a produtividade e a qualidade da produção, a nutrição adequada interfere no crescimento vegetativo, na tolerância a pragas e doenças e também no período de pós-colheita dos frutos (Natale et al., 2012).

O estudo do estado nutricional das culturas agrícolas vem sendo feito com diversas espécies, levando em consideração a interpretação do solo e em alguns casos do tecido foliar, buscando ações para melhorar sua produtividade pela adubação (Rozane e Natale, 2014). Todavia em plantas perenes, principalmente as frutíferas, onde os frutos são retirados do pomar para posterior comercialização, a exportação de nutrientes pelo fruto deve ser levada em consideração (São José et al., 2014). Admitindo-se que, a determinação da exportação de nutrientes pelos frutos é importante para os cálculos de reposição de nutrientes para as culturas, é possível garantir o aumento ou manutenção da produtividade com frutos de qualidade (Aular e Natale, 2013).

Diversos pesquisadores já realizaram estudos de exportação de nutrientes pelos frutos com diversas culturas frutíferas dentre as quais, Aceroleira (Lima et al., 2008), Goiabeira (Cardoso et al., 2011; Souza et al., 2017), Graviroleira (Gomes Júnior et al., 2018), Maracujazeiro (Mattar et al., 2018), Maracujazeiro doce (Dutra et al., 2015). Na cultura do cupuaçuzeiro dois estudos merecem destaques, o de Cravo e Souza (1996) e Costa (2006) que relatam a exportação de nutrientes pelos frutos de cupuaçuzeiro. No estudo de Cunha (2012) em que avaliou a exportação de macronutrientes através das diferentes partes dos frutos de dois genótipos de

cupuaçuzeiro, também merecem destaques. Entretanto mais estudos com genótipos melhorados para a alta produção e utilizados pelos produtores devem ser realizados, principalmente, no que diz respeito à exportação de nutrientes através dos frutos e dessa forma recomendar uma adubação de reposição para a cultura que carece dessas informações.

Diante desse contexto, objetivou-se quantificar o acúmulo de macro e micronutrientes nas diferentes partes do fruto, a exportação de nutrientes pela colheita dos frutos frescos e, ainda, a recomendação de adubação de reposição para a cultura.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental da base física da Embrapa Amazônia Oriental, no município Tomé-Açu (02°26'08" S; 48°09'08" W) no estado do Pará. O trabalho foi realizado em um pomar de cupuaçuzeiro, cujas plantas, há treze anos passaram por um processo de enxertia pela técnica de substituição de copas com 16 genótipos melhorados (Alves et al., 2020b). Desse total foram utilizados no presente estudo seis genótipos que no final de 2020 foram disponibilizados aos produtores da cultura.

As médias mensais de precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas, da área experimental estão dispostas na Figura 1. Na qual foram mensuradas durante a safra 2017/2018, através da estação meteorológica, localizada na base física da Embrapa Amazônia Oriental no município. Os dados compilados dos meses de maio de 2017, quando as plantas entraram na renovação foliar iniciando então, o ciclo da cultura, até abril de 2018 com fim da colheita dos frutos, os dados totais de precipitação foram de 2330,90 mm de chuva, sendo o suficiente para o desenvolvimento da cultura. A região apresenta umidade relativa do ar em torno de 84,8%, com um clima mesotérmico e úmido e sendo classificado no tipo Ami, segundo a classificação de Köppen (Bolfe e Batistella, 2011).

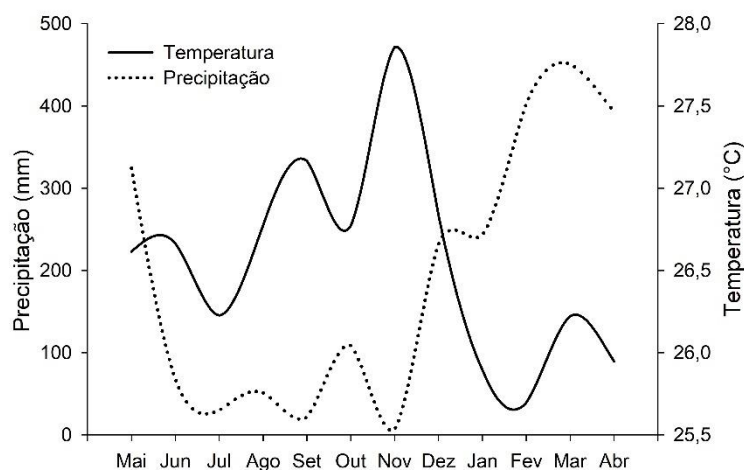


Figura 1. Média mensal de precipitação pluviométrica e temperaturas durante a safra 2017/2018 de cupuaçuzeiro na base física da Embrapa Amazônia Oriental.

Para análise química e física do solo, foram realizadas coletas das amostras de solos nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm na projeção da copa das plantas de cupuaçuzeiro e determinadas quanto a sua fertilidade e granulometria (Tabela 1). É importante ressaltar que o solo da região é do tipo Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2016).

Tabela 1. Análise da fertilidade e granulometria do solo da área de estudo nas profundidades de 0-20 e 20-40. Embrapa Amazônia Oriental.

prof.	pH	P	K	Ca	Ca+Mg	Al	H+Al	CTC	V	m	Areia	Silte	Argila
								total					
cm	água	mg dm <sup>-3</sup>				cmolc dm <sup>-3</sup>			%			g kg <sup>-1</sup>	
0-20	5,2	134	38,8	1,96	2,60	0,40	5,60	8,37	32,7	12,8	615	60,8	324
20-40	5,1	96,0	31,0	1,46	1,96	0,38	4,30	6,37	32,3	16,2	551	68,8	380

Os seis genótipos analisados estavam dispostos em espaçamento 6 m x 5 m, cultivados sem irrigação durante o período chuvoso e nos meses com baixa precipitação o sistema de irrigação foi acionado para satisfazer a necessidade da cultura. Anualmente a cultura recebe adubação com 1500 g planta<sup>-1</sup> de N, P, K da formulação 10-28-20, além de 50 g por planta de FTE BR12 e mais 200 g de KCl planta<sup>-1</sup> e ainda 1000 kg de calcário dolomítico ha<sup>-1</sup>.

O estudo foi disposto em delineamento em blocos ao acaso, com a seleção de quatro plantas de seis genótipos, denominados de BRS Careca, BRS Fartura, BRS Duquesa, BRS Curinga, genótipo 63 (fase final de melhoramento) e

BRS Golias (32, 42, 46, 61, 63 e 64, respectivamente). Sendo que, de cada planta, foram coletados 10 frutos, ou seja, 40 frutos por genótipos, totalizando 240 frutos analisados, coletados durante o pico de produção de janeiro a março de 2018.

As características biométricas avaliadas nos frutos foram: número de frutos planta<sup>-1</sup> e as massas do fruto fresco e seco. Os frutos foram quebrados e despulpados manualmente, utilizando tesoura de aço inoxidável e em seguida divididos em casca, semente e polpa. Para a obtenção dos dados das massas utilizou-se uma balança digital.

As cascas e as sementes foram colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até o peso constante. Posteriormente as amostras foram trituradas em moinhos do tipo Willey. As polpas foram liofilizadas com os seguintes procedimentos, primeiramente as polpas foram congeladas em freezer convencional por 24 h (-18°C) e colocados em um liofilizador por 96h.

Nas amostras secas, procederam-se as análises de macro e micronutrientes. Para a determinação dos teores de nitrogênio (N), as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica pelo método colorimétrico de Nessler (Jackson, 1965) e os demais nutrientes, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, zinco, molibdênio e níquel foram submetidos à digestão de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) concentrado e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) em sistema de digestão aberta e quantificados em um espectrômetro de emissão atômica com fonte de indução de plasma acoplada, modelo ICPE-9000 da marca em Shimadzu®.

O acúmulo de macro e micronutrientes na casca, semente e polpa dos frutos foram calculados pela relação entre a massa da matéria seca e a concentração do nutriente em cada parte do fruto. A partir desses valores foi estimada a exportação de nutrientes por toneladas de frutos frescos. Com a média dos nutrientes exportados dos genótipos procedeu-se a recomendação de adubação para uma área de um hectare de cupuaçuzeiro. Através dos valores de nutrientes exportados de K, P, Ca, Mg, transformou-se para os valores de K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, MgO, através multiplicação dos fatores 1,2; 2,29; 1,39 e 1,69, respectivamente.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando identificado diferença significativa pelo teste F, foi aplicado o teste de agrupamento de médias



Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico R (R Core Team, 2014) com auxílio do pacote ExpDesp.pt (Ferreira et al., 2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de frutos por planta e as massas fresca e seca dos frutos dos seis genótipos de cupuaçuzeiro estão descritos na figura 2. As maiores produções de frutos por planta foram verificadas nos genótipos BRS Fartura e BRS Curinga, com média acima de 41 frutos por planta (Figura 2A). Entretanto, entre os genótipos analisados, o BRS Duquesa foi em média o mais pesado, com maiores massa fresca (1984,1 g por fruto), e conseqüentemente maior massa seca (657,19 g). O genótipo BRS Careca foi o que apresentou a menor performance para essas variáveis, esse genótipo, além de produzir, relativamente, poucos frutos por plantas (30,1 frutos), possuem frutos pequenos, com menores massa fresca e seca de frutos (Figura 2).

Situação similar foi observado por Alves et al. (2020b), em que o esse mesmo genótipo (BRS Careca) apresentou uma das menores produções de frutos por planta. No entanto, esses autores recomendam esse genótipo, para serem utilizados na substituição de dossel de plantas improdutivas, pelo fato, do mesmo apresentar índice de polpa e sementes altos, quando comparado a outros genótipos estudados (Alves et al., 2020b). Logo, tornam-se importantes os estudos de exportação de nutrientes pelos frutos desse genótipo e dos demais.

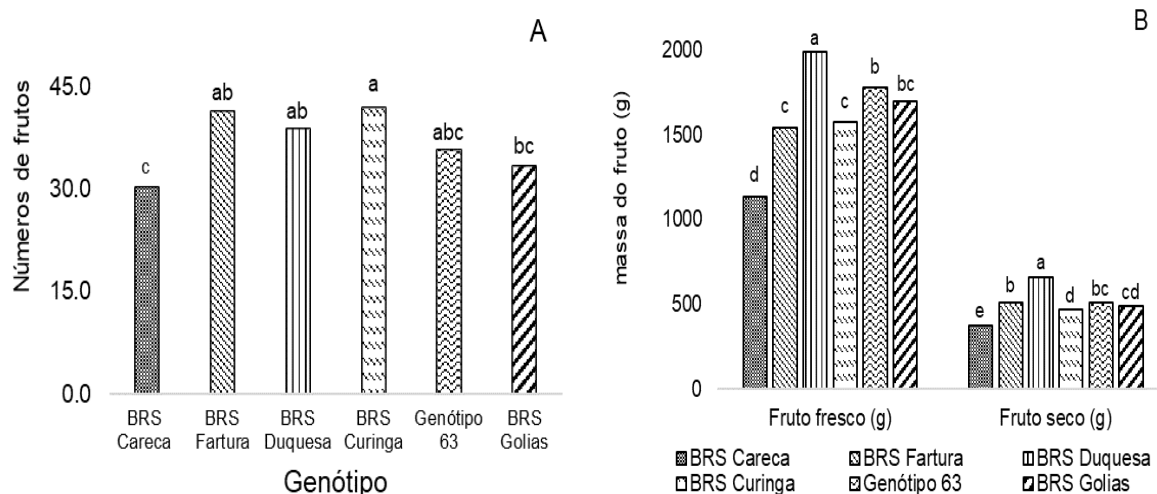


Figura 2. Número de frutos por planta, massa fresca e massa seca dos frutos dos genótipos de cupuaçuzeiro. Médias seguidas de letra diferente diferem significativamente entre os genótipos com base no teste de tukey 5% de probabilidade.

As médias dos macronutrientes exportados pelas partes dos frutos, dos seis genótipos de cupuaçuzeiro, estão apresentadas na figura 3. A ordem de exportação obedeceu à seguinte ordem: Cascas -  $K > N > P > Mg > Ca > S$ ; Sementes -  $N > K > P > Mg > S > Ca$  e polpa -  $K > N > P > S > Ca > Mg$ , respectivamente.

O N foi o segundo nutriente mais exportado pelas cascas dos genótipos estudados, com os genótipos BRS Careca e 63 com o menor e maior valor de exportação, respectivamente. Nesse sentido, em relação ao fruto total, 32,27% do N exportado foi pelas cascas dos genótipos. O BRS Duquesa acumulou mais N em suas polpas e sementes em relação aos demais genótipos. Ressalta a importância de estudar os genótipos de forma separada e no final fazer uma recomendação de reposição de adubação de forma correta, que atendam todos os genótipos de forma consciente e econômica.

Assim como foi observado no presente estudo, o N foi o mais exportado pelas amêndoas de cacau nos estudos de Silva (2009) e Santos (2018). Isso pode ser explicado pelas reservas que as sementes do gênero *Theobroma* maduras são compostas, como lipídios, proteínas e carboidratos (Martinni e Tavares, 2005), uma vez que o N é constituinte da clorofila, aminoácidos, proteínas, alcaloides e protoplasma (Mohidin et al., 2015).

Tabela 2. Exportação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas cascas, sementes e polpas e a média geral dos frutos de seis genótipos de cupuaçuzeiro

Genótipo	N	P	K	Ca	Mg	S
g casca <sup>-1</sup> (casca seca)						
BRS Careca	0,75d	0,20d	2,05e	0,12e	0,18e	0,12d
BRS Fartura	1,25c	0,31c	3,09d	0,16d	0,25bc	0,21b
BRS Duquesa	1,55b	0,53a	4,25b	0,37a	0,40a	0,24a
BRS Curinga	1,36c	0,41b	4,14b	0,23b	0,27b	0,19c
Genótipo 63	1,79a	0,38b	6,72a	0,19c	0,22d	0,24a
BRS Golias	1,77a	0,30c	3,64c	0,18c	0,24cd	0,24a
Média	1,41	0,36	3,98	0,21	0,26	0,21
CV%	16,28	11,94	11,62	18,44	16,35	15,55
g semente <sup>-1</sup> (semente seca)						
BRS Careca	1,53d	0,32c	0,84d	0,13a	0,35c	0,13c
BRS Fartura	2,03b	0,48a	0,97b	0,09b	0,43a	0,17a
BRS Duquesa	2,43a	0,29c	0,37e	0,05d	0,18d	0,09d
BRS Curinga	1,66cd	0,28c	0,41e	0,08c	0,17d	0,06e
Genótipo 63	1,79c	0,42b	1,05b	0,09b	0,40b	0,15b
BRS Golias	1,66cd	0,44ab	1,21a	0,09b	0,42ab	0,14bc
Média	1,85	0,37	0,81	0,09	0,33	0,12
CV%	15,37	18,20	11,66	11,18	13,76	15,83
g polpa <sup>-1</sup> (polpa liofilizada)						
BRS Careca	0,75d	0,08d	1,17e	0,07d	0,03d	0,09e
BRS Fartura	1,09c	0,11c	1,67d	0,10c	0,04c	0,12cd
BRS Duquesa	1,47a	0,17a	3,03a	0,16a	0,07a	0,18a
BRS Curinga	1,08c	0,14b	2,07c	0,09c	0,04c	0,13bc
Genótipo 63	1,11bc	0,14b	2,27b	0,10c	0,05b	0,14b
BRS Golias	1,18b	0,15b	2,13bc	0,12b	0,05b	0,11d
Média	1,11	0,13	2,22	0,11	0,05	0,13
CV%	11,53	16,92	14,15	17,93	16,90	18,44
Média geral	4,37	0,86	6,99	0,41	0,58	0,46

Média seguida de letra diferente, dentro de cada compartimento do fruto, difere significativamente entre os genótipos com base no teste de tukey 5% de probabilidade.

Outro nutriente muito importante, no que se refere à exportação de nutriente é o potássio, este nutriente, desempenha papel importante na formação dos frutos, atuando no transporte de fotoassimilados no floema (Marschner, 2012), esse nutriente foi o mais exportado pelos frutos dos genótipos analisados.

As partes do fruto que mais exportou potássio foram as cascas, sendo que o genótipo 63 exportou mais esse nutriente pelas cascas dos frutos, em relação ao fruto inteiro, essa parte do fruto foi responsável por 56,9% de exportação, ou seja,

mais da metade das exportações de potássio são exportados pelas cascas dos frutos, confirmando, portanto, que as cascas podem voltar à área de produção após um beneficiamento desse material. Silva (2009) e Souza Júnior et al. (2012) observaram efeito semelhante na cultura do cacau, onde o potássio foi o nutriente mais exportado pelas cascas de cacaueiro, nessa cultura as cascas são retornadas à lavoura de forma concentrada através dos casqueiros.

O fósforo foi terceiro macronutriente mais exportado pelas diferentes partes dos frutos. Resultados semelhantes foram observados em frutos de graviola (Gomes Junior et al., 2018) e nos frutos de melancia (Aguiar Neto et al., 2016) em que a exportação de P foram inferiores ao de potássio e nitrogênio. A média de acúmulo do nutriente pelos frutos dos diferentes genótipos foi de  $0,9 \text{ g fruto}^{-1}$ , desse total, as cascas e as sementes juntas foram responsáveis por 84,9% das exportações desse nutriente entre os genótipos analisados. Em relação ao acúmulo de P nas cascas e nas polpas dos frutos, o genótipo BRS Duquesa apresentou maiores conteúdos de fósforo. Por outro lado, quando analisadas as sementes, os BRS Fartura e BRS Golias exportaram mais fósforo nessa parte do fruto (Tabela 2).

O elevado conteúdo de N e P nas sementes evidencia a importância desse nutriente para a reposição de nutrientes, uma vez que as sementes estão sendo utilizadas para a indústria de fármacos, cosméticos e ainda, na indústria alimentícia, principalmente, para produção do cupulate (Genovese e Lannes, 2009; Costa et al., 2020), ou seja, não retornam a área de produção. Do total de P acumulado pelo fruto, 43% é exportado através das sementes, evidenciando a importância desse nutriente na reposição da adubação.

Cálcio, magnésio e enxofre foram os macronutrientes menos exportados pelas diferentes partes do fruto de cupuaçuzeiro (Tabela 2). Os frutos do BRS Duquesa exportaram mais Ca e Mg nas cascas e nas polpas e maior quantidade de enxofre nas polpas em relação aos demais genótipos analisados no presente estudo. Os acúmulos de cálcio e magnésio estão abaixo dos observados por Costa (2006). Esse autor estudando a exportação de nutrientes em frutos de cupuaçuzeiro, cultivados em três solos do estado do Amazonas, observou valores variando de  $0,67 \text{ g fruto}^{-1}$  a  $1,068 \text{ g fruto}^{-1}$  (Ca) e  $0,701 \text{ g fruto}^{-1}$  a  $1,055 \text{ g fruto}^{-1}$  (Mg). A baixa exportação dos dois nutrientes pelos frutos, do presente estudo, em relação aos valores observados por Costa (2006) pode estar relacionada com os

genótipos utilizados, que foram diferentes e, ainda, com a concentração desses nutrientes no solo. Haja vista que, no solo do presente estudo, os teores de cálcio + magnésio, ficaram entorno de  $2,6 \text{ cmol}_c \text{ dcm}^{-3}$  (Tabela 1), valor inferior dos solos analisados por Costa (2006), em que os teores chegaram a  $12,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na mesma profundidade (0-20cm).

O acúmulo dos micronutrientes nas diferentes partes seguiu a seguinte ordem:  $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{Mo} > \text{Ni}$  (cascas) e, por sua vez, nas sementes e nas polpas a ordem decrescente da exportação foi:  $\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{Mo}$ . Observa-se que o zinco foi o nutriente mais exportado pelas diferentes partes dos frutos dos genótipos analisados (Tabela 3). As sementes foram responsáveis por 49,1% da exportação desse nutriente em relação ao fruto inteiro. As exportações de zinco foram inferiores aos observados por Costa (2006), essa diferença pode estar relacionada com alta concentração de fósforo no solo do presente estudo (Tabela 1), uma vez que, excessivas aplicações de P no solo podem induzir baixas concentrações de Zn nos tecidos das plantas (Zhang et al., 2017). Além do mais, pode ter interferência dos genótipos utilizados no presente estudo, que foram diferentes dos usados no estudo de Costa (2006).

Nessa sequência o ferro, manganês e o cobre foram os micronutrientes com expressivos valores de exportações nas partes do fruto dos genótipos analisados. As exportações desses nutrientes pelos frutos foram em média de 7,6 mg, 5,6 mg e 3,8 mg fruto<sup>-1</sup> para Fe, Mn e Cu, respectivamente (Tabela 3). Na ordem de exportação dos micronutrientes, o Ni e Mo foram os menos acumulados no fruto com médias de conteúdo no fruto de 0,27 mg e 0,18 mg fruto<sup>-1</sup> (Tabela 3). Os micronutrientes, embora absorvidos em pequenas quantidades pelas plantas são fundamentais, pois desempenham funções eminentes no crescimento, desenvolvimento e metabolismo das plantas (Tripathi et al., 2015). Dessa forma, os estudos da exportação dos micronutrientes pelas diferentes partes das plantas são essenciais para um manejo equilibrado da adubação para a cultura do cupuaçuzeiro.

Figura 3. Exportação de zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), níquel (Ni) e molibdênio (Mo) acumulados nas cascas sementes, polpas e a média geral nos frutos de seis genótipos de cupuaçuzeiro

Genótipo	Zn	Fe	Cu	Mn	Ni	Mo
mg casca <sup>-1</sup> (casca seca)						
BRS Careca	2,84d	2,23d	0,85d	1,91e	0,08b	0,05c
BRS Fartura	3,70bc	2,63b	1,03bc	3,02c	0,07b	0,09b
BRS Duquesa	5,49a	4,08a	1,09ab	6,13a	0,11a	0,12 <sup>a</sup>
BRS Curinga	3,77bc	2,97c	0,91cd	3,99b	0,05c	0,09b
Genótipo 63	3,38c	3,83cd	1,21a	2,70cd	0,06c	0,13 <sup>a</sup>
BRS Golias	3,92b	5,40 a	0,78d	2,36d	0,06c	0,13 <sup>a</sup>
Média	3,85	3,52	0,98	3,35	0,07	0,10
CV%	16,64	28,43	23,43	17,43	24,45	20,38
mg semente <sup>-1</sup> (semente seca)						
BRS Careca	5,30b	2,67b	2,01b	1,53ab	0,21a	0,05b
BRS Fartura	6,87a	3,06a	1,86b	1,76a	0,19a	0,06 <sup>a</sup>
BRS Duquesa	3,96c	1,03d	1,79b	0,97d	0,07d	0,04b
BRS Curinga	2,41d	0,94d	1,69b	1,21cd	0,06d	0,05b
Genótipo 63	5,44b	2,44c	2,78a	1,55ab	0,14c	0,05b
BRS Golias	4,64b	2,68b	1,98b	1,42bc	0,17b	0,06 <sup>a</sup>
Média	4,77	2,14	2,02	1,41	0,14	0,05
CV%	17,33	16,14	25,67	27,68	22,47	27,12
mg polpa <sup>-1</sup> (polpa liofilizada)						
BRS Careca	0,79d	1,87cd	0,71c	0,59d	0,06b	0,021c
BRS Fartura	0,92cd	2,54b	0,75bc	0,79bc	0,06b	0,034b
BRS Duquesa	1,79a	3,19a	1,32a	1,54a	0,08a	0,06 a
BRS Curinga	1,01bc	2,06c	0,92b	0,65cd	0,07b	0,033b
Genótipo 63	1,11b	1,69cd	0,92b	0,85b	0,06b	0,030b
BRS Golias	0,93cd	1,49d	0,41d	0,56d	0,05b	0,029b
Média	1,09	1,97	0,83	0,83	0,06	0,034
Total do Fruto	9,71	7,63	3,84	5,59	0,27	0,18
CV%	22,64	28,43	37,33	27,49	25,61	38,37

Médias seguidas de letra diferente dentro de cada compartimento do fruto diferem significativamente entre os genótipos com base no teste de tukey 5% de probabilidade.

Observa-se que, no geral, a casca exporta mais nutrientes que as demais partes do fruto, evidenciando que esse compartimento pode ser retornado para a lavoura através de restos culturais e incorporado como adubo. O genótipo BRS Duquesa apresentou maior acúmulo de P, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Mo, Ni e Zn nas cascas (Tabela 2 e 3). Isso pode ser explicado pela quantidade de massa fresca e seca dos frutos que foram superiores nesse genótipo (Figura 2).

As exportações dos nutrientes por tonelada de frutos frescos são apresentadas na tabela 2 e observa-se a seguinte ordem decrescente de

exportação:  $K > N > P > Mg > S > Ca$  (macronutrientes) e,  $Zn > Fe > Mn > Cu > Ni > Mo$  (micronutrientes). O potássio foi o macronutriente mais exportado pelos frutos de cupuaçuzeiro, sendo o genótipo 63 reponsável pelas maiores exportações por toneladas de frutos frescos desse nutriente. Resultados semelhantes foram observados por Cravo e Souza (1996), esses autores encontraram  $4,96 \text{ kg t}^{-1}$  e próximo do observado por Cunha (2012) analisando dois genótipos (186 e 215) em que a exportação dos genótipos foi de  $6,62 \text{ kg t}^{-1}$  de potássio nos frutos frescos de cupuaçuzeiro. Esses estudos evidenciam a importância desse nutriente na reposição de adubação para a cultura do cupuaçuzeiro.

No que se refere à formação dos frutos, o potássio desempenha função importante no transporte de fotoassimilados no floema (Marschner, 2012). Dada a importância do potássio, em outras culturas, também se observa que é o nutriente mais exportado pelos frutos, de Acerola (Lima et al., 2008), Banana (Hoffiman et al., 2010), Graviola (Gomes Júnior et al., 2018) e maracujá doce (Dutra et al., 2018).

O nitrogênio foi o segundo nutriente mais exportado entre os macronutrientes, com exportações variando de  $2,62$  a  $2,88 \text{ kg t}^{-1}$  de frutos frescos. O genótipo 42 exportou mais fósforo, pelos frutos e os demais genótipos não diferiam estatisticamente entre si. O P foi terceiro macronutriente mais exportado entre os genótipos de cupuaçuzeiro e os valores oscilaram ente  $0,51$  a  $0,59 \text{ g t}^{-1}$  de frutos frescos.

Tabela 4. Exportação de macro e micronutrientes por tonelada de frutos frescos de seis genótipos de cupuaçuzeiro

Genótipo	Macronutrientes ( $\text{kg t}^{-1}$ de frutos frescos)						Micronutrientes ( $\text{g t}^{-1}$ de frutos frescos)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Fe	Mo	Ni	Cu	Zn
BRS Careca	2,7b	0,5b	3,6d	0,28ab	0,50a	0,30b	3,6b	6,0a	0,10c	0,31a	3,17 a	7,94 a
BRS Fartura	2,9a	0,6a	3,8d	0,24c	0,47a	0,32a	3,7b	5,4b	0,12ab	0,21b	2,40 c	7,58 a
BRS Duquesa	2,8ab	0,5b	3,9cd	0,29a	0,33d	0,26c	4,4a	4,3cd	0,11bc	0,14d	2,16cd	5,73 b
BRS duquesa	2,6b	0,5b	4,3b	0,27b	0,31d	0,24c	3,8b	3,8d	0,10c	0,11e	2,26 c	4,64 c
Genótipo 63	2,7b	0,5b	5,7a	0,23c	0,38c	0,30b	2,9c	4,5c	0,12ab	0,15d	2,80 b	5,65 b
BRS Golias	2,8ab	0,5b	4,2bc	0,24c	0,43b	0,29b	2,6c	5,7ab	0,13a	0,17 c	1,89 d	5,88 b
Média	2,8	0,5	4,3	0,26	0,40	0,29	3,49	4,9	0,11	0,18	2,45	6,24
CV (%)	11,2	13,3	11,7	14,22	12,39	12,31	14,6	15,	16,60	16,43	18,62	12,91

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre os genótipos pelo teste de tukey 5% de probabilidade.

O cálcio, magnésio e enxofre foram os macronutrientes menos exportados pelos frutos frescos entre os genótipos analisados. De acordo com Souza Júnior et al. (2012) esses três nutrientes apresentam deficiência com menos frequências em lavouras de cacau no Brasil.

Entre os macronutrientes o cálcio foi menos exportado pelos frutos dos genótipos analisados. Os frutos enfrentam desafios em termos de nutrição e fisiologia de cálcio, pois esse nutriente é imóvel na planta, limitando, dessa forma, a distribuição para os frutos (Hocking et al., 2016). Entre os genótipos estudados, o BRS Duquesa ( $0,29 \text{ kg t}^{-1}$ ) foi o que mais exportou Ca, seguido pelo BRS Careca e o BRS Curinga ( $0,28$  e  $0,27 \text{ kg t}^{-1}$ , respectivamente). Os valores desse nutriente estão próximos aos observados por Cravo e Souza (1996) que foi exportado  $0,22 \text{ kg t}^{-1}$  de frutos frescos.

A exportação de Mg variou entre os genótipos estudados, tal que, as maiores exportações foram observadas nos genótipos BRS Careca e BRS Fatura ( $0,50$  e  $0,47 \text{ kg t}^{-1}$  de frutos frescos, respectivamente), observou-se que esses mesmos genótipos exportaram mais enxofre (Tabela 2).

O genótipo BRS Careca apresentou maior exportação dos micronutrientes Fe, Ni, Cu e Zn. Os frutos cupuaçuzeiro exportaram mais Zn e Fe, seguido por Mn e Cu, resultados semelhantes foram observados no estudo de Aquino et al. (2014) com 15 cultivares de mangueiras em que os micronutrientes mais exportados pelas mangueiras foram Fe, Zn, Mn e Cu. A exportação de Zn para os diferentes genótipos de cupuaçuzeiro oscilou de  $4,64$  a  $7,94 \text{ g t}^{-1}$  de frutos frescos para os genótipos BRS Curinga e BRS Careca, respectivamente. O BRS Careca exportou mais Fe, Ni, Cu e Zn. Observou-se maior exportação de Mn pelos frutos frescos do BRS Duquesa, no geral, esse nutriente foi o terceiro micronutriente mais exportado entre os genótipos de cupuaçuzeiro analisados.

Os micronutrientes exportados em menor quantidade foram o Mo e Ni, com valores oscilando de  $0,10$  a  $0,13 \text{ g t}^{-1}$  e  $0,11$  a  $0,31 \text{ g t}^{-1}$  de frutos frescos, respectivamente. Embora, os micronutrientes sejam requeridos em pequenas quantidades pelas plantas, esses precisam de uma atenção especial, pois dada a sua essencialidade, são fundamentais no crescimento e reprodução das frutíferas (Frachinello et al., 2012) e é sabido que a adubação com os micronutrientes não é priorizada, demonstrando a importância de conhecer a exportação de todos os



nutrientes, para então recomendar uma adubação de forma correta priorizando todos os nutrientes.

No que se refere à adubação de manutenção, esta visa basicamente a reposição dos nutrientes exportados dos cultivos anualmente pela colheita. No caso do cupuaçuzeiro levou-se em consideração o espaçamento de 5m x 5m da cultura e os nutrientes exportados por tonelada de frutos, sugerem-se uma recomendação de reposição de 382,2 g de nitrogênio por planta. O P foi o terceiro macronutriente exportado em maior quantidade pela cultura, sugere-se a recomendação de 432,6 de  $P_2O_5$  por planta. Para o potássio, nutriente mais exportado pelos frutos de cupuaçu, recomenda-se uma adubação de 592 g por plantas de  $K_2O$  por planta. Para reposição de Ca e Mg sugere-se 31,5 g de CaO e 67,7 g de MgO por planta, respectivamente. E ainda, como fonte de micronutriente, recomenda-se aplicação de 17g de FTE por planta. É importante ressaltar que essa recomendação para a cultura, deve ser sempre acompanhada da análise de solo e de preferência de análise do tecido foliar.

## CONCLUSÕES

1. Entre os genótipos analisados a ordem de exportação dos macronutrientes pelas cascas, sementes e polpas são:  $K > N > P > Mg > Ca > S$ ;  $N > K > P > Mg > S > Ca$  e  $K > N > P > S > Ca > Mg$ , respectivamente. E para os micronutrientes, decrescem na seguinte ordem:  $Zn > Mn > Fe > Cu > Mo > Ni$  (cascas);  $Zn > Fe > Cu > Mn > Ni > Mo$  (sementes e polpas).
2. A exportação dos nutrientes por toneladas de frutos frescos obedeceu a seguinte ordem para os macronutrientes ( $kg\ t^{-1}$ ): K (4,25), N (2,73), P (0,54), Mg (0,40), S (0,29), Ca (0,26) e para os micronutrientes ( $g\ t^{-1}$ ): Zn (6,24), Fe (4,97), Mn (3,46), Cu (2,45), Ni (0,18) e Mo (0,11). Sendo a casca com alta exportação de K, recomenda-se que essa parte do vegetal retorne às plantações, ou usado como complemento de adubos para produções de mudas.

3. A adubação de reposição por planta levando em consideração a exportação de nutrientes é de 382,2 g de N; 432,6 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 592 g de K<sub>2</sub>O; 31,5 g de CaO; 67,7 g de MgO e 17g de FTE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar Neto, P., Souza, R.A.G., Maracajá, P.B., Medeiros, A.C., Pimenta, T.A., Lima, T.S. (2026) Crescimento e absorção de macronutrientes na cultura da melancia no estado de Pernambuco. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. 11:17-25.
- Alves, R.M., Chaves, S.D.S., Pedroza Neto, J.L., Santos, T.G. (2020a) Selection of triple-cross *Theobroma grandiflorum* genotypes, aiming at fruit production and resistance to *Moniliophthora perniciosa*. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*.15:1-9.
- Alves, R.M., Chaves, S.F.S., Oliveira, R.P.D., Pedroza Neto, J.L., Sebbenn, A. (2020b) Canopy replacement used in the evaluation of cupuassu tree genotypes in the state of Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42:1-11.
- Alves, R.M., Resende, M.D.V., Bandeira, B.D.S., Pinheiro, T.M., Farias, D.C.R. (2010) Avaliação e seleção de progênies de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), em Belém, Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32:204-212.
- Aquino, C.F., Salomão, L.C.C., Siqueira, D.L.D., Cecon, P.R., Ribeiro, S.M.R. (2014) Teores de minerais em polpas e cascas de frutos de cultivares de bananeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49:546-553.
- Aular, J., E Natale, W. (2013) Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, mangueira, bananeira e mamoeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35:1214-1231.
- Bolfe, E.L., Batistella, M. (2011) Análise florística e estrutural de sistemas silviagrícolas em Tomé-Açu, Pará. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46:1139-1147.
- Cardoso, E.A., Costa, J.T.A., Soares, I., Silva, R.M., Aguiar, A.V.M. (2011) Exportação de nutrientes por frutos de goiabeira 'Paluma' em função da adubação mineral. *Agropecuária científica no semiárido*, 6:38-41.

- Costa, E.L. (2006) *Exportação de nutrientes em frutos de cupuaçu (Theobroma grandiflorum) em três solos da Amazônia Central*. Tese (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) - Manaus, AM, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 39p.
- Costa, R.S., Pinheiro, W.B.S., Arruda, M.S.P., Costa, C.E.F., Converti, A., Costa, R.M.R., Silva Júnior, JO.C. (2020) Thermoanalytical and phytochemical study of the cupuassu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) seed by-product in different processing stages. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1-10.
- Cravo, M.D.S., Souza, A. (1996) Exportação de nutrientes por fruto de cupuaçuzeiro. *Anais da XXII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas*, v.22., Manaus, p.632-633.
- Cunha, D.C. (2012) *Produção de biomassa, exportação de macronutrientes, estoque de carbono e análise econômica em cupuaçuzeiros*. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Belém, PA, Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, 115p.
- Dutra, G.A.P., Carvalho, A.J.C., Freitas, M.S.M., dos Santos, P.C., Freitas, J.A.A. (2015) Estimativa da exportação de nutrientes pelos frutos do maracujazeiro doce em função da aplicação de ureia e de esterco bovino. *Revista Ifes Ciência*, 1:5-17.
- Eisemberg, C.C., Reynolds, S.J., (2017) *An Introduction to Wildlife Conservation in the Brazilian Amazon: A View from Northern Australia*. *Brazilian Amazon Field Intensive*, Charles Darwin University, Darwin. 89p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2016) Mapas de Solos e de Aptidão Agrícola de Áreas Alteradas do Pará. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 19p.
- Fearnside, P.M. (2013) Climate Change as a Threat to Brazil's Amazon Forest. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*,4:1-12.
- Ferreira, E.B., Cavalcante, P.P., Nogueira, D.A. (2014) ExpDesp: An R package for ANOVA and experimental Designs. *Applied Mathematics*, 5:2952-2958.
- Frachinello, J.C., Pasa, M.S., Schmitz, J.D., Betemps, D.L.A. (2012) Fruticultura Brasileira: História e desafios. In Prado, R. M. (Ed.). *Nutrição de Plantas Diagnose Foliar em Frutíferas*. Jaboticabal: FCAV/ CAPES/ FAPESP/ CNPq, p. 11-33.
- Franklin, B., Nascimento, F.D.C.A. (2020) Plants for the future: data compilation of nutritional composition of guava-boi, burity, cupuaçu, murici and peach palm. *Brazilian Journal of Development*, 6:10174-10189.

- Genovese, M.I., Lannes, S.C.S. (2009) Comparison of total phenolic content and antiradical capacity of powders and "chocolates" from cocoa and cupuassu. *Food Science and Technology*, 29:810-814.
- Gomes Júnior, G.A.G., Pereira, R.A., Sacramento, C.K., Souza Júnior, J.O. (2018) Extração e exportação de nutrientes em frutos de gravioleira. *Revista Ciência Agrícola*, 16:80-84.
- Hoffmann, R.B., Oliveira, F.H.T.D., Souza, A.P.D., Gheyi, H.R., Souza Júnior, R.F.D. (2010) Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32:268-275.
- Jackson, M.L. (1965) *Soil chemical analysis*. Prentice Hall, 498p.
- Lima, R.D.L. S.D., Ferreira, G.B., Cazetta, J.O., Weber, O.B., Siqueira, D.L.D., Paiva, J.R.D. (2008) Exportação de nutrientes minerais por frutos de aceroleira colhidos em diferentes épocas do ano. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30:806-811.
- Marschner, P. (ed.) (2012) *Mineral nutrition of higher plants*. 3th ed. London: Academic Press, 651p.
- Martini, M.H., Tavares, D.D.Q. (2005) Reservas das sementes de sete espécies de *Theobroma*: revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 64: 10-19.
- Mattar, G. S., Moraes, C. C. D., Meletti, L. M. M., Purquerio, L. F. V. (2018) Accumulation and exportation of nutrients by yellow Passion fruit cv. IAC 275. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40:1-10.
- Mohidin, H., Hanafi, M.M., Rafii, Y.M., Abdullah, S.N.A., Idris, A.S., Man, S., Idris, J., Sahebi, M. (2015) Determination of optimum levels of nitrogen, phosphorus and potassium of oil palm seedlings in solution culture. *Bragantia*, 74:247-254.
- Natale, W., Rozane, D. E., Parent, L. E., Parent, S. E. (2012) Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34:1294-1306.
- R Core Team. (2014) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Available from URL. <http://www.r-project.org/>.
- Reetz, H.F. (2017) Fertilizantes e o seu uso eficiente. Tradução de Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: ANDA, 178p.
- Rozane, D.E., Natale, W. (2014) Calagem, adubação e nutrição mineral de anonáceas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36:166-175.
- Santos, G.M., Maia, G.A., Sousa P.H.M., Figueredo, R.W., Costa, J.M.C. Fonseca, A.V.V. (2010) Antioxidant activity and correlations with bioactive components from commercial products of cupuaçu. *Ciência Rural*, 40:1636-1642.

- Santos, E. R. (2018) *Produtividade e exportação de nutrientes por cacaueiros*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Ilhéus, BA, Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, 64p.
- São José, A.R., Prado, N.B., Bomfim, M.P. (2014) Marcha de absorção de nutrientes em anonáceas. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2014, 36:176-183.
- Silva, D.F., Pegoraro, R.F. Maia, V.M., Kondo, M.K., Souza G.L.O.D., Mota, M.F.C. (2017) Volatilização de amônia do solo após doses de ureia com inibidores de urease e de nitrificação na cultura do abacaxi. *Revista Ceres* 64:327-335.
- Silva, J. O. (2009) *Produção e partição de biomassa e nutrientes e parametrização de um sistema para recomendação de N, P, K para cacaueiros*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Ilhéus, BA, Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, 85p.
- Souza Júnior, J.O., Menezes, A.A., Sodré, G.A., Gattward, J.N., Dantas, P.A.S., Cruz Neto, R.O. (2012) Diagnose Foliar na Cultura do Cacau. In: Prado, R.M. (ed.). *Nutrição de Plantas Diagnose Foliar em Frutíferas*. Jaboticabal, p. 443-476.
- Souza, H.A.D., Amorim, D.A.D., Rozane, D.E., Natale, W. (2017) Quantificação de nutrientes nos frutos de goiabeiras adubadas com subproduto da agroindústria processadora de goiabas. *Revista de Ciências Agrárias*, 40:80-90.
- Zhang, W., Chen, X.X., Liu, Y.M., Liu, D.Y., Chen, X.P., Zou, C.Q. (2017) Zinc uptake by roots and accumulation in maize plants as affected by phosphorus application and arbuscular mycorrhizal colonization. *Plant and Soil*, 413:59-71.

### 3.3. PADRÕES DE NUTRIENTES FOLIARES PARA CULTURA DO CUPUAÇUZEIRO: EFEITO DA POSIÇÃO DA FOLHA NO RAMO

#### RESUMO

A avaliação do estado nutricional das plantas depende entre outros fatores, da posição da folha no ramo das plantas, devido à dinâmica dos nutrientes nas mesmas. Poucos são os estudos de diagnose foliar para o cupuaçuzeiro, nesse sentido, objetivou-se avaliar os teores de macro e micronutrientes em nas folhas de diferentes posições no ramo, para definir a que melhor representa a folha diagnóstica da cultura. Foram amostradas um total de 400 amostras de folhas em 10 posições no ramo de 40 plantas do genótipo BRS Manacapuru e determinado os teores de macro e micronutrientes em cada folha. Os teores foliares de N, P, K e Mg foram superiores nas folhas novas e decrescendo com a idade da folha. Efeito contrário foi observado para teores foliares de cálcio, ferro e boro, em que as folhas velhas apresentaram maiores teores para esses nutrientes. No presente estudo, os teores de N, P e K, Ca e Mg demonstraram que os dados obtidos nas folhas 4, 5 e 6 para esses nutrientes foram mais homogêneos, pois apresentaram valores baixos de desvio padrão e coeficiente de variação em relação as outras posições das folhas no ramo. Portanto, os padrões de diagnósticos nutricionais foliares da cultura do cupuaçuzeiro indicaram que as folhas 4, 5 e 6 nos ramos coletados nas direções

norte, sul, leste e oeste são as mais representativas para a diagnose foliar e pode ser utilizada como referência para amostragem foliar.

**Palavras-chaves:** *Theobroma grandiflorum*, fruteiras nativas, diagnose foliar, estado nutricional.

## ABSTRACT

The evaluation of the nutritional status of plants depends, among other factors, on the position of the leaves in the branches of the plants, due to the dynamics of nutrients in them. There are few foliar diagnosis studies for cupuassu trees, in this sense, the objective was to evaluate the macro and micronutrient contents in the leaves of different positions in the branch, in order to define the one that best represents the diagnostic leaf of the crop. A total of 400 leaf samples were sampled in 10 branch positions of 40 plants of the BRS Manacapuru genotype and the macro and micronutrient contents in each leaf were determined. Leaf contents of N, P, K and Mg were higher in young leaves and decreased with leaf age. Opposite effect was observed for foliar contents of calcium, iron and boron, in which the old leaves had higher contents for these nutrients. In the present study, the contents of N, P and K, Ca and Mg showed that the data obtained in leaves 4, 5 and 6 for these nutrients were more homogeneous, as they presented low values of standard deviation and coefficient of variation in relation to the others positions of leaves on the branch. Therefore, the patterns of leaf nutritional diagnoses of the cupuassu crop indicated that the 4, 5 and 6 leaves in the branches collected in the north, south, east and west directions are the most representative for the foliar diagnosis and can be used as a reference for sampling leaf.

**Keywords:** *Theobroma grandiflorum*, native fruit trees, leaf diagnosis, nutritional status.

## INTRODUÇÃO

O gênero *Theobroma* está dividido em 22 espécies, que foram identificadas por Cuatrecasas (1964). Possuem como centro origem o continente americano e fazem parte da família Malvaceae. Dentre as espécies do gênero, as cultivadas comercialmente no Brasil são cacau (*Theobroma cacao* L.) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Willd. Ex Spreng Schum). O cupuaçuzeiro é uma frutífera nativa do bioma Amazônico, com expressiva contribuição econômica e social na região, é muito apreciado pelo sabor e aroma de sua polpa, da qual se derivam sucos, sorvetes, cremes, picolés, geleias e uma infinidade de doces (Pugliese et al., 2013; Franklin e Nascimento, 2020). As amêndoas do cupuaçuzeiro vêm ganhando destaque na indústria farmacêutica, cosmético e alimentícia, através da produção do cupulate, produto similar ao chocolate do cacau (Genovese e Lannes, 2009).

O cultivo comercial da cultura teve início no estado do Pará, na década de 70 e, posteriormente, expandiu-se para todo o bioma amazônico (Alves et al., 2010). A crescente procura pelas amêndoas e sua polpa tem impulsionado o aumento da área plantada de cupuaçuzeiro na Amazônia e em outras regiões do Brasil, em decorrência da fácil adaptação com outras espécies em sistemas agroflorestal (Alves et al., 2020a).

Os estudos com a cultura estão voltados ao aumento da produção e resistência a principal doença que reduz a produção de frutos da cultura, a vassoura-de-bruxa, causada pelo fungo *Moniliophthora perniciosa* Stahel Aime e Phillips-Mora (Alves et al 2020b). Entretanto os estudos com nutrição da cultura ainda são poucos desenvolvidos, principalmente, referente aos estudos básicos de folha diagnóstica. No entanto, o monitoramento nutricional através da diagnose foliar é mais utilizado, por ser, a folha, o órgão que melhor reflete o estado nutricional das plantas (Malavolta, 2006), uma vez que, nas folhas ocorrem as atividades fisiológicas e, em geral, refletem melhor estado nutricional do que qualquer outro órgão das plantas (Prado e Rozane, 2020).

Por isso, a análise do tecido foliar é uma das maneiras de monitorar se o manejo adotado no solo, seja pela calagem ou adubação, está refletindo os teores nutricionais desejados nas plantas. Nesse sentido, o uso adequado da análise de



folhas requer a compreensão das relações entre o crescimento vegetal, ou a produtividade da cultura e a concentração de nutrientes nas amostras de tecido foliar da planta (Taiz et al., 2017).

Nos estudos em que avaliam o estado nutricional do cupuaçuzeiro, os autores utilizam a terceira folha a partir do ápice, à mesma da cultura do cacau. No entanto, a diagnose foliar de uma cultura depende de vários fatores, dentre os quais, genótipo (Pessanha et al., 2011) e a posição da folha no ramo (Freitas et al., 2007; Lima et al., 2007; Lima et al., 2011; Lima Filho, 2020).

O conhecimento dos teores nutricionais da posição das folhas no ramo é fundamental para fazer a padronização, uma vez que, a distribuição dos nutrientes nas partes da planta não é homogênea e pode variar de uma folha para outra no mesmo ramo (Freitas et al., 2007), por isso a amostragem da folha adequada é considerada um dos fatores importantes na diagnose foliar (Prado e Natale, 2004).

Figueiredo et al. (2000) avaliaram a melhor época para amostrar as folhas de cupuaçuzeiro para a diagnose foliar e sugeriram que as folhas devem ser coletadas no final da safra e início na renovação foliar, porém em relação a melhor folha na posição do ramo, os autores utilizaram apenas três amostras de folhas (3<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup> e 9<sup>a</sup>) e indicam as folhas intermediárias (6<sup>a</sup>). Porém, mais estudos devem ser realizados para definir, o par ou pares de folhas, que melhor representam o estado nutricional das plantas de cupuaçuzeiro, nesse sentido, partiu do pressuposto se havia diferenças em termos de teores de nutrientes nos pares de folhas nas diferentes posições no ramo.

Dessa forma, objetivou-se avaliar os teores de nutrientes nos pares de folhas em relação à posição no ramo, para definir quais pares de folhas são representativas para a diagnose foliar na cultura do cupuaçuzeiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da base física da Embrapa Amazônia Oriental, no município Tomé-Açu (02°26'08" S; 48°09'08" W), Pará. A região apresenta umidade relativa do ar em torno de 85%, precipitação média anual

de 2.300 mm e temperatura média de 26°C, tendo um clima mesotérmico e úmido e sendo classificado no tipo Ami, segundo a classificação de Köppen (Bolfe e Batistella, 2011). O solo da área é do tipo Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2016). Realizou-se a coleta das amostras de solos nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm na projeção da copa das plantas de cupuaçuzeiro e foi determinada a fertilidade e a granulometria do solo, e os resultados estão descritos na tabela 1.

Tabela 1. Análise da química e granulométrica do solo nas profundidades de 0-20 e 20-40, na área de cultivo de cupuaçuzeiro

Prof.	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V	m	Areia	Silte	Argila
									total					
cm	água	mg dm <sup>-3</sup>			cmolc dm <sup>-3</sup>				%		g kg <sup>-1</sup>			
0-20	5,2	174	71	6	0,9	0,3	0,7	6,3	7,5	18,2	33,5	747	73	180
20-40	5,3	92	50	9	0,7	0,3	0,5	4,6	5,7	19,9	29,2	654	66	280

A área é um Sistema Agroflorestal (SAF) composto por 16 genótipos de cupuaçuzeiro com espaçamento 5m x 5m, bananeira (*Musa* sp) com 5m x 5m de espaçamento e taperebazeiro (*Spondias mombin* L.) com espaçamento de 30 x 30 m. Em dois lados da área do experimento foram plantadas mudas de Abiu (*Pouteria caimito* Radlk) e as outras laterais ficaram limitadas por uma capoeira.

Para a formação das mudas de cupuaçuzeiro, foi empregado porta-enxertos originados de sementes não selecionadas. E aos oito meses de idade, as mudas foram enxertadas pelo método da garfagem de topo de fenda cheia com os genótipos os 16 genótipos. É importante ressaltar que, anualmente a área recebe uma tonelada por hectare de calcário, 1,5 kg por planta de N, P, K da formulação 10, 28, 20, além de 50 g por planta de FTE BR 12 e mais 200g de KCl por planta.

Dentre os 16 genótipos, foi selecionado o Genótipo BRS Manacapuru, pois já vem sendo cultivado em áreas comerciais com produção de 15,2 frutos por planta. Desse genótipo foram amostradas 40 plantas e de cada planta coletou-se em 10 posições as folhas no ramo crescido a pleno sol, na região mediana da planta. Foram coletadas as folhas, nos quatro quadrantes (Norte, Sul, Leste e Oeste). Totalizando 400 amostras analisadas, sendo que cada amostra foi composta por 4 folhas. Faz-se importante, ressaltar que foi considerada como folha um, a primeira folha a partir do ápice, ou seja, a folha totalmente expandida, descartando sempre as brotações terminais.

As coletas foram realizadas no mês de julho de 2018, mês em que as plantas estavam no período de renovação foliar, fase esta, observada por Figueiredo et al. (2000) como a melhor época para amostrar folhas de cupuaçuzeiro para a diagnose foliar.

Após a coleta, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificadas e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, por 72h. Após a secagem, estas foram trituradas em moinhos de facas do tipo Wiley e armazenadas em frascos hermeticamente fechados e identificados. Posteriormente, determinados os teores de macro e micronutrientes.

Para a determinação dos teores de nitrogênio (N), as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica pelo método colorimétrico de Nessler (Jackson, 1965) e os demais nutrientes, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, ferro, manganês, zinco, molibdênio e níquel foram submetidos à digestão de ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>) concentrado e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) em sistema de digestão aberta e quantificados em espectrômetro de emissão atômica com fonte de indução de plasma acoplada, modelo ICPE-9000 da marca em Shimadzu®.

Os dados foram submetidos à análise de variância e a significância foi estimada pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Além disso, foram construídos gráficos boxplot (Bussab e Morettin, 2017) utilizando software estatístico R (R Core Team, 2014). O desvio padrão e coeficiente de variação dos nutrientes que apresentaram diferenças estatísticas entre os pares de folhas foram estimados a partir dos dados, com auxílio do Excel.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância (ANOVA), os teores de N, P, K, Ca, Mg, Fe e B apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as posições das folhas do ramo (Tabela 2), demonstrando variabilidade nos teores nutricionais nas diferentes posições das folhas no ramo das plantas de cupuaçuzeiro. Porém os teores foliares

dos micronutrientes, Mn, Mo, Ni e Zn não apresentaram variabilidade entre as posições das folhas no ramo (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo das análises de variância para os teores nutricionais dos macros e micronutrientes, tais como, nitrogênio (N), fósforo, (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), boro (B), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) das diferentes posições das folhas no ramo da cultura do cupuaçuzeiro no genótipo Manacapuru

Fonte de Variação	Quadrado Médio												
	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Mn	Mo	Ni	Zn
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>						
Posição das folhas no ramo	9	33,8*	0,3*	8,3*	7,7*	0,8*	0,03 <sup>ns</sup>	7,0*	579,0*	346,6 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	18,5 <sup>ns</sup>
Bloco	39	2,3	0,1	4,4	3,3	0,3	0,12	3,9	1107,2	11579,5	2,7	0,25	168,8
Erro	351	1,3	0,05	1,1	1,9	0,1	0,02	100,4	141,4	5073,3	0,2	0,02	31,5
Total	399												
CV (%)		7,3	14,4	16,4	19,1	25,3	9,3	18,9	17,6	24,7	34,9	60,9	25,9

ns não significativo, \*significativo em 5 % pelo teste de F. GL= grau de liberdade e CV= Coeficiente de variação.

Os teores de N, nas folhas, em função da posição no ramo foram decrescendo com a idade da folha, nesse sentido, a concentração de N na folha 1 foi de 17,0 g kg<sup>-1</sup> e na folha 10 o teor foi de 14,6 g kg<sup>-1</sup> (Figura 1 A). Esse decréscimo nos teores de nitrogênio era esperado, pois, esse nutriente é considerado móvel no floema das plantas, quando absorvido pelas raízes tende a ser translocado para as folhas mais novas (Marshner, 2012).

Dias et al. (2010) analisaram os teores nutricionais na terceira folha, a partir do ápice, de plantas de cupuaçuzeiro com idade de 5 e 18 anos, 5 e 11 anos e 12 a 18 anos e observaram que os teores de N variaram entre 14,2 g kg<sup>-1</sup> a 15 g kg<sup>-1</sup>. Nesse estudo os autores realizaram a interpretação da diagnose foliar pelo método Dris e descreveram essas populações de plantas como deficiente em nitrogênio, com base nos teores de N foliares do estudo de Costa (2006) na mesma folha amostrada de plantas de cupuaçuzeiro, entretanto o estudo foi realizado em diferentes tipos de solos da Amazônia central.

Nos estudos de diagnóstico do estado nutricional das plantas, a folha coletada é de extrema importância, como observado no presente estudo onde os teores foliares de N variaram com a posição das folhas no ramo, com média da terceira folha a partir do ápice de 16,6 g kg<sup>-1</sup>. Essa média é similar aos teores de N

observados por Costa (2006), porém, apresentando muita variação entre os dados com valores máximos de 18 g kg<sup>-1</sup> e mínimos de 14,4 g kg<sup>-1</sup> (Figura 1A).

Para os teores foliares de P e K, nas diferentes folhas no ramo, observaram-se também maiores teores nas folhas novas e decrescendo com a idade da folha. Para teores de P os valores máximos foram observados na primeira folha (1,7 g kg<sup>-1</sup>) e mínimo na folha 9 (1,4 g kg<sup>-1</sup>) (Figura 1B). Os teores foliares de K nas folhas foram de 7,5 g kg<sup>-1</sup> na folha da região apical do ramo (folha 1) e 6,1 g kg<sup>-1</sup> nas folhas 9 e 10 (Figura 1C). Esses resultados eram esperados, pois, esses nutrientes, assim como o N são considerados móveis nas plantas, logo tendem a ser mais elevados nas folhas jovens em relação às folhas velhas (Marshner, 2012). Os teores foliares de P e K do presente estudo foram superiores ao observados por Dias et al. (2010) e por Costa (2006) na terceira folha coletada de plantas de cupuaçuzeiro.

Wadt et al. (2012) avaliaram o estado nutricional da cultura do cupuaçuzeiro, utilizando a terceira folha e o método DRIS, e sugeriram os valores preliminares de níveis críticos para cultura de 1,04 g kg<sup>-1</sup> a 5,37 g kg<sup>-1</sup> para P e K, respectivamente. No presente estudo, em todas as folhas analisados, os teores de P e K foliares foram superiores aos relatados pelos autores.

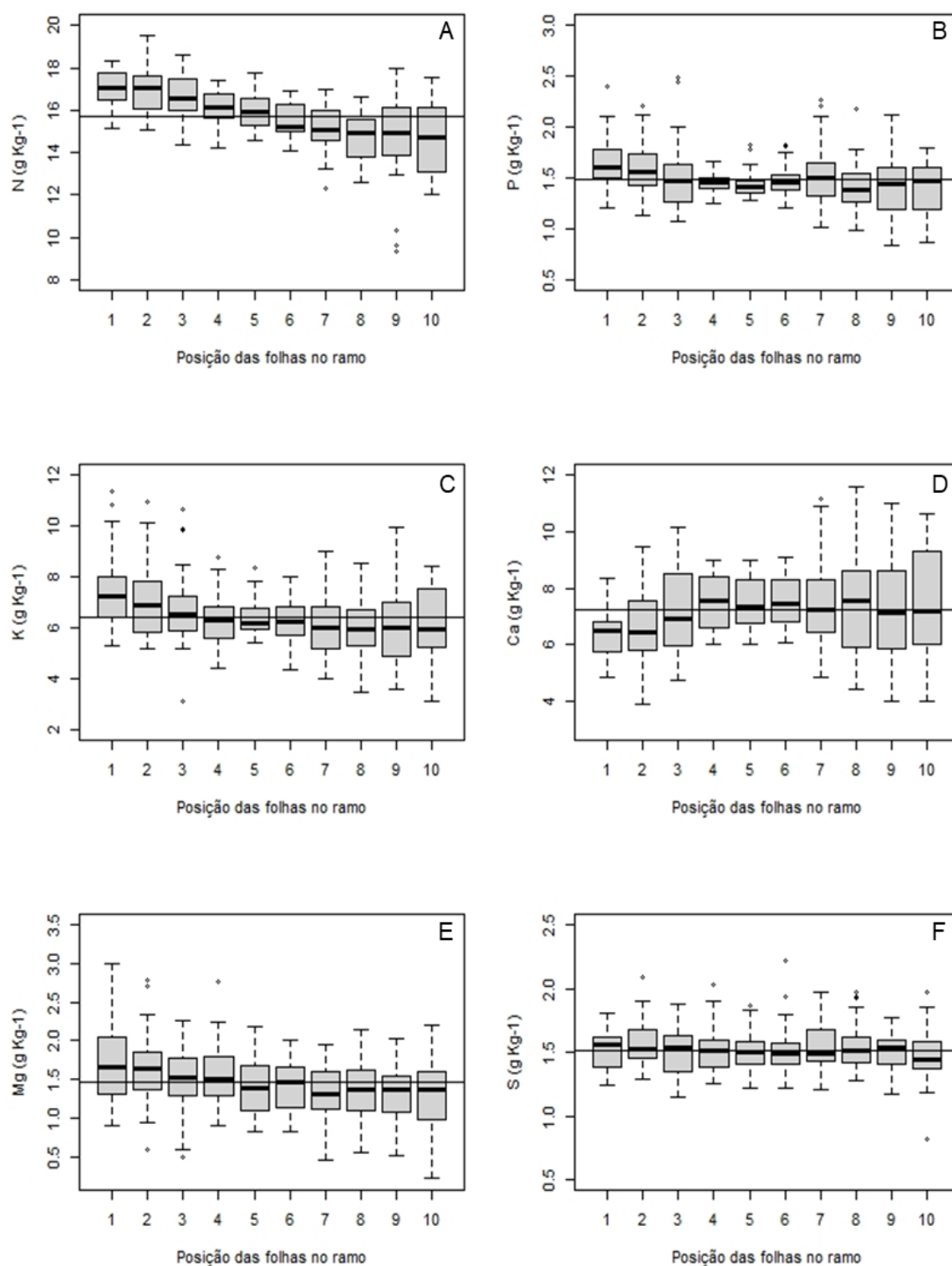


Figura 1. Distribuição dos teores dos macronutrientes: A- nitrogênio (N), B- fósforo (P), C- potássio (K), D – cálcio (Ca), E- magnésio (Mg) e F- enxofre (S) em diferentes posições das folhas no ramo em plantas do clone BRS Manacapuru.

Verificou-se incremento nos teores de Ca com a idade da folha no ramo das plantas de cupuaçuzeiro (Figura 1 D). Os teores foliares de cálcio variaram de 6,35 g kg<sup>-1</sup> (folha 1) a 7,63 g kg<sup>-1</sup> (folha 7). Esses resultados são explicados pela imobilidade desse nutriente no floema das plantas e com tendência de maior acumulação nas folhas velhas, sendo que, em situações de deficiência de cálcio, os sintomas se manifestam nas folhas novas das plantas (Malavolta, 2006; Fontes, 2016). Os teores foliares de Ca do presente estudo estão de acordo com os observados por Costa, (2006) e inferiores aos observados por Dias et al. (2010) na terceira folha a partir do ápice.

Os teores foliares de magnésio decresceram com a idade da folha no ramo das plantas de cupuaçuzeiro (Figura 1E). O máximo teor desse nutriente foi observado na folha 1 (1,7 g kg<sup>-1</sup>) e o mínimo na folha 7 (1,3 g kg<sup>-1</sup>). Wadt et al. (2012) analisaram folhas de 153 pomares comerciais de cupuaçuzeiro, nestes pomares, as plantas estavam cultivadas em sistema de monocultivo (42 pomares) e policultivo (111 pomares) com idade entre 5 a 18 anos. Os autores amostraram a terceira folha a partir do ápice do ramo mediano da planta e compararam com os outros trabalhos realizados para a cultura e observaram que, os teores igual ou inferior a 1,9 g kg<sup>-1</sup> são considerados críticos para a cultura, dessa forma, os teores foliares de magnésio nas plantas utilizadas no presente estudo seriam considerados críticos. Todavia, observa-se que, os teores de Mg no terceiro par de folhas apresentaram grande variabilidade, com teor mínimo de 0,5 g kg<sup>-1</sup> e máximos de 2,27 g kg<sup>-1</sup> de magnésio (Figura 1 E). Logo, pelo fato dessa variabilidade nessa folha, a terceira folha não deveria ser considerada diagnóstica para a cultura.

Para os teores de enxofre não foram observadas diferenças significativas entre médias analisadas. A concentração desse nutriente no tecido foliar variou de 1,5 g kg<sup>-1</sup> a 1,6 g kg<sup>-1</sup> entre as folhas no ramo das plantas de cupuaçuzeiro (Figura 1F). A baixa variabilidade do enxofre no tecido foliar do presente estudo indica que, qualquer folha poderia ser usada para avaliar o teor desse nutriente na cultura do cupuaçuzeiro.

Embora os estudos em que avaliaram o estado nutricional da cultura do cupuaçuzeiro, utilizem a terceira folha a partir do ápice no ramo. No presente estudo, os teores de N, P e K, Ca e Mg demonstram que os dados obtidos nos nas folhas 4, 5 e 6 para esses nutrientes foram mais homogêneos, pois apresentaram valores baixos de desvio padrão e coeficiente de variação em relação às outras

posições das folhas no ramo (Tabela 3). Para esses nutrientes analisados a folha 3 apresentaram alta variabilidade nos dados, com valores altos de desvio padrão e coeficiente de variação. A escolha das folhas 4, 5 e 6 baseadas no uso do menor coeficiente de variação, possibilita inferir que a amostragem feita nessas posições proporciona menor aleatoriedade no teor nutricional (Wadt e Silva, 2016) e, portanto, maior possibilidade de refletir adequadamente o estado nutricional da cultura do cupuaçuzeiro, sendo a mais indicada para a diagnose nutricional.

Tabela 3. Desvios-padrão (s) para os teores de N, P e K, Ca, Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ ), Fe e B ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e os respectivos coeficientes de variação (CV), em relação a cada posição das folhas no ramo do genótipo Manacapuru

Nutriente		Posição das folhas no ramo									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	s	0,8	1,0	1,1	0,8	0,8	0,8	1,1	1,2	2,0	1,7
	CV %	4,9	6,1	6,5	4,8	5,0	5,2	7,2	7,9	13,4	11,7
P	s	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3
	CV(%)	15,9	16,0	21,2	5,7	8,4	9,2	18,9	16,9	20,3	18,4
K	s	1,4	1,3	1,4	0,9	0,7	0,8	1,3	1,1	1,4	1,5
	CV(%)	18,1	18,9	20,5	14,2	10,7	13,2	21,1	18,5	23,5	23,5
Ca	s	0,8	1,4	1,5	0,9	0,9	1,0	1,7	1,8	1,9	2,0
	CV(%)	12,2	20,7	20,3	12,2	12,6	11,3	22,2	24,2	26,1	26,2
Mg	s	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5
	CV(%)	26,9	27,7	27,2	23,1	24,8	23,8	28,6	27,2	27,5	33,2
Fe	s	10,4	7,4	7,7	11,5	11,1	10,9	10,8	14,4	13,2	14,5
	CV(%)	23,2	15,7	15,6	21,6	20,2	20,0	19,8	25,8	23,4	25,1
B	s	14,6	10,6	13,7	12,9	11,3	16,3	13,1	17,7	17,9	22,4
	CV(%)	24,5	16,8	20,8	19,2	16,5	23,8	18,9	24,7	25,2	31,9

Entre os micronutrientes analisados nas folhas no ramo do cupuaçuzeiro, apenas o ferro e o boro apresentaram diferenças significativas (Tabela 2). Sendo a maior concentração de boro observada na folha 8 ( $71,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e a menor concentração observado na folha 1 ( $51,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ). A mobilidade do boro nas plantas é bem questionada, em algumas plantas como observado no presente estudo, a maior concentração desse nutriente pode ser observada nas folhas velhas, refletindo, nesse caso, a baixa mobilidade do boro na espécie em estudo.



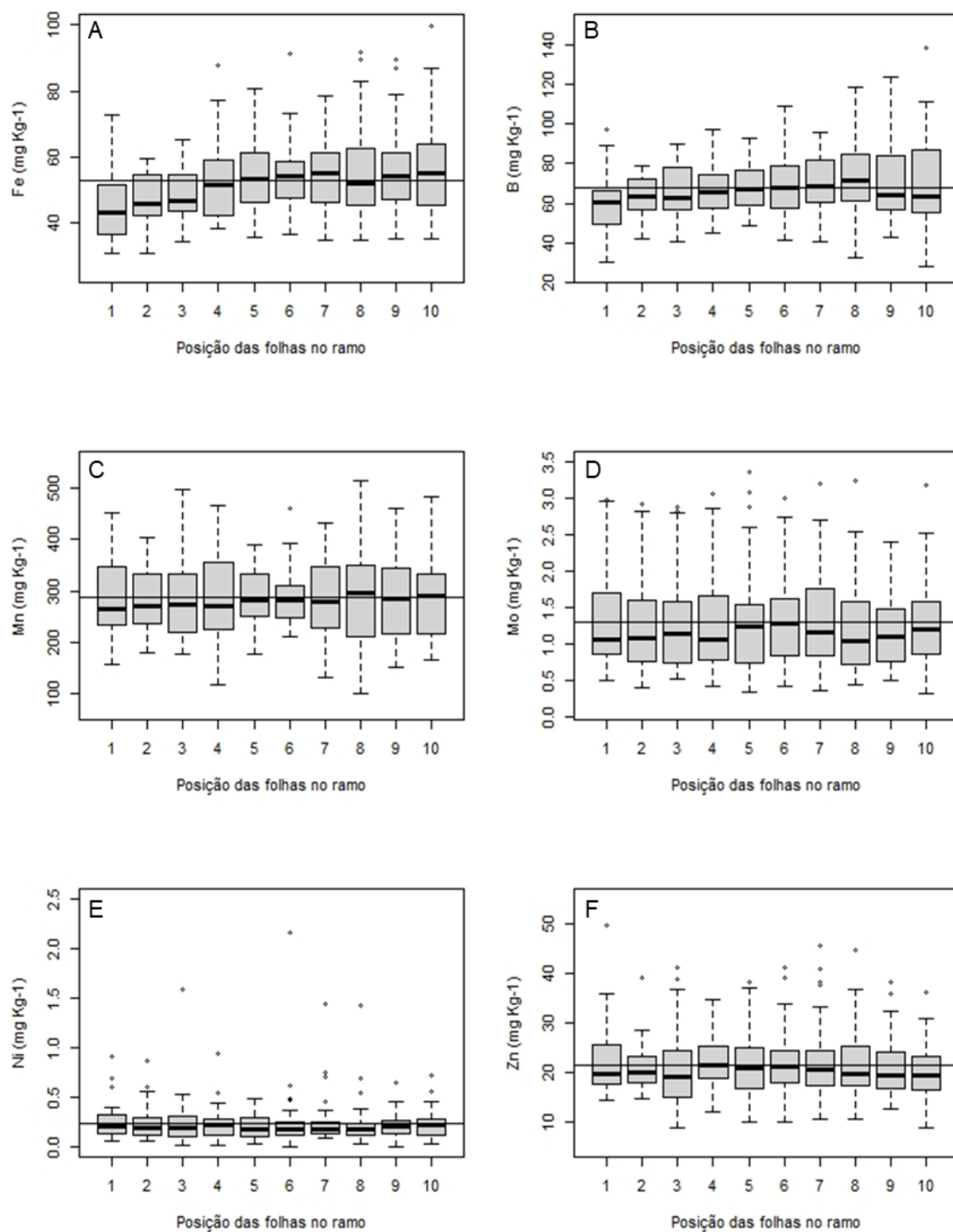


Figura 2. Distribuição dos teores de micronutrientes: A- ferro (Fe), B- boro (B), C- manganês (Mn), D- molibdênio (Mo), E- níquel (Ni) e F- zinco (Zn) em diferentes posições das folhas no ramo em plantas de cupuaçuzeiro.

O mesmo ocorreu para o ferro em que, o máximo teor foliar foi observado na décima folha ( $57,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e menores teores na primeira folha ( $44,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ), ou seja, os teores foliares foram crescendo com a idade da folha no ramo. Por outro lado, com exceção das folhas 2 e 3, as demais folhas no ramo apresentaram alta dispersão nos dados (Figura 2) com presença de outliers, principalmente nas folhas 4, 5, 8, 9 e 10.

Nesse estudo, os teores foliares de Fe estão abaixo dos observados por Dias et al. (2010) em que monitoraram no município de Porto Velho, RO, 153 pomares comerciais de cupuaçuzeiro, sendo 42 cultivados em monocultivo e 111 cultivados em SAFs, na região mediana das plantas coletaram a terceira folha e nessas os teores de Fe variaram de  $78,9 \text{ mg kg}^{-1}$  a  $85,4 \text{ mg kg}^{-1}$ . Wadt et al. (2012) observaram na terceira folha, valor crítico ( $70,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) desse nutriente para a cultura. Entretanto, Costa (2006) observaram teores de Fe variando de  $68,9$  a  $116,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , na mesma folha.

Os demais micronutrientes analisados (Mn, Mo, Ni e Zn) não apresentaram diferenças estatísticas entre nas folhas analisados (Tabela 2). Os teores foliares desses nutrientes apresentaram elevada dispersão dos dados, identificados pela presença de outliers, principalmente para Mo, Ni e Zn (Figura 2). De forma geral, os teores foliares de Mo e Ni variaram de  $1,22 \text{ mg kg}^{-1}$  a  $1,32 \text{ mg kg}^{-1}$  e de  $0,21 \text{ mg kg}^{-1}$  a  $0,25 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente nas posições das folhas no ramo de cupuaçuzeiro.

Os teores de manganês nas folhas de cupuaçuzeiro variaram de  $282,5 \text{ mg kg}^{-1}$  a  $291,7 \text{ mg kg}^{-1}$  e de zinco a variação foi de  $20,5 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $22,7 \text{ mg kg}^{-1}$ . Os teores foliares desses dois últimos nutrientes no presente estudo ficaram acima dos observados por Wadt et al. (2012) com teores foliares de Mn e Zn,  $139,5 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $16,8 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente considerados níveis críticos preliminares da cultura do cupuaçuzeiro.

Levando em consideração que os teores foliares de Mn, Mo, Ni e Zn foram similares entre os pares de folhas no ramo da cultura, esses nutrientes não seriam o limitante no que se refere à escolha de uma folha a ser amostrada. Portanto, considerando esses micronutrientes, qualquer folha no ramo poderia ser amostrada para avaliação dos teores foliares para Mn, Mo, Ni e Zn.

## CONCLUSÃO

Os padrões de diagnósticos nutricionais foliares do genótipo Manacapuru indicam que as folhas 4, 5 e 6 seriam as mais representativas para a diagnose foliar e pode ser utilizada como referência para amostragem foliar para os macronutrientes.

No geral, os micronutrientes têm baixa variabilidade entre as posições das folhas no ramo da cultura, podendo, dessa forma, qualquer par de folhas ser amostrado para quantificar os teores nutricionais dos micronutrientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, R.M., Chaves S.F.S., Bastos A.J.R. (2020a) Viability of the use of African mahogany with cupuassu tree in agroforestry system (AFS). *Revista Árvore* 44:1-10.
- Alves, R.M., Chaves, S.D.S., Pedroza Neto, J.L., dos Santos, T. G. (2020b) Selection of triple-cross *Theobroma grandiflorum* genotypes, aiming at fruit production and resistance to *Moniliophthora perniciosa*. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 15:1-9.
- Alves, R.M., Resende, M.D.V., Bandeira, B.D.S., Pinheiro, T.M., Farias, D.C.R. (2010) Avaliação e seleção de progênies de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), em Belém, Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32:204-212.
- Bolfe, E.L., Batistella, M. (2011) Análise florística e estrutural de sistemas silviagrícolas em Tomé-Açu, Pará. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46:1139-1147.
- Bussab, W.O., Morettin, P.A. (2017) *Estatística Básica*, 9 ed. São Paulo, Saraiva, 576p.
- Costa, E.L. (2006) *Exportação de nutrientes em frutos de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) em três solos da Amazônia Central*. Tese (Mestrado em Biologia

- Tropical e Recursos Naturais) - Manaus, AM, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 39p.
- Cuatrecasas, J. (1964) Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Smithsonian Institution*, 35:375-614.
- Dias, J.R.M., Perez, D.V., Silva, L.M.D., Lemos, C.D.O., Wadt, P.G.S. (2010) Normas DRIS para cupuaçuzeiro cultivado em monocultivo e em sistemas agroflorestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45:64-71.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2016) Mapas de Solos e de Aptidão Agrícola de Áreas Alteradas do Pará. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 19p.
- Ferreira, M.D.G.R., Rocha, R.B., Gonçalves, E.P., Alves, E.U., & Ribeiro, G.D. (2009) Influência do substrato no crescimento de mudas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum). *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31: 677-681.
- Figueredo, N. N., de Macêdo, J. L. V., e Cravo, M. D. S. (2000) Avaliação do estado nutricional do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.) em um sistema agroflorestal na Amazônia Central. Anais do Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, Manaus, v.3, p.48-50.
- Fontes, P.C.R. (ed.) (2016) *Nutrição Mineral de Plantas: anamnese e diagnóstico*. Viçosa, Editora UFV, 315p.
- Franklin, B., Nascimento, F.D.C.A. (2020) Plants for the future: data compilation of nutritional composition of guava-boi, buriti, cupuaçu, murici and peach palm. *Brazilian Journal of Development*, 6:10174-10189.
- Freitas, M.S.M., Monnerat, P.H., Vieira, I.J.C., Carvalho, A.J.C.D. (2007) Flavonoides e composição mineral de folhas de maracujazeiro amarelo em função da posição da folha no ramo. *Ciência Rural*, 37:1634-1639.
- Genovese, M.I., Lannes, S.C.S. (2009) Comparison of total phenolic content and antiradical capacity of powders and "chocolates" from cocoa and cupuaçu. *Food Science and Technology*, 29:810-814.
- Jackson, M.L. (1965) Soil chemical analysis. Prentice Hall, 498p.
- Lima Filho, O. F. (2020) Indicação de folha índice para diagnose foliar em sorgo-sacarino. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, 9p.
- Lima, R.L.S., Ferreira, G.B., Weber, O.B., Cazetta, J.O. (2007) Diagnose foliar da gravioleira (*Annona muricata* L.): efeito da posição de ramos e folhas. *Ciência e Agrotecnologia*, 31:1320-1325.

- Lima, R.L.S., Severino, L.S., Cazetta, J.O., Azevedo, C.A.V., Sofiatti, V. Arriel, N.H.C. (2011) Posição da folha e estágio fenológico do ramo para análise foliar do pinhão manso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15:1068-1072.
- Malavolta, E. (2006) *Manual de nutrição mineral de plantas*. Piracicaba: Ceres, 638p.
- Marschner, P. (ed.) (2012) *Mineral nutrition of higher plants*. 3th ed. London: Academic Press, 651p.
- Pessanha, P.G., Viana, A.P., Carvalho, A.J.C., Oliviera, J.G. (2011) Nutrientes minerais no limbo foliar de genótipos de videira cultivados no Norte Fluminense. *Revista Caatinga*, 24:33-39.
- Prado, R.M., Natale, W. (2004) Leaf sampling in carambola trees. *Fruits*, 59:281-289.
- Prado, R.M., Rozane, D. E. (2020) Leaf analysis as diagnostic tool for balanced fertilization in tropical fruits. In: Srivastava, AK., Chengxiao, H. (eds) *Fruit Crops*, p. 131-143.
- Pugliese, A.G., Tomas-Barberan, F.A., Truchado P. Genovese, M.I. (2013) Flavonoids, proanthocyanidins, vitamin C, and antioxidant activity of *Theobroma grandiflorum* (Cupuassu) pulp and seeds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61:2720-2728.
- R Core Team (2014) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Available from URL. <http://www.r-project.org/>.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., Murphy, A. (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed, 858p.
- Team, R. C. (2016) R: A language and environment for statistical computing. *Foundation for Statistical Computing*.
- Wadt, P.G.S., Dias, J.R.M., Perez, D.V., Lemos, C.D.O. (2012) Interpretação de índices DRIS para a cultura do cupuaçu. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:125-135.
- Wadt, P.G.S., Silva, L.M. (2016) Faixa de suficiência e definição da posição da folha na avaliação do estado nutricional de pimenta-longa. *Científica*, 44:431-438.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

O cupuçuzeiro é uma frutífera nativa da região Amazônica, muito apreciada pelo sabor e aroma de sua polpa, esta por sua vez, é usada na preparação de sucos, sorvetes, cremes, picolés e uma infinidade de doces. Para aumentar a produção e a resistência das plantas, as pesquisas de melhoramento genético com a cultura se intensificaram nos últimos anos e as plantas produziram mais, porém com o aumento da capacidade produtiva das plantas, a exigência nutricional também aumentou, tornando dessa forma os trabalhos com nutrição para a cultura essenciais, principalmente, os estudos básicos de folha diagnóstica, para então conhecer a real necessidade nutricional da cultura, através da diagnose foliar e também pela exportação dos nutrientes pelos frutos.

Dessa maneira, são apresentadas, nesta tese, informações científicas a respeito de caracterização física dos frutos e físico-química da polpa, além de informações de exportações de nutrientes pelos frutos de seis genótipos de cupuçuzeiro. E ainda a definição da folha diagnóstica e uma recomendação de adubação de reposição para a cultura do cupuçuzeiro.

A tese está dividida em três trabalhos. O primeiro estudo objetivou traçar o perfil de seis genótipos de cupuçuzeiro avaliando as características físicas do fruto e físico-químicas da polpa, através de análises uni e multivariadas pelo método de componentes principais, visando identificar os mais promissores para uso em programas de cruzamentos, bem como direcioná-los para nichos de mercado. O segundo estudo teve por objetivo, quantificar o acúmulo de macro e micronutrientes

nas diferentes partes do fruto e a exportação de nutrientes pela colheita de frutos frescos, de seis genótipos de cupuaçuzeiro, bem como, a recomendação de adubação de reposição para a cultura. No terceiro estudo, objetivou-se avaliar os teores de nutrientes nos pares de folhas em relação à posição no ramo, para definir quais pares de folhas são representativos para a diagnose foliar na cultura do cupuaçuzeiro.

Para os dois primeiros estudos, foram coletados frutos dos genótipos recomendados pela Embrapa Amazônia Oriental, no final de 2019, denominados de BRS Careca, BRS Fartura, BRS Duquesa, BRS curinga e BRS Golias (32, 42, 46, 61 e 64, respectivamente) eo genótipo 63, em fase final de melhoramento. Os genótipos foram oriundos de um experimento de competição de clones instalado na Base física da Embrapa Amazônia Oriental, localizada no município de Tomé-Açu (02°26'08" S; 48°09'08" W), no Nordeste do estado do Pará, Brasil. Para o terceiro estudo, foram amostradas 40 plantas do genótipo BRS Manacapuru e de cada uma coletou-se em 10 posições das folhas no ramo crescido a pleno sol, na região mediana da planta. Foram coletadas as folhas de cada posição no ramo, nos quatro quadrantes (Norte, Sul, Leste e Oeste). Totalizando 400 amostras analisadas, sendo que cada amostra foi composta por 4 folhas.

### **As principais conclusões:**

1. Pelas análises dos componentes principais, as características físicas dos frutos são mais determinantes no estabelecimento da variabilidade entre genótipos, que as variáveis físico-químicas da polpa.
2. Entre os genótipos analisados a ordem de acúmulo dos macronutrientes nas cascas, sementes e polpas foram:  $K > N > P > Mg > Ca > S$ ;  $N > K > P > Mg > S > Ca$  e  $K > N > P > S > Ca > Mg$ , respectivamente. E para os micronutrientes, decresceram na seguinte ordem:  $Zn > Mn > Fe > Cu > Mo > Ni$  (cascas);  $Zn > Fe > Cu > Mn > Ni > Mo$  (sementes e polpas).
3. A exportação dos nutrientes por toneladas de frutos frescos obedeceu a seguinte ordem para os macronutrientes ( $kg\ t^{-1}$ ): K (4,25), N (2,73), P (0,54), Mg (0,40), S (0,29), Ca (0,26) e para os micronutrientes ( $g\ t^{-1}$ ): Zn (6,24), Fe (4,97), Mn (3,46), Cu (2,45), Ni (0,18) e Mo (0,11).

4. A adubação de reposição por planta levando em consideração a exportação de nutrientes é de 382,2 g de N; 432,6 g de  $P_2O_5$ ; 592 g de  $K_2O$ ; 31,5 g de CaO; 67,7 g de MgO e 17g de FTE.
5. Os padrões de diagnósticos nutricionais foliares da cultura do cupuaçuzeiro indicam que as folhas 4, 5 e 6 seriam as mais representativas para a diagnose foliar e podem ser utilizadas como referência para amostragem foliar para os macronutrientes.
6. No geral, os micronutrientes têm baixa variabilidade entre as posições das folhas no ramo da cultura, podendo, dessa forma, qualquer folha ser amostrado para quantificar os teores nutricionais dos micronutrientes.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar Neto, P., Souza, R.A.G., Maracajá, P.B., Medeiros, A.C., Pimenta, T.A., Lima, T.S. (2026) Crescimento e absorção de macronutrientes na cultura da melancia no estado de Pernambuco. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. 11:17-25.
- Alcoforado, A.T., Pedrozo, C.A., Mayer, M.M., Lima-Primo, H.E. (2019) Repeatability of morpho-agronomic characters of *Theobroma grandiflorum* fruits. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41:1-7.
- Alexandre, R.S., Chagas, K., Marques, H.I.P., Costa, P.R., Cardoso Filho, J. (2015) Fruit characterization of cocoa clones in the coastal region of São Mateus, ES. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19:785–790.
- Alfaia, S.S., Ayres, M.I.C. (2004) Efeito de doses de nitrogênio, fósforo e potássio em duas cultivares de cupuaçu, com e sem semente, na região da Amazônia Central. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26:320-325.
- Alves, B.S.F., Pereira Junior, J.B., Carvalho, F.I.M., Dantas Filho, H.A., Dantas, K.G.F. (2019) Mineral Composition of Amazonian Fruits by Flame Atomic Absorption Spectrometry Using Multivariate Analysis, *Biological Trace Element Research*, 189:259–266.
- Alves, R.M., Chaves S.F.S., Bastos A.J.R. (2020a) Viability of the use of African mahogany with cupuassu tree in agroforestry system (AFS). *Revista Árvore* 44: 1-10.

- Alves, R.M., Chaves, S.D.S., Pedroza Neto, J.L., dos Santos, T. G. (2020b) Selection of triple-cross *Theobroma grandiflorum* genotypes, aiming at fruit production and resistance to *Moniliophthora perniciosa*. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 15: 1-9.
- Alves, R.M., Chaves, S.F.D.S. (2020) BRS Careca, BRS Fartura, BRS Duquesa, BRS Curinga, and BRS Golias: new cupuassu tree cultivars. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 20:1-5.
- Alves, R.M., Chaves, S.F.S., Oliveira, R.P.D., Pedroza Neto, J.L., Sebbenn, A. (2020b) Canopy replacement used in the evaluation of cupuassu tree genotypes in the state of Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42:1-11.
- Alves, R.M., Cruz, E.D. (2003) Cultivares de cupuaçuzeiro tolerante à vassoura-de-bruxa. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA recomendações técnicas. 4p.
- Alves, R.M., Ferreira, F.N. (2012) BRS Carimbó: Nova cultivar de cupuaçuzeiro da Embrapa Amazônia Oriental. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, 8p.
- Alves, R.M., Resende, M.D.V., Bandeira, B.D.S., Pinheiro, T.M., Farias, D.C.R. (2010) Avaliação e seleção de progênies de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), em Belém, Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32:204-212.
- Alves, R.M., Resende, M.D.V., Bandeira, B.S., Pinheiro, T.M., Farias, D.C.R. (2009) Evolução da vassoura-de-bruxa e avaliação da resistência em progênies de cupuaçuzeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31:1022-1032.
- Alves, R.M., Silva, C.R.S., Albuquerque, P.S.B., Santos, V.S. (2017) Phenotypic and genotypic characterization and compatibility among genotypes to select elite clones of cupuassu. *Acta Amazônica*. 47:175–184.
- Aquino, C.F., Salomão, L.C.C., Siqueira, D.L.D., Cecon, P.R., Ribeiro, S.M.R. (2014) Teores de minerais em polpas e cascas de frutos de cultivares de bananeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49:546-553.
- Araújo, A. C., Ramos, J. V., Fraife filho, G.A., Araújo, L. V., Midlej, R. R. (2017) A cultura do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) como alternativa de diversificação da região produtora de cacau da Bahia: um estudo de viabilidade financeira. *Anais do Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e sociologia Rural*, Londrina, v.45, p.1-11.
- Araújo, D.G., Carvalho, S.P. Alves, R.M. (2002) Divergência genética entre clones de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Willd ex Spreng Schum). *Ciência e Agrotecnologia*, 26:13-21.

- Association of Official Analytical Chemistry (2016) Official methods of analysis, 20th edn. AOAC international Rockville, MD, 3172p.
- Aular, J., Natale, W. (2013) Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, mangueira, bananeira e mamoeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35:1214-1231.
- Ayres, M.I.C., Alfaia, S.S. (2007) Calagem e adubação potássica na produção do cupuaçuzeiro em sistemas agroflorestais da Amazônia Ocidental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:957-963.
- Bojacá, A.F.C., García Muñoz, MC., Salamanca, A.M.C., Rojas, G.H.C., Tarazona-Díaz, M.P. (2019) Study of the physical and chemical changes during the maturation of three cocoa clones, EET8, CCN51, and ICS60. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99:5910–5917.
- Bolfe, E.L., Batistella, M. (2011) Análise florística e estrutural de sistemas silviagrícolas em Tomé-Açu, Pará. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46: 1139-1147.
- BRASIL (2018) Ministério da Agricultura e do Abastecimento - Padrões de Identidade e Qualidade de Suco e Polpa de Fruta, na forma desta Instrução Normativa (Instrução Normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018). Diário Oficial da União, Brasília, 19p.
- Bussab, W.O., Morettin, P.A. (2017) Estatística Básica, 9 ed. São Paulo, Saraiva, 576p.
- Cantarutti, R.B., Barros, N.F., Martinez, H.E.P., Novais, R.F. (2007) Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: Novais, R.F., Alvarez V.V.H., Barros, N.F., Fontes, R.L.F., Cantarutti, R.B., Neves, J.C.L. (Eds) *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, p. 769-850.
- Canuto, G.A.B., Xavier, A.A.O., Leandro, CN., Benassi, M.T. (2010) Caracterização físico-química de polpas de frutos da amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32:1196–1205.
- Cardoso, E.A., Costa, J.T.A., Soares, I., Silva, R.M., Aguiar, A.V.M. (2011) Exportação de nutrientes por frutos de goiabeira 'Paluma' em função da adubação mineral. *Agropecuária científica no semiárido*, 6:38-41.
- Chang, S.K., Alasalvar, C., Shahidi, F. (2018) Superfruits: phytochemicals, antioxidant efficacies, and health effects – A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Massachusetts, 59:1-25.

- Costa, A.G.V., Garcia-Diaz, D.F., Jimenez, P., Silva, P.I. (2013) Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red-black berries. *Journal of Functional Foods*, 5:539–549.
- Costa, E.L. (2006) *Exportação de nutrientes em frutos de cupuaçu (Theobroma grandiflorum) em três solos da Amazônia Central*. Tese (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) - Manaus, AM, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 39p.
- Costa, M.C., Maia, G.A., Souza filho, M.S.M., Figueiredo, R.W., Nassu, R.T., Monteiro, J.C.S. (2003) Conservação de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) por métodos combinados. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25:213-215.
- Costa, M.P., Monteiro, M.L.G., Frasao, B.S., Silva, V.L., Rodrigues, B.L., Chiappini, C.C., Conte-Junior, C.A. (2017) Consumer perception, health information, and instrumental parameters of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) goat milk yogurts. *Journal of dairy science*, 100:157-168.
- Costa, R.S., Pinheiro, W.B.S., Arruda, M.S.P., Costa, C.E.F., Converti, A., Costa, R.M.R., Silva Júnior, J.O.C. (2020) Thermoanalytical and phytochemical study of the cupuassu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) seed by-product in different processing stages. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1-10.
- Cravo, M.D.S., Souza, A. (1996) Exportação de nutrientes por fruto de cupuaçuzeiro. *Anais da XXII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas*, Manaus, v.22, p.632-633.
- Cuatrecasas, J. (1964) Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Smithsonian Institution*, 35: 375-614.
- Cunha, D.C. (2012) *Produção de biomassa, exportação de macronutrientes, estoque de carbono e análise econômica em cupuaçuzeiros*. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, Belém, 115p.
- Dembitsky, V.M., Poovarodom, S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Vearasilp, S., Trakhtenberg, S., Gorinstein, S. (2011) The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. *Food research international*, 44:1671-1701.
- Dias, J.R.M., Perez, D.V., Silva, L.M.D., Lemos, C.D.O., Wadt, P.G.S. (2010) Normas DRIS para cupuaçuzeiro cultivado em monocultivo e em sistemas agroflorestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45, 64-71.

- Dias, J.R.M., Wadt, P.G.S., Lemos, C.B., Delarmelinda, E.A., Solino, J.S., Tavella, L.B., (2010) Relações nutricionais log- transformadas para avaliação nutricional de cupuaçuzeiro comerciais. *Acta Amazônia*, 40:37-42.
- Dutra, G.A.P., Carvalho, A.J.C., Freitas, M.S.M., dos Santos, P.C., Freitas, J.A.A. (2015) Estimativa da exportação de nutrientes pelos frutos do maracujazeiro doce em função da aplicação de ureia e de esterco bovino. *Revista Ifes Ciência*, 1:5-17.
- Eisemberg, C.C., Reynolds, S.J., (2017) *An Introduction to Wildlife Conservation in the Brazilian Amazon: A View from Northern Australia*. *Brazilian Amazon Field Intensive*, Charles Darwin University, Darwin. 89p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2016) Mapas de Solos e de Aptidão Agrícola de Áreas Alteradas do Pará. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 19p.
- Epstain, M., Bloom, A.J. (2006) *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectiva*. Tradutora Maria Edna Tenório Nunes – Londrina: editora planta, 404p.
- Fachinello, J.C., Pasa, M.S., Schmitz, J.D., Betemps, D.L. (2012) Fruticultura Brasileira: História e desafios. In Prado, R. M. (Ed.). *Nutrição de Plantas Diagnose Foliar em Frutíferas*. Jaboticabal, p. 11-33.
- Fachinello, J.C., Pasa, M.S., Schmitz, J.D., Betemps, D.L. (2011) Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33:109-120.
- Fearnside, P.M. (2013) Climate Change as a Threat to Brazil's Amazon Forest. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*,4:1-12.
- Ferreira, E.B., Cavalcante, P.P., Nogueira, D.A. (2014) ExpDesp: An R package for ANOVA and experimental Designs. *Applied Mathematics*, 5:2952-2958.
- Ferreira, M.G.R., Rocha, R.B., Gonçalves, E.P., Alves, E.U., Ribeiro, G.D. (2009) Influência do substrato no crescimento de mudas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.). *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31: 677-681.
- Ferreira, R.M.A., Aroucha, E.M.M., Souza, P.A., Queiroz, R.F., Pontes Filho, F.S.T. (2009) Point of harvest of acerola, for the industrial pulp production. *Revista Verde*, 4:13–16.
- Figueiredo, J.A., Lago, A.M.T., Mar, J.M., Silva, L.S., Sanches, E.A., Souza, T.P., Bezerra, J.A., Campelo, P.H., Botrel, D.A. Borges, S.V. (2020) Stability of camu-camu encapsulated with different prebiotic biopolymers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100:3471–3480.

- Figueredo, N. N., de Macêdo, J. L. V., e Cravo, M. D. S. (2000). Avaliação do estado nutricional do cupuacuzeiro (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.) em um sistema agroflorestal na Amazônia Central. *Anais do Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*, Manaus, v.3, p.48-50.
- Fontes, P.C.R. (ed.) (2016) *Nutrição Mineral de Plantas: anamnese e diagnóstico*. Viçosa, Editora UFV, 315p.
- Franklin, B., Nascimento, F.D.C.A. (2020) Plants for the future: data compilation of nutritional composition of guava-boi, burity, cupuaçu, murici and peach palm. *Brazilian Journal of Development*, 6:10174-10189.
- Freitas, M.S.M., Monnerat, P.H., Vieira, I.J.C., Carvalho, A.J.C.D. (2007) Flavonóides e composição mineral de folhas de maracujazeiro amarelo em função da posição da folha no ramo. *Ciência rural*, 37: 1634-1639.
- Gadelha, A.J.F., Rocha, C.O., Vieira, F.F., Ribeiro, G N. (2009) Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de abacaxi, acerola, cajá e caju. *Revista Caatinga*, 22:115-118.
- Genovese, M.I., Lannes, S.C.S. (2009) Comparison of total phenolic content and antiradical capacity of powders and "chocolates" from cocoa and cupuassu. *Food Science and Technology*, 29:810-814.
- Gerum, A.F. (2019) Fruticultura tropical: potenciais riscos e seus impactos. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 28p, disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1109012>.
- Gomes Júnior, G.A.G., Pereira, R.A., Sacramento, C.K., Souza Júnior, J.O. (2018) Extração e exportação de nutrientes em frutos de gravioleira. *Revista Ciência Agrícola*, 16:80-84.
- Gonçalves, A.L.S.S., Lajolo F.M., Genovese, M.I. (2010) Chemical composition and antioxidant/antidiabetic potential of brazilian native fruits and commercial frozen pulps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58:4666–4674.
- Hoffmann, R.B., Oliveira, F.H.T.D., Souza, A.P.D., Gheyi, H.R., Souza Júnior, R.F.D. (2010) Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32:268-275.
- Jackson, M.L. (ed) (1965) Soil chemical analysis, Prentice Hall, 498p.
- Kassambara, A., Mundt, F. (2016) 'Factoextra': Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. available in: <http://www.sthda.com/english/rpkgs/factoextra>. Acesso em 01 de julho de 2020.

- Lima Filho, O. F. (2020) Indicação de folha índice para diagnose foliar em sorgo-sacarino. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, 9p.
- Lima, R.D.L. S.D., Ferreira, G.B., Cazetta, J.O., Weber, O.B., Siqueira, D.L.D., Paiva, J.R.D. (2008) Exportação de nutrientes minerais por frutos de aceroleira colhidos em diferentes épocas do ano. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30:806-811.
- Lima, R.L.S., Ferreira, G.B., Weber, O.B., Cazetta, J.O. (2007) Diagnose foliar da gravioleira (*Annona muricata* L.): efeito da posição de ramos e folhas. *Ciência e Agrotecnologia*, 31: 1320-1325.
- Lima, R.L.S., Severino, L.S., Cazetta, J.O., Azevedo, C.A.V., Sofiatti, V. Arriel, N.H.C. (2011) Posição da folha e estágio fenológico do ramo para análise foliar do pinhão manso. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15: 1068-1072.
- Maciel, M.I.S., Enayde, M., Lima, V., Souza, K.A., Silva, W. (2010) Caracterização físico-química de frutos de genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30:865–869.
- Malavolta, E. (2006) *Manual de nutrição mineral de plantas*. Piracicaba: Ceres, 638p.
- Maldonado, I.R., Carvalho, P.G.B., Ferreira, N., Moulin, B.S.F. (2013) "Protocolo para determinação de açúcares redutores pelo método de Somogyi-Nelson." Embrapa Hortaliças, Brasília, 4p.
- Marschner, P. (ed.) (2012) *mineral nutrition of higher plants*. 3th ed. London: Academic Press, 651p.
- Martini, M.H., Tavares, D.D.Q. (2005) Reservas das sementes de sete espécies de *Theobroma*: revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 64: 10-19.
- Mattar, G. S., Moraes, C. C. D., Meletti, L. M. M., Purquerio, L. F. V. (2018) Accumulation and exportation of nutrients by yellow Passion fruit cv. IAC 275. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40:1-10.
- Mendes, R.F., Araújo, J.C., Andrade Neto, R.C., Araújo, J.M., Guilherme, J.P.M. (2019) Crescimento de mudas de maracujazeiro em substrato alternativo com fertilizante de liberação controlada. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 9:34-40.
- Mohidin, H., Hanafi, M.M., Rafii, Y.M., Abdullah, S.N.A., Idris, A.S., Man, S., Idris, J., Sahebi, M. (2015) Determination of optimum levels of nitrogen, phosphorus and potassium of oil palm seedlings in solution culture. *Bragantia*, 74:247-254.

- Natale, W., Coutinho, E.L.M., Boaretto, A.E., Banzatto, D.A. (1994) Influência da época de amostragem na composição química das folhas de goiabeira (*Psidium guajava* L.). *Revista de Agricultura*, 69:247-255.
- Natale, W., Rozane, D.E., Parent, L.E., Parent, S. E. (2012) Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34:1294-1306.
- Natale, W., Rozane, D.E., Medeiros Corrêa, M.C., Parent, L.E., Deus, J.A.L. (2020) Diagnosis and management of nutrient constraints in guava. In: Srivastava, AK., Chengxiao, H. (eds) *Fruit Crops*, p. 711–722.
- Negreiros, J.R.S., Araújo Neto, S.E., Álvarez, V.S., Lima, V.A., Oliveira, T.K. (2008) Caracterização de frutos de progênies de meios-irmãos de maracujazeiro-amarelo em Rio Branco – Acre, *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30:431-437.
- Pérez-Mora, W., Jorin-Novo, JV., Melgarejo, LM., (2018) Substantial equivalence analysis in fruits from three *Theobroma* species through chemical composition and protein profiling. *Food Chemistry*. 240:496–504.
- Pessanha, P.G., Viana, A.P., Carvalho, A.J.C., Oliviera, J.G. (2011) Nutrientes minerais no limbo foliar de genótipos de videira cultivados no Norte Fluminense. *Revista Caatinga*, 24:33-39.
- Prado, R.M. (2009) Nutrição Mineral de Frutíferas Tropicais. Disponível em [http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/culturas/nutricao mineraldefrutiferas\\_cbfv2009.pdf](http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/culturas/nutricao mineraldefrutiferas_cbfv2009.pdf).
- Prado, R.M., Natale, W. (2004). Leaf sampling in carambola trees. *Fruits*, 59:281-289.
- Prado, R.M., Rozane, D. E. (2020) Leaf analysis as diagnostic tool for balanced fertilization in tropical fruits. In: Srivastava, AK., Chengxiao, H. (eds) *Fruit Crops*, p. 131-143.
- Pugliese, A.G., Tomas-Barberan, F.A., Truchado P. Genovese, M.I. (2013) Flavonoids, proanthocyanidins, vitamin C, and antioxidant activity of *Theobroma grandiflorum* (Cupuassu) pulp and seeds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61: 2720-2728.
- R Core Team. (2014) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Available from URL. <http://www.r-project.org/>.
- Ramos, S., Carazzolle, M., Pereira, G., Delforno, T., Nascimento, M., Aleluia, T., Celeghini, R., Efraim, P. (2020) Influence of pulp on the microbial diversity during cupuassu fermentation. *International journal of food microbiology*, 318:1-14.



- Reetz, H.F. (2017) Fertilizantes e o seu uso eficiente. Tradução de Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: ANDA, 178p.
- Rogez, H., Buxant, R., Mignolet, E., Souza, J.N., Silva, E.M., Larondelle, Y. (2004) Chemical composition of the pulp of three typical Amazonian fruits: araçá-boi (*Eugenia stipitata*), bacuri (*Platonia insignis*) and cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). *European Food Research and Technology*, 218:380-384.
- Rozane, D.E., Natale, W. (2014) Calagem, adubação e nutrição mineral de anonáceas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36:166-175.
- Rufino, S.M., Alves, R.E., Brito, E.S.D., Pérez-jiménez, J., Saura-calixto, F., Mancini-filho, J. (2010) Bioactive compounds and antioxidante capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121:996 -1002.
- Salvador, J.O., Muraoka, T., Rosseto, R., Ribeiro, G.A. (1994) Sintomas de deficiências nutricionais em cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) cultivado em solução nutritiva. *Revista Scientia agrícola*, 51:407-414.
- Santos, E. R. (2018) *Produtividade e exportação de nutrientes por cacaueiros*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Ilhéus, BA, Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, 64p.
- Santos, E.H.F., Figueiredo Neto, A., Donzeli, V.P. (2016) Aspectos físico-químicos e microbiológicos de polpas de frutas comercializadas em Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). *Brazilian Journal of Food Technology*, 19:1-9.
- Santos, G.M., Maia, G.A., Sousa P.H.M., Figueredo, R.W., Costa, J.M.C. Fonseca, A.V.V. (2010) Antioxidant activity and correlations with bioactive components from commercial products of cupuaçu. *Ciência Rural*, 40:1636-1642.
- São José, A.R., Prado, N.B., Bomfim, M.P. (2014) Marcha de absorção de nutrientes em anonáceas. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2014, 36:176-183.
- Silva Junior, J.F., Sobrinho, R.J.A., França, S.K.S., Reis, I.M.S., Pereira, G.T. (2011) Alterações fisiológicas em cupuaçuzeiros sadios e infectados por vassoura-de-bruxa. *Nucleus*, 8:351-358.
- Silva, D.A.S. (2014) Extração de macronutrientes e avaliação bioquímica em progênies de Cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex. Spreng.) Schum). Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Belém, PA, 190p.

- Silva, D.F., Pegoraro, R.F. Maia, V.M., Kondo, M.K., Souza G.L.O.D., Mota, M.F.C. (2017) Volatilização de amônia do solo após doses de ureia com inibidores de urease e de nitrificação na cultura do abacaxi. *Revista Ceres* 64:327-335.
- Silva, J. O. (2009) *Produção e partição de biomassa e nutrientes e parametrização de um sistema para recomendação de N, P, K para cacauzeiros*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Ilhéus, BA, Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, 85p.
- Sousa, M.S.B, Vieira, L.M., Silva, M.J.M., Lima, A.D. (2011) Nutritional characterization and antioxidant compounds in pulp residues of tropical fruits. *Ciência e Agrotecnologia* 35:554–559.
- Sousa, Y.A. Borges, M.A., Viana, A.F.D.S., Dias, A.L., Sousa, J.J.V.D., Silva, B.A.D., Aguiar, F.S.D. (2020) Physicochemical and microbiological assessment of frozen fruit pulps marketed in Santarém-PA. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23:1–10.
- Souza Júnior, J.O., Menezes, A.A., Sodré, G.A., Gattward, J.N., Dantas, P.A.S., Cruz Neto, R.O. (2012) Diagnose Foliar na Cultura do Cacau. In: Prado, R. M. (ed.). *Nutrição de Plantas Diagnose Foliar em Frutíferas*. Jaboticabal, p. 443-476.
- Souza, A.G.C., Alves, R.M., Souza, M.G. (eds). (2017) *Theobroma grandiflorum*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), PROCISUR, 24p.
- Souza, H.A.D., Amorim, D.A.D., Rozane, D.E., Natale, W. (2017) Quantificação de nutrientes nos frutos de goiabeiras adubadas com subproduto da agroindústria processadora de goiabas. *Revista de Ciências Agrárias*, 40:80-90.
- Souza, V.R., Aniceto, A., Abreu, J.P., Montenegro, J., Boquimpani, B., Jesus, V.A., Campos, M.B.E., Marcellini, P.S., Silva, O.F., Cadena, R., Teodoro, A.J., (2020) Fruit-based drink sensory, physicochemical, and antioxidant properties in the Amazon region: Murici (*Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth and *verbascifolia* (L.) DC) and tapereba (*Spondia mombin*). *Food Science and Nutrition*, 8:2341–2347.
- Sucupira, N.R., Xerez, A.C.P., Sousa, P.H.M. (2012) Perdas vitamínicas durante o tratamento térmico de alimentos. *Journal of Health Sciences*, 14:121–128.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., Murphy, A. (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*, 6ª edição, Artmed, 858p.

- Venturieri, G.U. (1996) Estimativa da área foliar e do peso de folhas secas de plantas jovens de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (willd. ex spreng.) schum. - sterculiaceae) por métodos não destrutivos. *Acta Amazônica* 25:3-10.
- Viégas, I.J.M., Frazão, D.A.C., Botelho, S.M. (2020) Cupuaçuzeiro. In: Brasil, E., Cravo, M.D.S., Viégas, I.J.M (2020) *Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará*. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, p.351-352.
- Virgolin, L.B., Seixas, F.R.F., Janzantti, N.S. (2017) Composition, content of bioactive compounds, and antioxidant activity of fruit pulps from the Brazilian Amazon biome. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52:933-941.
- Wadt, P.G.S., Dias, J.R.M., Perez, D.V., Lemos, C.D.O. (2012) Interpretação de índices DRIS para a cultura do cupuaçu. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:125-135.
- Wadt, P.G.S., Silva, L.M. (2016) Faixa de suficiência e definição da posição da folha na avaliação do estado nutricional de pimenta-longa. *Científica*, 44:431-438.
- Yahia, E.M., Celis, M.E.M., Svendsen, M. (2017) The Contribution of Fruit and Vegetable Consumption to Human Health. In: Yaha, E.M. *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*, 2nd edition. John Wiley and Sons, p. 1 - 52.
- Zhang, W., Chen, X.X., Liu, Y.M., Liu, D.Y., Chen, X.P., Zou, C.Q. (2017) Zinc uptake by roots and accumulation in maize plants as affected by phosphorus application and arbuscular mycorrhizal colonization. *Plant and Soil*, 413:59-71.