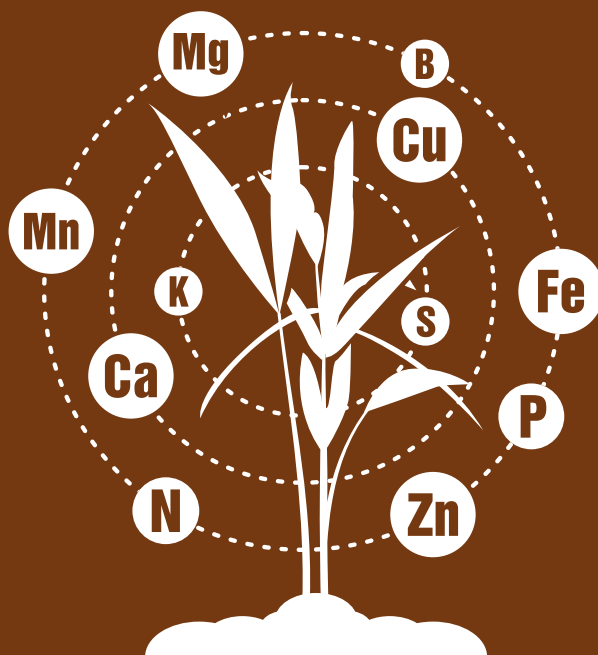


CAPÍTULO 8

NUTRIÇÃO MINERAL

*Edilson Carvalho Brasil
Gilson Sergio Bastos de Matos
Ismael de Jesus Matos Viégas
Diego Fabrício Santa Rosa Cardoso*



Introdução

Por meio da nutrição das plantas, é possível conhecer os elementos essenciais que atuam em todo o seu ciclo de vida, assim como de que forma os nutrientes são absorvidos, translocados e acumulados. Além disso, é possível entender as funções, as exigências e os distúrbios que os elementos podem causar quando se encontram deficientes ou em quantidades excessivas na matéria seca das plantas. Esses pontos são fundamentais para o ordenamento nutricional das plantas, a fim de estabelecer recomendações de adubação que sejam precisas e consistentes.

As plantas superiores necessitam de energia solar, água e elementos químicos para o pleno desenvolvimento. Os elementos químicos retirados da solução do solo fazem parte de metabólitos e de não metabólitos, bem como de ativadores enzimáticos, atuando em diversas funções nas plantas. Embora requeridos em pequenas quantidades, são de fundamental importância para o desempenho das principais funções das células vegetais.

Um elemento químico para ser considerado essencial à planta deve satisfazer os critérios de essencialidade. Então, os elementos essenciais, denominados nutrientes, são aqueles que fazem parte de uma reação, molécula, composto ou constituinte da planta, podendo participar diretamente do seu metabolismo, sem o qual o vegetal não completa o seu ciclo de vida.

De acordo com as quantidades exigidas pelas plantas, os nutrientes são classificados como macronutrientes [nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre(S)] e micronutrientes [zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), cloro (Cl), molibdênio (Mo) e níquel (Ni)]. Há outros elementos que são classificados como benéficos para o desenvolvimento de algumas plantas específicas, como: sódio (Na), selênio (Se), cobalto (Co) e silício (Si).

Na natureza, os nutrientes ocorrem em diversas formas químicas. No entanto, as plantas somente absorvem os nutrientes nas

formas apresentadas na Tabela 8.1 e devem ser fornecidos em quantidades adequadas para que as plantas realizem seus processos de germinação, crescimento, floração, frutificação e produção.

Tabela 8.1. Formas absorvidas dos nutrientes e suas concentrações na matéria seca das plantas.

Nutriente	Símbolo químico	Formas absorvidas pela planta	Concentração na matéria seca
Carbono	C	CO ₂	450 g/kg
Oxigênio	O	O ₂	450 g/kg
Hidrogênio	H	H ⁺	60 g/kg
Nitrogênio	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	15 g/kg
Potássio	K	K ⁺	10 g/kg
Cálcio	Ca	Ca ⁺⁺	5 g/kg
Fósforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ⁻	2 g/kg
Magnésio	Mg	Mg ⁺⁺	2 g/kg
Enxofre	S	SO ₄ ⁻	1 g/kg
Cloro	Cl	Cl ⁻	100 mg/kg
Manganês	Mn	Mn ⁺⁺	50 mg/kg
Boro	B	H ₃ BO ₃ , H ₄ BO ₄ ⁻	20 mg/kg
Zinco	Zn	Zn ⁺⁺	20 mg/kg
Ferro	Fe	Fe ⁺⁺	10 mg/kg
Cobre	Cu	Cu ⁺⁺	6 mg/kg
Níquel	Ni	Ni ⁺⁺	3 mg/kg
Molibdênio	Mo	MoO ₄ ⁻	0,1 mg/kg

Fonte: Adaptado de Dechen e Nachtigall (2006).

A concentração do nutriente na matéria seca das plantas permite somente a sua classificação em macro ou micronutriente, não definindo sua importância relativa. Isso é evidenciado pelo fato de os micronutrientes possuírem o mesmo grau de importância para as plantas em relação aos macronutrientes, embora sejam exigidos em menores quantidades.

Neste capítulo, são abordados alguns aspectos gerais da nutrição mineral de plantas; as principais informações disponíveis sobre a nutrição mineral do açaieiro (*Euterpe oleracea* Mart.), envolvendo a extração/exportação de nutrientes em populações nativas e cultivadas e sua absorção em função da

idade das plantas, além da distribuição dos nutrientes nas diversas partes do açaizeiro. Em outros segmentos são apresentadas as deficiências nutricionais do açaizeiro por meio de imagens dos sintomas e suas descrições; o monitoramento do estado nutricional da cultura e as técnicas usadas para esse fim, como a diagnose foliar e suas etapas, bem como alguns critérios e ferramentas para a interpretação da análise química das folhas do açaizeiro.

Nutrição do açaizeiro

Acúmulo de matéria seca

O acúmulo de matéria seca em plantas de açaizeiro está diretamente relacionado ao estado nutricional da planta, uma vez que o fornecimento de nutrientes em quantidades adequadas é fundamental para o crescimento e o desenvolvimento dessa cultura, com reflexos diretos na produção de biomassa.

Os primeiros indicativos referentes à produção de matéria seca e aos aspectos nutricionais das plantas de açaizeiro da espécie *Euterpe oleracea* Mart. foram obtidos de um estudo sobre crescimento e nutrição mineral em áreas contendo plantas de 2 a 7 anos de idade, sob diferentes sistemas agroflorestais, no município de Tomé-Açu, PA (Cordeiro, 2011). De acordo com os resultados desse trabalho, durante todos os anos de avaliação, a maior parte da biomassa produzida pelo açaizeiro foi direcionada para a formação dos estipes, correspondendo a cerca de 71% da biomassa total da parte aérea da planta (Figura 8.1). Nos anos iniciais de desenvolvimento da planta (2º e 3º anos), as folhas apresentaram o segundo maior acúmulo de biomassa, que foi diminuindo à medida que a idade da planta aumentava. A biomassa das demais partes da planta apareceram em quantidades bastante inferiores. Aos 7 anos de idade, quando as plantas encontravam-se em plena fase produtiva, a distribuição de biomassa seca nos

diferentes componentes do açaizeiro ocorreu na seguinte ordem decrescente: estipe > folíolos > meristema > fruto > pecíolo + ráquis > flecha > engaço.

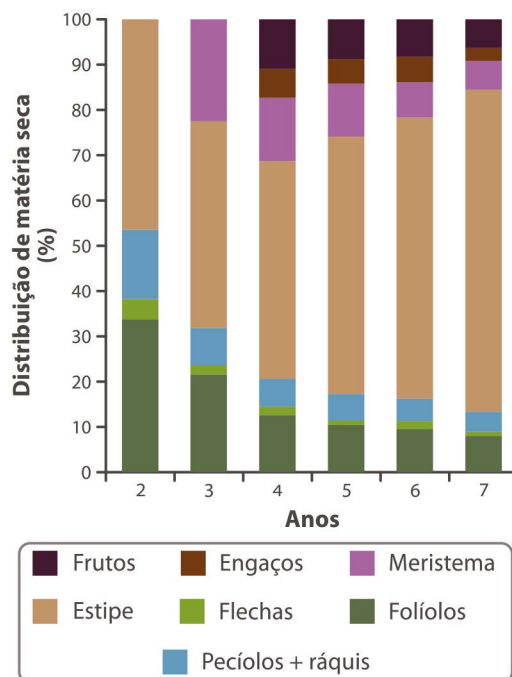


Figura 8.1. Distribuição de matéria seca nos diferentes componentes do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.), até o 7º ano de idade.

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2011).

A partir do modelo de produção de biomassa total do açaizeiro apresentado por Cordeiro (2011), procedeu-se a projeção do acúmulo até o 16º ano de idade (Figura 8.2). Essa informação é de suma importância, já que o processo de absorção de nutrientes do solo pela planta possui estreita relação com a produção de biomassa. Desse modo, observa-se uma crescente produção de biomassa total até o 7º ano, começando a fase de estabilização do 8º ao 15º ano de idade da planta. Após isso, percebe-se uma tendência de redução da produção, indicando a necessidade de o produtor proceder a renovação do açaizal.

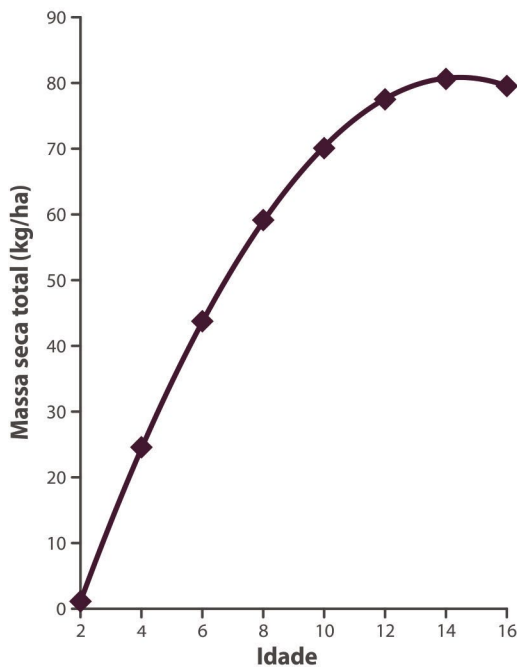


Figura 8.2. Estimativa do acúmulo de matéria seca total em função da idade do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.).

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2011).

Essas informações aplicam-se a açaizais que possuem condições similares de clima, solo, manejo nutricional e espaçamento da espécie utilizada.

Extração e exportação de nutrientes em populações nativas e em área cultivada

Em decorrência da carência de informações sobre a nutrição do açaizeiro, muito tem sido especulado sobre as demandas nutricionais da cultura, fazendo-se relação com o padrão nutricional de outras palmeiras cultivadas há mais tempo na região amazônica, como o coqueiro (*Cocos nucifera*) e a palma de óleo (*Elaeis guineensis*). Na busca por informações nutricionais para embasar as recomendações de adubação para a cultura, algumas indicações sobre as relações entre alguns macronutrientes (NPK) passaram a nortear formulações de adubação com base nessas culturas, especialmente a palma de óleo, colocando o potássio em quantidades relacionais duas a três vezes maiores que os demais nutrientes. Contudo, a partir das informações iniciais sobre as demandas nutricionais do açaizeiro, pôde-se demonstrar comparativamente que essa lógica não possui respaldo técnico. Comparando-se as quantidades de macronutrientes exportadas nos cachos das culturas da palma de óleo, do coqueiro e do açaizeiro (Tabela 8.2), pode-se verificar as grandes diferenças nas demandas nutricionais entre essas culturas, especialmente para nitrogênio e potássio.

Tabela 8.2. Estimativas das quantidades de macronutrientes exportadas nos cachos das culturas do dendê (*Elaeis guineensis*), coco (*Cocos nucifera*) e açaí (*Euterpe oleracea*).

Cultura	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
	(kg/t)					
Dendzeiro ⁽¹⁾	4,00	0,67	7,00	2,40	1,06	0,47
Coco híbrido (PB121) ⁽²⁾	16,00	2,23	29,40	1,34	2,23	1,34
Açaizeiro ⁽³⁾	10,00	1,11	5,57	3,69	1,45	1,43
Açaizeiro ⁽⁴⁾	9,36	0,91	5,56	2,99	0,70	–

⁽¹⁾Viégas (1993); ⁽²⁾Manciot et al. (1980); ⁽³⁾ Cordeiro (2011); ⁽⁴⁾ Adaptado de Brasil et al. (2008, 2009).

Traço (–): Informação não aplicável.

Esses resultados demonstram que, embora sejam espécies da família Arecaceae, os padrões das demandas nutricionais dessas culturas são

bem específicos e não deve ser consideradas como similares.

Em estudo conduzido em plantas de populações de açaizeiro nativo na região do Marajó, PA (municípios de São Sebastião da Boa Vista e Breves), e em plantas de área cultivada em terra firme do banco de germoplasma da Embrapa Amazônia Oriental, em Belém, PA, foram realizadas avaliações do estado nutricional para estabelecer a estimativa das quantidades de macronutrientes e micronutrientes extraídos das folhas, frutos e cachos e exportados nos frutos (Brasil et al., 2008, 2009).

As quantidades de nutrientes extraídas das diferentes partes amostradas não apresentaram variações expressivas entre as populações nativas nas áreas do Marajó (Tabela 8.3). No entanto, na área cultivada, observaram-se

algumas diferenças, em comparação com as plantas das áreas de populações nativas. As quantidades de nitrogênio, fósforo e cálcio foram bem superiores nas áreas de várzea. Essas variações podem ser devidas, principalmente, às adubações realizadas na área cultivada, bem como pela forma de manejo realizado nas plantas. As quantidades de nitrogênio extraídas por plantas da área cultivada foram cerca de 10 kg maiores, em relação às áreas nativas, enquanto as de fósforo e cálcio extraídas na área cultivada foram quase o dobro das quantidades das áreas de várzea. Em termos médios, as quantidades totais de nutrientes extraídos do solo pelas plantas de açaizeiro apresentaram um padrão com a seguinte sequência: $N > K > Ca > Mg > P$.

Tabela 8.3. Extração de macronutrientes em partes de plantas adultas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) (folhas, cachos e frutos) em fase de produção, oriundas de populações nativas e de área cultivada em terra firme.

Cultura	Área			Média
	Nativa ⁽¹⁾ (várzea)	Nativa ⁽²⁾ (várzea)	Cultivada ⁽³⁾ (terra firme)	
	(kg/t)			
Nitrogênio	53,63	58,11	68,91	60,22
Fósforo	3,97	3,39	7,23	4,86
Potássio	60,08	61,68	52,78	58,18
Cálcio	28,26	24,18	44,69	32,38
Magnésio	5,44	5,31	5,70	5,48

⁽¹⁾ São Sebastião da Boa Vista, PA; ⁽²⁾ Breves, PA; ⁽³⁾ área da Embrapa, Belém, PA.

Fonte: Brasil et al. (2008, 2009).

As quantidades de nutrientes exportadas pelos frutos de açaizeiro também variaram muito pouco entre as plantas das populações nativas (Tabela 8.4). No entanto, comparando-se as plantas das áreas de populações nativas com as de área cultivada, observa-se que há maiores variações para fósforo, potássio e cálcio. Em termos médios, as quantidades de nutrientes exportadas para cada tonelada de

frutos de açaizeiro seguiram um padrão com a seguinte sequência: $N > K > Ca > P > Mg$. Esses resultados demonstram que o nitrogênio é o nutriente mais exportado pelos frutos de açaizeiro e, portanto, deve ter uma atenção especial por ocasião das adubações, tanto na fase de desenvolvimento da planta, quanto durante a fase de produção da cultura.

Tabela 8.4. Exportação de macronutrientes por frutos de plantas adultas de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) em fase de produção oriundas de populações nativas e de área cultivada de terra firme.

Cultura	Área			Média
	Nativa ⁽¹⁾	Nativa ⁽²⁾	Cultivada ⁽³⁾	
	(várzea)	(várzea)	(terra firme)	
	(kg/t)			
Nitrogênio	10,23	9,84	8,02	9,36
Fósforo	0,83	0,78	1,11	0,91
Potássio	6,02	6,38	4,31	5,50
Cálcio	2,75	2,04	4,18	2,99
Magnésio	0,59	0,84	0,66	0,70

⁽¹⁾ São Sebastião da Boa Vista, PA; ⁽²⁾ Breves, PA; ⁽³⁾ área da Embrapa, Belém, PA.

Fonte: Adaptado de Brasil et al. (2008, 2009).

Absorção de nutrientes em função da idade

A nutrição de culturas perenes nem sempre deve ser considerada somente sob o ponto de vista da produção, em que a adubação é baseada nas quantidades de nutrientes exportadas para os frutos. Há necessidade de levar em consideração também as quantidades dos nutrientes exigidos para a manutenção da planta e para a produção de novos ramos, folhas e raízes. O conhecimento da marcha de absorção e do acúmulo de nutrientes em diferentes fases do desenvolvimento das culturas é fundamental, por permitir a determinação do período de cultivo em que os nutrientes são mais exigidos, além de fornecer informações de grande relevância

para o manejo da adubação. As necessidades nutricionais da cultura variam ao longo do seu ciclo, podendo se intensificar em determinados períodos de maior demanda nutricional.

Embora haja muita carência de informações sobre as exigências nutricionais da cultura do açazeiro, Cordeiro (2011) estudou a dinâmica das quantidades de nutrientes acumuladas e exportadas por plantas de açaí cultivadas sob diferentes sistemas agroflorestais, do 2º ao 7º ano de idade, no município de Tomé-Açu, PA. As quantidades totais anuais de nutrientes acumulados e exportados em plantas de açazeiro são apresentadas nas Figuras 8.3 e 8.4, considerando as estimativas para três estipes por touceira e 400 touceiras por hectare.

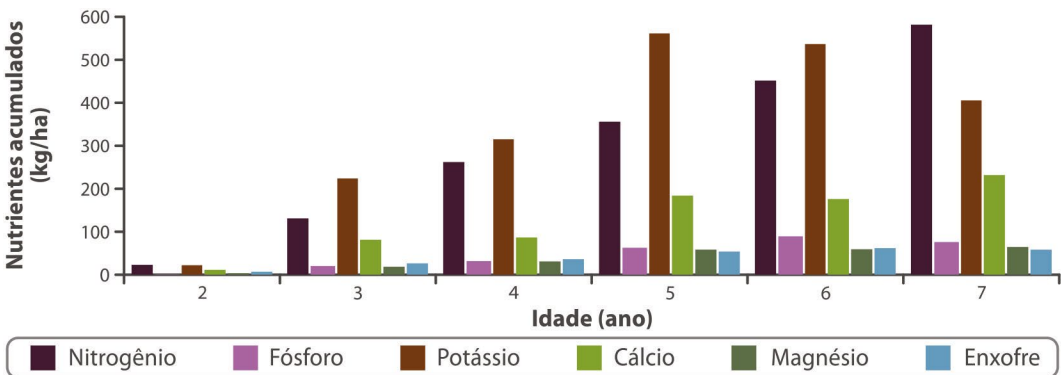


Figura 8.3. Quantidades totais de nutrientes acumulados anualmente por plantas de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.), considerando as estimativas para três estipes por touceira e 400 touceiras por hectare.

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2011).

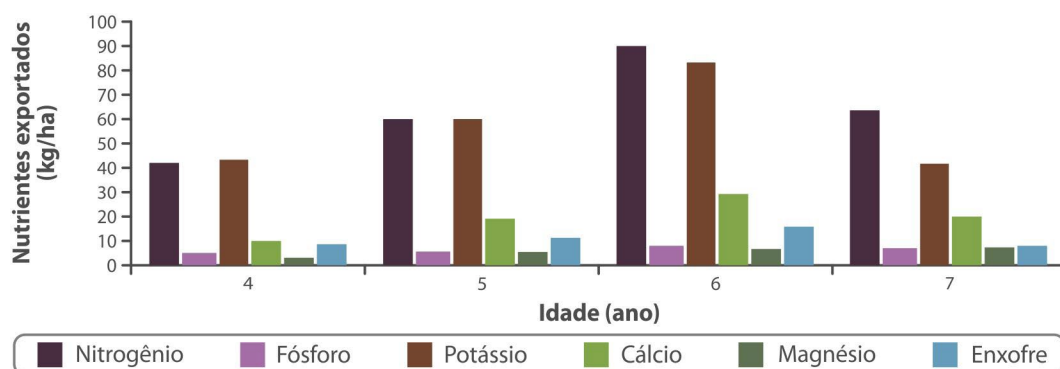


Figura 8.4. Quantidades totais de nutrientes exportados anualmente pelos frutos e engaços do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.), considerando as estimativas para três estipes por touceira e 400 touceiras por hectare.

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2011).

Na fase inicial de desenvolvimento, o potássio e o nitrogênio são os nutrientes acumulados em maiores quantidades pelo açaizeiro, apresentando um comportamento crescente até o 6º ano de idade. Porém, o potássio é absorvido em maiores quantidades pela planta nesse período. À medida que o açaizeiro entra na fase de maior produção, o nitrogênio passa a ser absorvido em maiores quantidades (Figura 8.3).

O cálcio é o terceiro nutriente mais acumulado e apresenta um comportamento crescente nas fases de crescimento inicial e de produção. O fósforo, o magnésio e o enxofre são acumulados em quantidades bem menores pelo açaizeiro, porém não devem ser negligenciados, por serem fundamentais para o pleno desenvolvimento da planta. A ordem decrescente de acúmulo total de nutrientes pelo açaizeiro na fase de crescimento (até o 4º ano) corresponde a $K > N > Ca > S > P > Mg$, e a ordem na fase inicial de produção (5º ao 7º ano) é $K > N > Ca > P > Mg > S$.

Em termos de quantidades exportadas de nutrientes (fruto + engaço) pelo açaizeiro, de modo geral, há um aumento crescente até o 6º ano, a partir de então passa a haver uma redução (Figura 8.4). O nitrogênio e o potássio apresentam valores muito semelhantes nos

dois primeiros anos de produção. A partir do 3º ano, o nitrogênio passa a ser o nutriente mais exportado pela planta. O cálcio é o terceiro nutriente mais exportado, porém em quantidades bem menores do que nitrogênio e potássio. O enxofre, o fósforo e o magnésio são exportados em pequenas quantidades pelos frutos e engaços. A ordem decrescente de exportação de nutrientes pelo açaizeiro corresponde a $N > K > Ca > S > P > Mg$.

De modo geral, as quantidades de nutrientes exportadas são muito pequenas, em relação ao total acumulado pelas plantas de açaizeiro. Isso indica que a adubação de reposição não deve ser baseada exclusivamente nas quantidades de nutrientes que são exportadas pelos frutos e engaços. Mas, também, deve-se levar em consideração as quantidades que são absorvidas pelas plantas e imobilizadas nos estipes e meristemas.

Considerando que o cálcio é o terceiro nutriente mais absorvido pelo açaizeiro, o seu fornecimento deve ser bem planejado, já que o calcário é a principal fonte do nutriente para as plantas e a aplicação ocorre durante a prática da calagem na implantação do açailal. Caso contrário, pode haver uma desordem nutricional já na fase inicial de desenvolvimento das plantas.

Distribuição de nutrientes nas partes da planta

A distribuição dos nutrientes nas diversas partes constituintes do açaizeiro ocorre de forma bastante variada, à medida que a planta se desenvolve. A distribuição percentual do nitrogênio nas diferentes partes do açaizeiro segue um padrão parecido ao observado para a produção de biomassa seca da planta. Nos

anos iniciais de desenvolvimento, até o 3º ano, a maior parte do nitrogênio é direcionado para a produção dos folíolos. Porém, com o decorrer do ciclo, há uma redução dessa participação percentual dos folíolos e uma maior quantidade passa a ser direcionada ao estipe. Nas demais partes da planta, a participação percentual do nitrogênio ocorre de maneira bem mais reduzida, com maior destaque aos frutos (Figura 8.5).

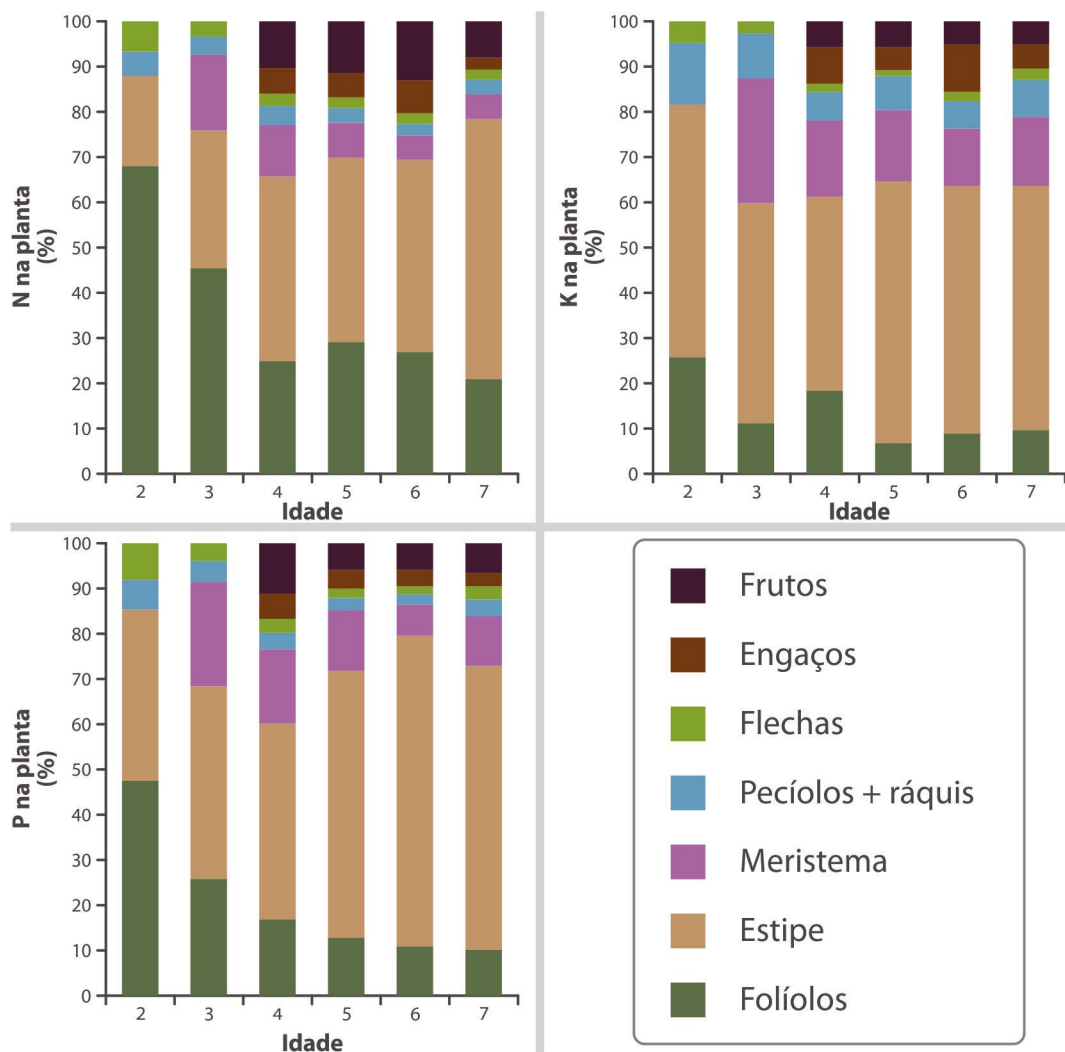


Figura 8.5. Distribuição percentual de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nos órgãos do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.), em função da idade.

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2011).

Em plantas com 2 anos de idade, o fósforo ocorre em maiores proporções nos folíolos e no estipe (Figura 8.5), indicando sua importância relativa na fase inicial de crescimento do açaizeiro. Com o decorrer do tempo, a participação do fósforo nos folíolos vai diminuindo e aumenta a participação do estipe. Entre o 3º e o 5º ano de idade, há uma boa participação do fósforo na formação do meristema. A partir do 5º ano, o açaizeiro passa a acumular mais fósforo no estipe, seguindo a maior demanda de matéria seca nessa parte da planta.

Diferentemente do nitrogênio, o potássio tem pouca participação percentual nos folíolos do açaizeiro (Figura 8.5). No entanto, há grande ocorrência desse nutriente no estipe da planta, que vai aumentando com a idade. O meristema apresenta boa participação percentual de potássio, o que demonstra a sua importância

na formação da estrutura das plantas e para a formação dos cachos. O nutriente é fundamental para a divisão celular, um processo necessário para o crescimento e a expansão de tecidos vegetais.

O cálcio possui grande importância na formação do estipe e é o nutriente com maior participação no meristema do açaizeiro, indicando a necessidade de mantê-lo em níveis adequados para a boa formação de cachos. Os folíolos possuem pouca participação percentual de cálcio (Figura 8.6). O magnésio possui uma distribuição na planta de forma bem similar à do cálcio, com maior participação no estipe, boa ocorrência no meristema e pouca participação nos folíolos. A distribuição percentual do enxofre no açaizeiro se assemelha à do nitrogênio, com maior percentual nos folíolos e no estipe, porém com certa participação relativa no meristema.

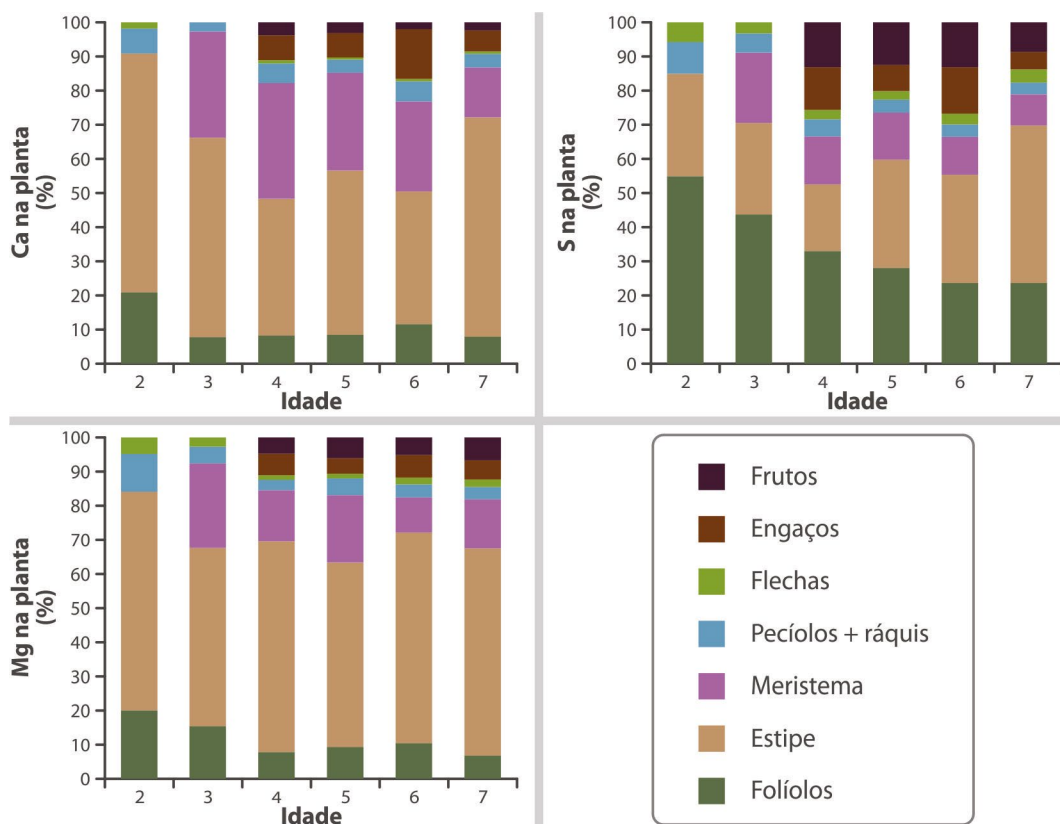


Figura 8.6. Distribuição percentual de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nos órgãos do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.), em função da idade.

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2011).

Imobilização, reciclagem e exportação de nutrientes

Com o desenvolvimento do açaizeiro, o fluxo de nutrientes dentro dos sistemas vegetativo e reprodutivo variam de acordo com as demandas nutricionais das diversas partes da planta. Nessa perspectiva, levando-se em conta que o açaizeiro é uma planta de ciclo perene, as quantidades dos nutrientes que se acumulam nos diferentes órgãos podem influenciar todo o manejo da adubação. Dependendo do órgão da planta, os nutrientes podem ficar imobilizados nos estipes, não retornando tão cedo ao solo. Certas quantidades de nutrientes podem ser recicladas pela queda dos folíolos, dos pecíolos, dos ráquis e das flechas, que se depositam na superfície do solo e, por meio da decomposição, podem ser utilizados novamente pelas plantas.

A saída dos frutos e dos engaços das áreas de cultivo promove a exportação de determinadas quantidades de nutrientes que necessitam ser totalmente repostas via adubação, para manter as plantas em níveis adequados de produtividade. Da mesma forma, os

nutrientes que ficam imobilizados devem ser considerados no manejo da adubação, já que a planta continua acumulando quantidades consideráveis de nutrientes para a formação de biomassa (estipe e meristema), sem que possam ser ciclados de imediato ao solo.

O nitrogênio é fundamental para a síntese de proteínas, atuando no desenvolvimento vegetativo da planta. Do total de nitrogênio acumulado pelo açaizeiro durante o 5º e o 7º ano, as quantidades imobilizadas nos estipes correspondem a 51 e 65%, sendo superior às quantidades que podem ser recicladas. Por sua vez, as quantidades exportadas equivalem a 17 e 11% do total acumulado no ano (Tabela 8.5).

As quantidades de fósforo imobilizadas no açaizeiro são muito superiores às recicladas e exportadas (Tabela 8.5). Do total de fósforo absorvido, a maior parte fica acumulada nos estipes (74 e 76% do total anual no 5º e no 7º ano) e pequenas quantidades são exportadas pelos frutos. Embora as exigências de fósforo pelo açaizeiro sejam pequenas, em relação aos demais nutrientes, possui grande importância na regeneração do ácido trifosfórico e participa das reações ligadas ao transporte de energia da planta.

Tabela 8.5. Quantidades de nutrientes imobilizados, reciclados e exportados pela cultura do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) aos 3, 5 e 7 anos de idade e sua respectiva ordem decrescente, considerando três estipes por touceira.

Dinâmica da planta ⁽¹⁾	Nutrientes (grama por touceira) ⁽²⁾						Ordem decrescente de nutrientes
	Nitrogênio (N)	Fósforo (P)	Potássio (K)	Cálcio (Ca)	Magnésio (Mg)	Enxofre (S)	
3º ano							
Imobilizada	166 (50)	36 (69)	439 (78)	182 (90)	36 (80)	31 (51)	K > Ca > N > Mg > P > S
Reciclada	163 (50)	16 (31)	122 (22)	20 (10)	9 (20)	30 (49)	N > K > S > Ca > P > Mg
5º ano							
Imobilizada	454 (51)	115 (74)	1055 (75)	358 (77)	110 (76)	65 (48)	K > N > Ca > P > Mg > S
Reciclada	289 (32)	24 (16)	208 (15)	58 (13)	21 (14)	43 (32)	N > K > Ca > S > P > Mg
Exportada	148 (17)	15 (10)	149 (11)	47 (10)	15 (10)	28 (20)	K > N > Ca > S > P > Mg
7º ano							
Imobilizada	951 (65)	147 (76)	728 (71)	462 (79)	124 (78)	86 (59)	N > K > Ca > P > Mg > S
Reciclada	356 (24)	27 (14)	189 (19)	70 (12)	17 (11)	39 (27)	N > K > Ca > S > P > Mg
Exportada	158 (11)	18 (09)	104 (10)	51 (09)	19 (12)	20 (14)	N > K > Ca > S > Mg > P

⁽¹⁾ Imobilizada = estipe + meristema; Reciclada = folíolo + pecíolo + ráquis + flecha; Exportada = fruto + engaço.

⁽²⁾ Os valores se referem às touceiras com três estipes. Os valores entre parênteses correspondem ao percentual do nutriente acumulado nas partes indicadas (imobilizada, reciclada ou exportada), em relação ao total anual acumulado do mesmo nutriente.

O potássio é essencial na frutificação e na maturação dos frutos, uma vez que é responsável pela conversão de amido em açúcares. As quantidades imobilizadas de potássio no açaizeiro possuem forte incremento nos primeiros 5 anos de idade e, a partir de então, há uma aparente estabilização (Tabela 8.5). Grande parte das quantidades acumuladas de potássio ficam imobilizadas nos estipes (71 e 75% do total anual do 5º e do 7º ano) e apenas pequenas quantidades vão para as partes recicláveis (15 a 19% do total anual do 5º e 7º ano) e exportadas pelos frutos (11 a 10% do total anual do 5º e 7º ano).

O cálcio é indispensável para o crescimento do tubo polínico e atua também na formação dos pontos de crescimento da raiz e do meristema. No açaizeiro, a maior parte das quantidades absorvidas são imobilizadas no estipe e aumentam com a idade (Tabela 8.5), já que a planta tende a se desenvolver continuamente até a fase de estabilização da produção de biomassa.

As quantidades imobilizadas, recicladas e exportadas de magnésio e enxofre no açaizeiro são bem menores do que os demais nutrientes, no entanto, são nutrientes fundamentais para a nutrição da planta. O magnésio faz parte da molécula da clorofila, atuando fortemente como ativador enzimático e possuindo maior mobilidade do que o cálcio na planta, enquanto o enxofre atua na síntese de proteínas.

É importante destacar que a maioria dos macronutrientes (P, K, Ca e Mg) encontram-se imobilizados nos tecidos dos estipes do açaizeiro, com valores acima de 71% das quantidades totais acumuladas na planta. O N e o S encontram-se acumulados com valores entre 48 e 65% do total na planta. Portanto, quando se pensa em adubação, deve-se atentar não somente para as quantidades de nutrientes que são exportadas pelos frutos, mas também para as que ficam imobilizadas na planta, já que a quantidade total se mantém constante durante o processo de acúmulo de material vegetativo.

Deficiências nutricionais

Os sintomas de deficiência nutricional ou de toxidez por elementos em plantas podem ser identificados por meio da diagnose visual das folhas, sobretudo pela coloração. No entanto, de acordo com o nutriente, a diagnose também pode ser feita por meio da análise visual de outros órgãos, como raízes e frutos. Os sintomas de deficiência de um determinado nutriente tornam-se claramente evidentes quando a deficiência é aguda. É importante considerar que, no momento em que os sintomas de deficiência se manifestam nas plantas, o crescimento e a produção poderão já terem sido comprometidos. Dessa forma, a diagnose visual não pode ser usada como o método principal para avaliação do estado nutricional das plantas, mas como um complemento da diagnose.

Em geral, os padrões de deficiências nutricionais nas plantas são bem específicos. Qualquer que seja a planta, o sintoma sempre é típico de cada nutriente, já que estes exercem sempre as mesmas funções. Os sintomas de deficiência nutricional nas folhas das plantas podem ocorrer em folhas novas ou mais velhas, de acordo com a mobilidade interna de cada nutriente. Os que possuem pouca mobilidade na planta, como Ca, S, B, Fe, Mn, Cu e Zn, apresentam sintomas visuais de deficiência em folhas mais novas. Por sua vez, os nutrientes que possuem maior mobilidade interna, como N, P, K, Mg, Mo e Cl, podem apresentar sintomas visuais nas folhas mais velhas.

Sintomas de deficiências nutricionais no açaizeiro

A seguir são apresentados os principais sintomas visuais característicos das deficiências nutricionais de macro e micronutrientes observados em plantas jovens e adultas do açaizeiro.

Nitrogênio

A deficiência de nitrogênio pode ser identificada por amarelecimento nas folhas mais velhas da planta e, em condições mais severas, ocorre necrose na borda da folha (Figura 8.7). A falta de nitrogênio também interfere fortemente no crescimento inicial da planta, dificultando seu desenvolvimento, com redução da altura e do tamanho das folhas (Figura 8.8). O nitrogênio é vital para o crescimento vegetativo do açaizeiro, já que é o principal componente da síntese de proteínas e faz parte da estrutura da clorofila.

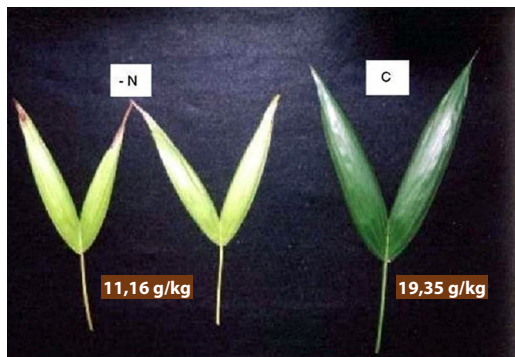


Foto: Ismael Viégas

Figura 8.7. Folíolos de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com deficiência (-N) e sem deficiência (C) de nitrogênio.

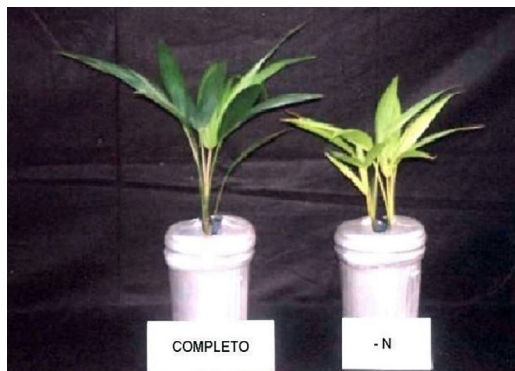


Foto: Ismael Viégas

Figura 8.8. Plantas jovens de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) crescidas em solução nutritiva com deficiência (-N) e sem deficiência (completo) de nitrogênio.

No campo, a deficiência de nitrogênio se manifesta com amarelecimento das folhas mais baixas (velhas) e, com o agravamento, ocorre o amarelecimento de todas as folhas. Em determinadas situações, quando o plantio é realizado logo após ao preparo da cova, utilizando-se adubo orgânico (cama de aviário) que não foi corretamente decomposto, as plantas podem apresentar deficiência de nitrogênio, ocasionada pela imobilização do nutriente no solo, manifestando forte amarelecimento nas folhas (Figura 8.9).



Foto: Edison Brasil

Figura 8.9. Planta de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no campo com deficiência de nitrogênio ocasionada pelo uso de cama de aviário sem ter finalizado o processo de decomposição.

Fósforo

Os sintomas de deficiência de fósforo em plantas jovens de açaizeiro se caracterizam por acentuada redução no desenvolvimento em altura da planta e do sistema radicular, apresentando nas folhas uma intensa coloração verde-escura (Figura 8.10). Em outras plantas, a deficiência do nutriente tem ocasionado a redução do perfilhamento, atraso no florescimento e redução no número de frutos.

Foto: Ismael Viégas

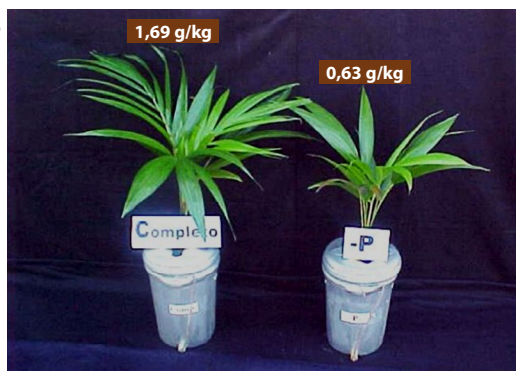


Figura 8.10. Plantas jovens de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) crescidas em solução nutritiva com deficiência (-P) e sem deficiência (completo) de fósforo.

Foto: Ismael Viégas



Figura 8.12. Plantas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) crescidas em solução nutritiva com deficiência (-K) e sem deficiência (completo) de potássio.

Potássio

O potássio é o principal ativador enzimático e atua em diversas fases do metabolismo, como nas reações de fosforilação, na síntese de carboidratos e proteínas, na respiração e na regulação do fechamento e abertura de estômatos. A sua deficiência em folhas de açaizeiro proporciona sintomas bem típicos, com a queima da borda dos folíolos e o amarelecimento próximo dessa região (Figura 8.11). Em plantas jovens, o agravamento da deficiência ocasiona uma necrose da ponta das folhas e a redução da altura da planta (Figura 8.12).

Foto: Ismael Viégas

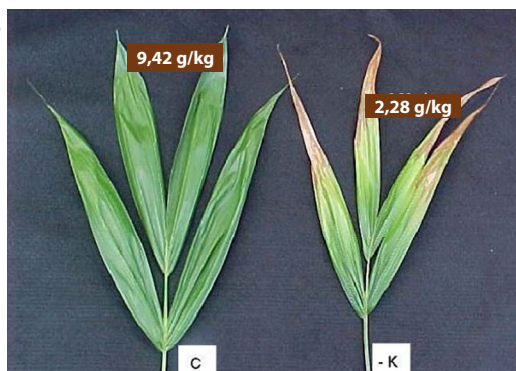


Figura 8.11. Folhas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com deficiência (-K) e sem deficiência (C) de potássio.

Foto: Edilson Brasil



Figura 8.13. Plantas adultas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com deficiência de potássio no campo.

Cálcio

O cálcio é essencial para manter a integridade das membranas e das paredes celulares, já que a maior parte do nutriente no tecido vegetal está localizada nas paredes celulares e, por isso, possui restrito transporte na planta. A deficiência de cálcio em folhas de açaizeiro se caracteriza por um enrugamento dos folíolos novos, como se a folha estivesse “amarrotada”, conforme se observa na Figura 8.14. Nessa imagem, podem ser visualizados três folíolos com deficiência de cálcio (-Ca) em diferentes estágios e com a redução do tamanho. Além disso, em plantas jovens de açaizeiro, a deficiência de cálcio interfere fortemente no desenvolvimento da planta, restringindo o crescimento em altura (Figura 8.15). Plantas jovens de açaizeiro, quando cultivadas sem o adequado fornecimento de cálcio em um Latossolo Amarelo Distrófico textura média, apresentaram redução brusca no crescimento como deficiência de nutriente (Viégas et al., 2009).

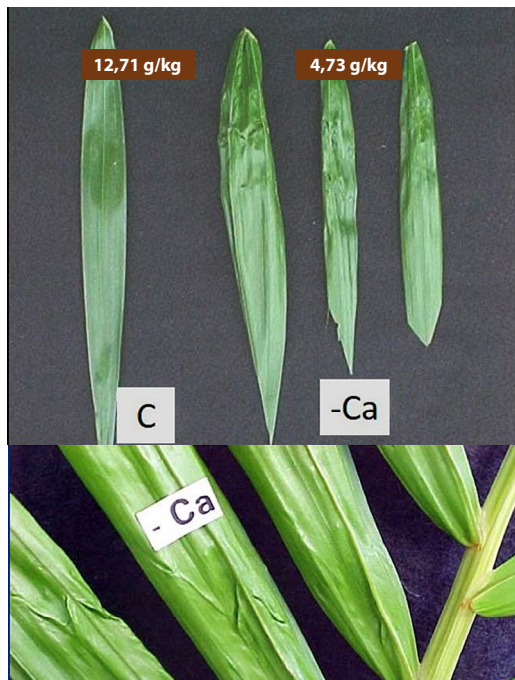


Figura 8.14. Folíolos de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com deficiência (-Ca) e sem deficiência (C) de cálcio.

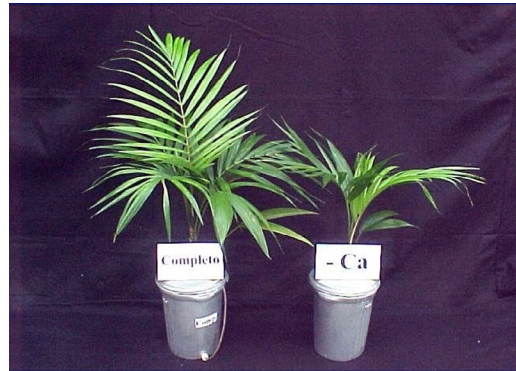


Figura 8.15. Plantas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com deficiência (-Ca) e sem deficiência (Completo) de cálcio.

Magnésio

A deficiência de magnésio em folhas de açaizeiro ocasiona o amarelecimento da parte mediana do folíolo em direção ao ápice e uma intensidade maior da cor verde próximo da base dos folíolos (Figura 8.16). Em plantas jovens crescidas em solução nutritiva, observou-se que o desenvolvimento inicial também foi muito afetado pela deficiência de magnésio (Figura 8.17).

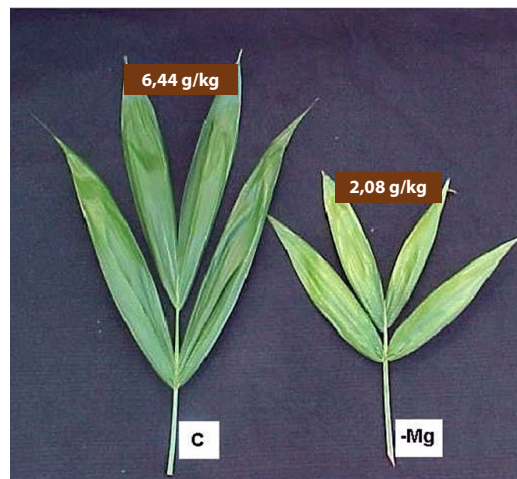


Figura 8.16. Folhas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com deficiência (-Mg) e sem deficiência (C) de magnésio.

Fotos: Ismael Viégas

Fotos: Ismael Viégas

Fotos: Ismael Viégas

Foto: Ismael Viégas



Figura 8.17. Plantas jovens de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) crescidas em solução nutritiva com deficiência (-Mg) e sem deficiência (Completo) de magnésio.

No campo, o sintoma de deficiência de magnésio na planta é bem típico, com o amarelecimento na parte mediana dos folíolos de folhas mais velhas, ficando a base da nervura central com coloração esverdeada (Figura 8.18).

Foto: Ismael Viégas



Figura 8.18. Planta de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com deficiência de magnésio no campo.

Tem sido registrado em alguns plantios de açaizeiro comerciais, na mesorregião Nordeste

Paraense, a ocorrência de sintomas em frutos com diferentes estágios de maturação ao longo das ráquias, no mesmo cacho, com ocorrência de frutos verdes, maduros e secos ao mesmo tempo (Figura 8.19). A causa desse sintoma tem sido relatada como possível deficiência de magnésio nas plantas, embora não tenham sido realizados estudos científicos para a comprovação. Para a correção desse problema, segundo produtores locais, procedeu-se a aplicação de sulfato de magnésio, o que foi suficiente para que o sintoma não ocorresse em novos cachos.

Fotos: Edilson Brasil

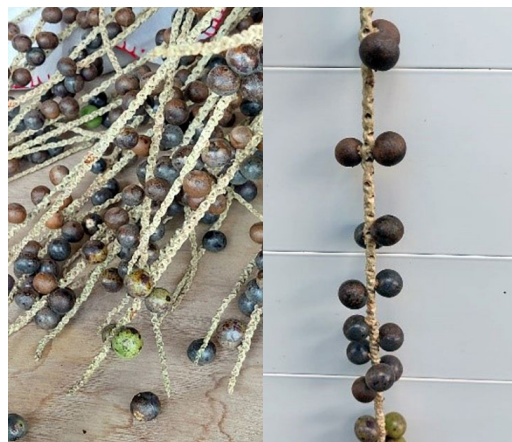
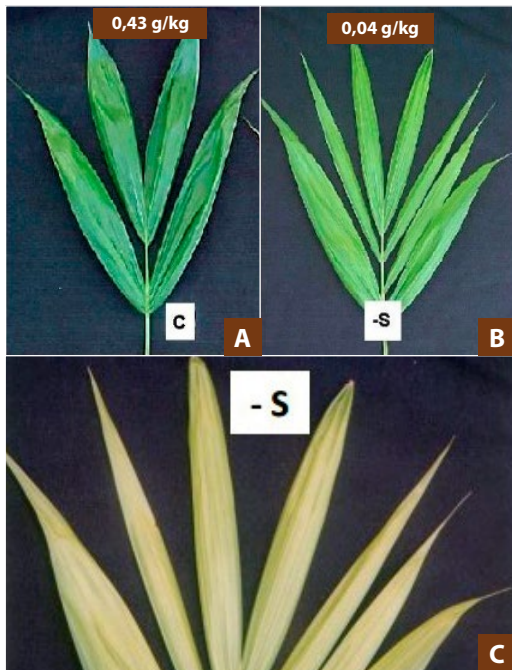


Figura 8.19. Provável sintoma de deficiência de magnésio em frutos de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com alteração da maturação ao longo das ráquias nos cachos.

Enxofre

A deficiência de enxofre no açaizeiro se manifesta com o amarelecimento gradual na fase inicial de desenvolvimento das folhas mais novas. Com a intensificação da deficiência, o amarelecimento fica mais forte. É importante ressaltar que essas características se assemelham à falta de nitrogênio, mudando apenas a posição do sintoma na folha (Figura 8.20).



Fotos: Ismael Viégas

Figura 8.20. Folhas de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) sem deficiência (A), com deficiência inicial (B) e com deficiência intensa (C) de enxofre.

Em plantas jovens de açazeiro crescidas em solução nutritiva, a deficiência de enxofre não ocasiona redução de crescimento, apenas um amarelecimento em comparação àquelas que receberam tratamento completo (Figura 8.21).



Foto: Ismael Viégas

Figura 8.21. Plantas jovens de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com deficiência (-S) e sem deficiência (Completo) de enxofre.

Boro

A deficiência de boro em plantas jovens crescidas em solução nutritiva ocasiona a redução na altura das plantas, em comparação com o tratamento completo (Figura 8.22), demonstrando diminuição no desenvolvimento da planta. Nas folhas com deficiência de boro, há alongamento e espessamento, com aparecimento de estrias típicas no limbo das folhas mais novas (Figura 8.23).

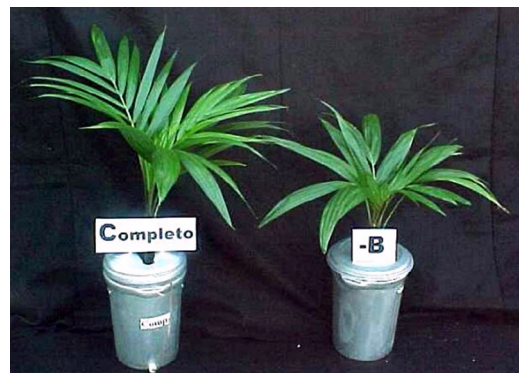
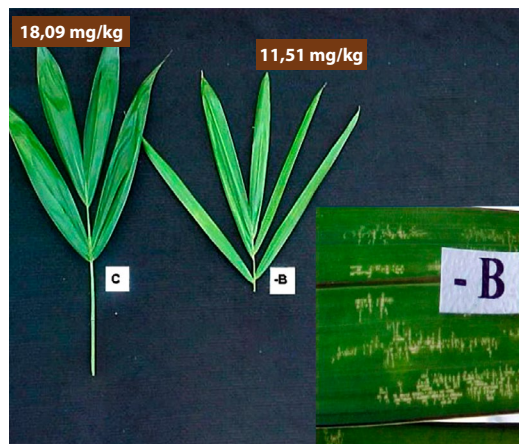


Foto: Ismael Viégas

Figura 8.22. Plantas jovens de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com deficiência (-B) e sem deficiência (Completo) de boro.



Fotos: Ismael Viégas

Figura 8.23. Folhas de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com deficiência (-B) e sem deficiência (C) de boro. No detalhe, folíolo com estrias.

No campo, os sintomas de deficiência de boro são bastante expressivos (Figura 8.24). As folhas mais novas apresentam aspecto reduzido e encurtado, em relação às folhas normais. Com o agravamento da deficiência, as plantas ficam com poucas folhas, de tamanho reduzido, com posterior morte das plantas, se não for efetuada adubação com fertilizante à base de boro.

Fotos: Edilson Brasil



Figura 8.24. Planta adulta de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com deficiência de boro no campo.

Ferro

A deficiência de ferro em plantas jovens de açaizeiro ocasiona amarelecimento entre as nervuras, afinamento no ápice e encurvamento dos folíolos. Porém, não afeta o crescimento em altura (Figura 8.25).

Fotos: Ismael Viégas



Figura 8.25. Planta de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) com deficiência (-Fe) e sem deficiência (Completo) de ferro (A). Detalhe da folha com curvatura do ápice foliar (B).

Manganês

Os sintomas de deficiência de manganês não ocasionam grande diferenciação no desenvolvimento da planta, porém verifica-se uma clorose internerval leve nos folíolos das folhas mais novas, com diferenciação de coloração (Figura 8.26). Destaca-se que pode ser mais difícil detectar esse tipo de sintoma no campo.

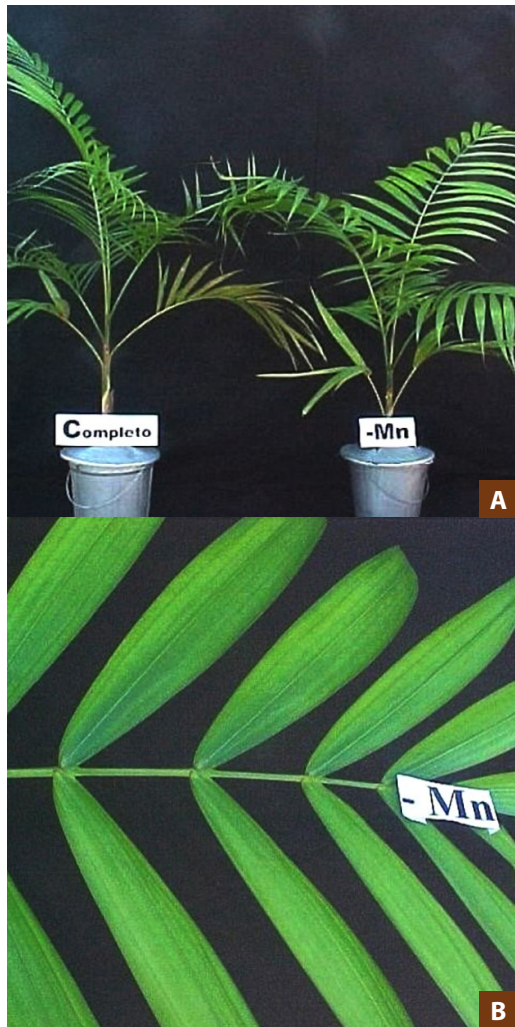


Figura 8.26. Planta jovem de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) crescida em solução nutritiva com deficiência (-Mn) e sem deficiência (Completo) de manganês (A). Detalhe de clorose internerval na folha (B).

Zinco

O sintoma da deficiência de zinco se iniciam nas folhas mais novas, caracterizando-se por apresentar folhas retorcidas com ondulações nas bordas dos folíolos, que ficam mais alongados, e clorose ao longo dos folíolos entre as nervuras (Figura 8.27).

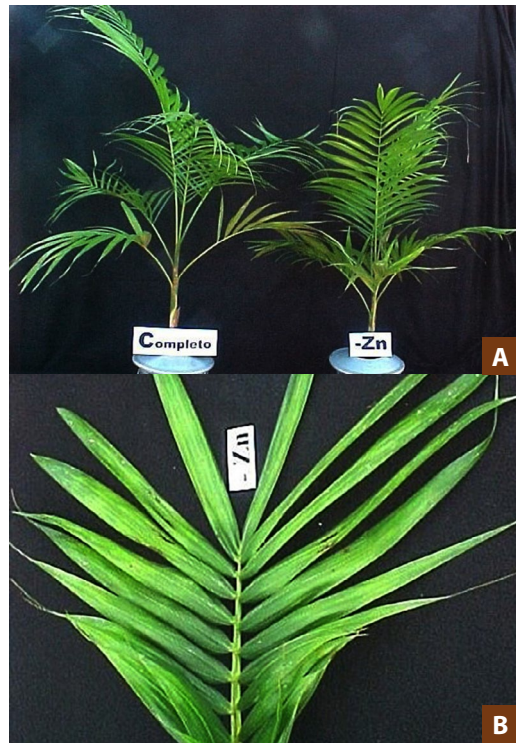


Figura 8.27. Planta de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) crescida em solução nutritiva com deficiência (-Zn) e sem deficiência (Completo) de zinco (A). Detalhe da folha com clorose internerval e folhas retorcidas (B).

Monitoramento do estado nutricional

Para evitar a ocorrência de deficiências de nutrientes nas plantas, é fundamental realizar o monitoramento da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas. Como se trata de uma cultura de ciclo longo, essas avaliações são muito importantes, principalmente na fase adulta da planta. A análise foliar é um método de avaliação do estado nutricional das culturas em que são examinadas determinadas folhas por meio da análise química, em períodos definidos do ciclo da planta.

Diagnose foliar

A capacidade das plantas em absorver nutrientes tem reflexos diretos nos teores dos elementos e no seu equilíbrio nutricional, propiciando informações imprescindíveis através da análise química dos seus tecidos. Nessa perspectiva, a folha é o órgão preferencial para avaliar o estado nutricional das plantas, já que as alterações nutricionais em sua composição refletem no metabolismo da planta.

A diagnose foliar procura associar e relacionar os teores foliares e a produção das culturas. A validade da diagnose foliar baseia-se nas premissas de que existem relações entre a dose do adubo e a produção, a dose de adubo e o teor foliar, o teor foliar e a produção.

Quatro são as etapas que devem ser cumpridas em um programa que utiliza a diagnose foliar na avaliação do estado nutricional das plantas:

- 1) Coleta de amostras de folhas: é uma das principais etapas da análise foliar. Toda amostragem precisa seguir parâmetros técnicos, caso contrário, corre-se o risco

de ter resultados que não representam o estado nutricional da planta.

- 2) Preparo de amostra: lavagem e moagem das folhas ou do material vegetal para envio ao laboratório.
- 3) Análise química de tecido vegetal: atualmente os métodos de análise química são bem estabelecidos e padronizados.
- 4) Interpretação dos resultados: serve para verificar se a planta está bem nutrida ou não, a partir dos resultados obtidos no laboratório e comparados com valores de referência, obtidos a partir de pesquisa.

Para se proceder a amostragem foliar visando a diagnose nutricional do açaizeiro, deve-se atentar para o período mais adequado à coleta, o número de plantas amostradas por hectare, a folha a ser colhida (folha índice) e o número de folíolos a ser coletado. Para o monitoramento nutricional anual do açaizeiro, segundo Viegas et al. (2022), a folha 5 da maior estipe da touceira (planta-mãe) é a mais indicada para amostragem, por refletir o valor médio no índice de distribuição dos nutrientes entre as folhas (Figura 8.28).

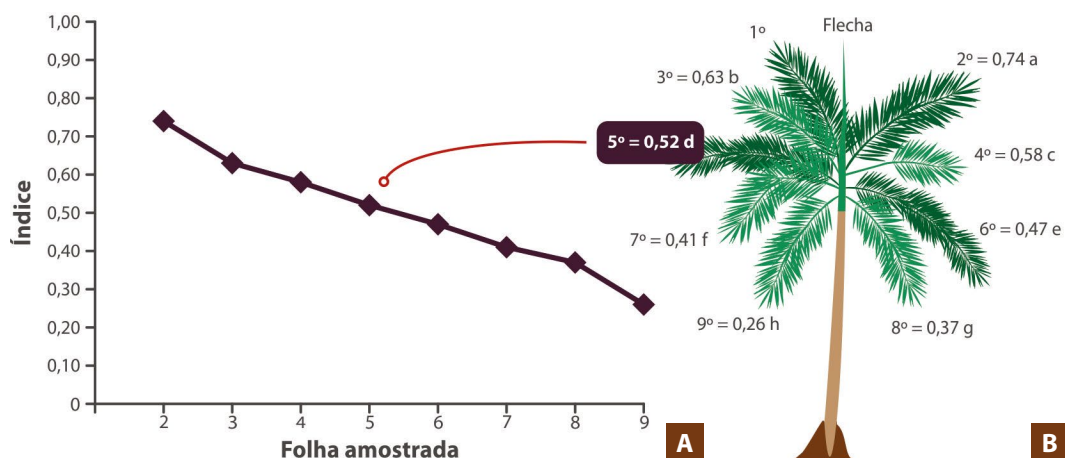


Figura 8.28. Índice de distribuição dos nutrientes nas folhas de posição flotática 2 a 9 de plantas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) (A) e distribuição dos valores dos índices para cada folha disposta esquematicamente na planta (B). Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste SNK ($p < 0,05$).

O processo de amostragem foliar dessa cultura segue padrões estabelecidos, correspondendo a um conjunto de procedimentos adequados, visando à obtenção de uma amostra que represente com alta significância o estado nutricional das plantas, livre de contaminantes (Figura 8.29). Para tanto, deve-se realizar os seguintes procedimentos:

- a) Avaliação histórica: conhecer o histórico do plantio e os tratos culturais que foram realizados na área. Essas informações darão mais base para a interpretação dos resultados obtidos após as análises.
- b) Planejamento: a metodologia de amostragem exige uma equipe previamente treinada, além da disponibilização de equipamentos e materiais que devem ser previamente inventariados.
- c) Escolha das plantas: deve-se selecionar plantas que representem o estado médio do plantio, quanto a nutrição, sanidade, crescimento e produção, e que estejam sob competição com outras plantas na mesma linha. É interessante que sejam identificadas as parcelas, as linhas e as plantas que serão amostradas, afim de no próximo ano se utilizar as mesmas plantas para uma nova amostragem. O procedimento consiste em coletar amostras de touceiras alternadas nas linhas, uma sim, outra não. Em cada touceira selecionada, a amostragem

deve ser realizada na planta-mãe, que seria a estipe mais vigorosa.

- d) Amostragem: após a seleção das plantas amostrais, delas são retiradas apenas as folhas de número 5, contando-se do ápice à base da planta. Dessa folha, são coletados seis folíolos (três de cada lado), íntegros e saudáveis, da parte central. Em seguida, os folíolos coletados são reunidos em apenas um feixe, amarrados com um fio ou liga de borracha, para então serem cortadas as suas extremidades, deixando-se apenas a parte central, com cerca de 20 cm. Ressalta-se a importância do armazenamento e da identificação correta das amostras. Para tanto, indica-se a utilização sacos de papel devidamente etiquetados (nome da empresa e do proprietário, número da parcela, número de plantas amostradas, folha amostrada e data da coleta).
- e) Preparo e descontaminação das amostras: ao fim da coleta, as amostras devem ser higienizadas, utilizando-se algodão imerso em água potável ou, preferencialmente, em água destilada, procedendo-se a limpeza de toda a superfície dos folíolos. Após esse procedimento, os folíolos devem ser armazenados em sacos de papel reforçados para que possam suportar o transporte ao laboratório. Usualmente, apenas metade da amostra composta é enviada ao laboratório. A outra metade deve ficar armazenada como reserva.

Fotos: Diego Cardoso



Figura 8.29. Procedimentos de coleta de amostras foliares na cultura do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.): seleção da estipe ou planta-mãe (A), corte da folha número 5 (B), seleção dos folíolos na parte central da folha (C), retirada dos folíolos selecionados (D), feixe de folíolos (E), parte central dos folíolos (F), limpeza dos folíolos (G), remoção das nervuras centrais (H) e embalagem para envio ao laboratório (I).

Alguns pontos importantes são destacados quanto à amostragem foliar:

- Quando fixados anualmente os talhões, as linhas e as plantas amostrais, as coletas anuais podem gerar dados de comparação nutricional ao longo dos anos. Para tanto, deve-se coletar sempre na mesma época do ano, sob mesma condição ambiental e fase fisiológica da planta. Podem, ainda, ser realizadas mais de uma amostragem anual, o que possibilita a comparação nutricional em diferentes meses. Esse procedimento também ajuda na calibração mais precisa da adubação convencional e, sobretudo, da fertirrigação.
- Nos casos de monitoramentos comerciais na Amazônia, as coletas foliares são realizadas na época menos chuvosa do ano. É importante também não realizar a atividade em momentos muito próximos à última adubação efetuada, bem como evitar amostragem nos meses mais quentes.
- A amostragem deve ser realizada em uma janela de tempo determinada, que vai das 7h às 11h da manhã, bem como não devem ser realizadas amostragens em área onde ocorreram chuvas há menos de 36 horas.
- É importante a divisão de glebas homogêneas na área amostral, isto é, não misturar amostras de área com material genético e idade diferentes.
- Por ocasião da coleta das amostras, caso sejam constatados sintomas visuais de deficiências de nutrientes nas plantas selecionadas, deve-se descrevê-los, anotando-se o número da planta. Nesse caso, deve-se proceder uma amostragem especial, coletando-se os folíolos das plantas com sintomas.
- Caso haja possibilidade, sugere-se a coleta de pontos de localização georeferenciados de cada planta amostrada, permitindo assim a produção de mapa de variabilidade espacial dos níveis

nutricionais do talhão e, com isso, dar maior suporte à interpretação dos resultados.

Interpretação dos resultados da análise foliar

A partir da obtenção dos resultados da análise foliar, a interpretação deve ser realizada comparando-se os teores dos nutrientes da amostra da lavoura a ser avaliada, com os padrões de referência ou normas, conhecidos como níveis críticos (NC) ou faixas de suficiência (FS). O teor do nutriente no tecido vegetal associado a 90% da produtividade máxima é denominado nível crítico (Cantarutti et al., 2007). Abaixo desse nível, a produção diminui e, acima, a planta apresenta pouco aumento de produção e a adubação passa a não ser mais econômica.

O estabelecimento de NC para açaizeiro perfaz um trabalho oneroso, pois necessita de informações relativas a várias colheitas mensais (6 a 8 meses) acompanhadas de análises foliares anuais. Por isso, são poucos os trabalhos que norteiam a respeito do diagnóstico nutricional para o açaizeiro (Ribeiro et al., 2020). Além disso, a metodologia necessita de certa padronização quanto às diferenças em idade, material genético, fase fenológica, condição climática e folha amostral, pois esses fatores podem gerar variações significativas entre os teores nutricionais obtidos, as quais podem ser observadas em algumas pesquisas (Tabela 8.6).

Níveis críticos foliares obtidos pelo método da distribuição normal reduzida

Embora existam informações sobre teores de nutrientes para o açaizeiro, provenientes de monitoramentos em campo, a definição de indicadores mais consistentes, como o nível crítico, obtidos a partir de pesquisas, possui certo grau de complexidade para essa cultura em decorrência dos elevados custos para sua realização. Uma metodologia mais simplificada é a definição de níveis críticos pelo método da distribuição normal reduzida

(DNR) baseado em banco de dados obtido em condições em plantios comerciais (Matos et al., 2016; Souza et al., 2020). Nesse caso, para o cálculo da distribuição normal, consideram-se os teores de nutrientes que correspondem a 90% da produtividade esperada.

Conforme indicado por Viégas et al. (2023), utilizando método da distribuição normal reduzida, foram obtidos os níveis críticos de macronutrientes e micronutrientes para

a cultura do açaizeiro a partir de um banco de dados contendo teores nutricionais e de produtividade de 105 amostras coletadas em áreas regularmente adubadas por meio de fertirrigação, obtidos de dois estudos distintos conduzidos por Ribeiro et al. (2020) e Lindolfo et al. (2020), ambos realizados no município de Tomé-Açu, PA. As amostras foram coletadas da folha número 5 dos açaizeiros e os níveis críticos foliares propostos para a primeira aproximação na cultura são apresentados na Tabela 8.7.

Tabela 8.6. Teores foliares de nutrientes em plantas de açaizeiros (*Euterpe oleracea* Mart.) de diferentes idades, em áreas nativas e cultivadas no estado do Pará.

Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco	Referência
(g/kg)						(mg/kg)					
25,6	1,6	6,8	4,8	0,1	2,7	22,2	8,0	118	281	24,9	Viegas et al. (2022) ⁽¹⁾
18,8	1,4	8,8	7,8	1,0	1,3	14,9	–	153	44,6	30,6	Lindolfo et al. (2020) ⁽²⁾
19,0	1,7	9,0	6,0	2,0	3,1	51,0	6,0	364	285	24,5	Adaptado de Ribeiro et al. (2020) ⁽³⁾
27,3	1,9	7,1	8,9	1,5	–	–	–	–	–	–	Brasil et al. (2008) ⁽⁴⁾
21,9	1,2	7,4	4,4	0,9	–	–	–	–	–	–	Brasil et al. (2009) ⁽⁵⁾
13,1	1,0	4,6	1,9	0,5	1,9	17,0	7,0	319	180	29,0	Cordeiro (2011) ⁽⁶⁾
15,7	0,7	3,5	6,4	2,2	1,4	31,3	–	–	–	–	Viégas et al. (2009) ⁽⁷⁾
24,1	1,3	14,5	2,6	2,2	7,4	54,5	7,2	–	99,9	93,2	Araújo et al. (2016) ⁽⁷⁾ (1)
19,7	1,5	8,3	6,1	1,3	0,9	–	–	–	–	–	Cordeiro et al. (2024) ⁽⁸⁾

⁽¹⁾ Plantas com 4 anos e 8 meses, amostrada a folha 5, em novembro de 2005, Belém. ⁽²⁾ Plantas com 9,5 anos, crescidas no tratamento que obteve a maior produtividade anual (5,52 t/ha), amostrada a folha 6, em novembro de 2017, Tomé-Açu. ⁽³⁾ Plantas fertirrigadas com 7 anos e produção anual acima de 7,0 t/ha, amostradas as folhas 4 e 5, em outubro de 2015, Tomé-Açu. ⁽⁴⁾ Plantas adultas melhoradas (cultivar BRS Pará), amostradas as folhas recém-abertas, Breves/São Sebastião da Boa Vista. ⁽⁵⁾ Plantas adultas de populações nativas em áreas de várzea, amostradas as folhas recém-abertas, Breves/São Sebastião da Boa Vista. ⁽⁶⁾ Plantas com 2 anos recebendo adubação NPK, amostrados os folíolos, Tomé-Açu. ⁽⁷⁾ Plantas com 10 meses de idade cultivadas em casa de vegetação no tratamento completo de adubação, Belém. ⁽⁸⁾ Plantas com 8 meses de idade, cultivadas em casa de vegetação no tratamento completo de adubação, Belém. ⁽⁹⁾ Cultivo de 7 anos, amostragem na folha número 6, em Igarapé-Açu.

Traço (–): Informação não aplicável.

Tabela 8.7. Níveis críticos foliares de macronutrientes e micronutrientes obtidos pelo método da distribuição normal reduzida, em açaizeiros (*Euterpe oleracea* Mart.) adultos cultivados no estado do Pará.

	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
	(g/kg)						(mg/kg)				
Teor crítico	19,0	1,4	8,0	5,0	1,0	3,0	35,0	5,0	220,0	170,0	23,0
Número de amostras ⁽¹⁾	60	48	81	74	52	54	80	84	76	96	100

⁽¹⁾ Número de amostras consideradas no cálculo após a remoção de valores discrepantes e anormais.

Sistema integrado de diagnose e recomendação

O sistema integrado de diagnose e recomendação (Dris) é outro método para a interpretação dos resultados da análise foliar que pode ser utilizado conjuntamente ou em alternativa aos níveis críticos e às faixas de suficiência. Além de poder ser obtido a partir de plantas de cultivos comerciais (Dezord et al., 2016), o método possui menor interferência de fatores ambientais não controlados, por considerar as relações e o balanço entre os nutrientes (Cunha et al., 2016). Essa metodologia tem sido aplicada em outras palmeiras cultivadas no Norte do País, como o coqueiro (Saldanha et al., 2017) e a palma de óleo (Matos et al., 2017).

O Dris exige, para seu cálculo, a separação de uma subpopulação de referência com valores de produtividade considerados adequados para o estabelecimento de relações nutricionais bivariadas denominadas “normas” (ex.: N/P, N/K, P/K, etc.), as quais são comparadas com as relações binárias das amostras que serão diagnosticadas, gerando índices de fácil interpretação.

O primeiro estudo do Dris em açaizeiros produtivos foram conduzidos por Ribeiro et al. (2020) em cultivos fertirrigados, utilizando a folha nº 5 como padrão amostral (obtido por meio de pesquisa). Foi conduzido o diagnóstico de 80 amostras foliares provenientes de cultivo de açaizeiro com 7 anos de idade, localizado no município de Tomé-Açu, PA. A tabela de normas pode ser consultada em Viégas et al. (2023). Conforme os resultados, a avaliação do estado nutricional do açaí fertirrigado pelo Dris foi eficiente e refletiu bem o preparo da área, o manejo e as características da planta. Nesse trabalho, também foram encontradas plantas que evidenciaram excesso de fósforo foliar, decorrente da aplicação de quantidades de fertilizantes fosfatados muito acima das necessidades nutricionais da cultura.

A partir da geração dos índices Dris também podem ser estimadas as faixas de suficiência (ou ótimas) dos teores foliares dos nutrientes na planta. A definição desses valores é baseada

no balanço nutricional de um conjunto de plantas consideradas “nutricionalmente equilibradas” (Matos et al., 2016). Com base nos resultados do estudo do Dris obtidos por Ribeiro et al. (2020), em área com cultivo de açaizeiro fertirrigado, foram calculadas as faixas de suficiência dos teores de macronutrientes e micronutrientes foliares, representando uma primeira aproximação e cujos valores são apresentados na Tabela 8.8. As faixas derivadas do Dris não necessitam de estudos custosos, além de ser um procedimento de caráter prático (Dias et al., 2017) e podem ter abrangência regionalizada. Por sua vez, em geral, apresentam intervalos mais curtos do que aqueles gerados convencionalmente por experimentos de doses de nutrientes.

Tabela 8.8. Faixas de teores foliares de macronutrientes e micronutrientes consideradas ótimas para açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) fertirrigado (folha número 5) obtido em plantio no nordeste do Pará e calculadas com base no método do Dris.

Macronutriente	Faixa de teor (g/kg)	Micronutriente	Faixa de teor (mg/kg)
Nitrogênio	17–21	Boro	37–57
Fósforo	1,4–1,8	Cobre	5,0–7,0
Potássio	7,6–10,6	Ferro	250–450
Cálcio	4,8–6,6	Manganês	180–400
Magnésio	0,8–1,8	Zinco	19–28
Enxofre	2,7–3,3	–	–

Traço (–): Informação não aplicável.

Para efeito de comparação dos métodos de diagnose do estado nutricional das plantas (nível crítico e Dris), procedeu-se a avaliação dos resultados de 80 amostras foliares de um plantio de açaizeiro fertirrigado com 7 anos, coletadas da folha padrão número 5, no município de Tomé-Açu, PA. Nesse caso, utilizaram-se os valores de nível crítico apresentados na Tabela 8.6, bem como as faixas nutricionais ótimas expostas na Tabela 8.7, estabelecendo-se a participação percentual das amostras das plantas que se enquadraram em cada um dos métodos de diagnose (Tabela 8.9).

Tabela 8.9. Participação em porcentagem comparativa de teores foliares de amostras de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) enquadrados aos níveis críticos e às faixas nutricionais ótimas.

Nível crítico (NC)		Faixa derivada do método Dris	
Nitrogênio			
Teores menores do NC	30%	Deficiente	3,8%
Teores maiores do NC	70%	Adequado	86,3%
–	–	Excessivo	10,0%
Fósforo			
Teores menores do NC	13%	Deficiente	12,5%
Teores maiores do NC	88%	Adequado	51,3%
–	–	Excessivo	36,3%
Potássio			
Teores menores do NC	30%	Deficiente	22,5%
Teores maiores do NC	70%	Adequado	71,3%
–	–	Excessivo	6,3%
Cálcio			
Teores menores do NC	41%	Deficiente	37,5%
Teores maiores do NC	59%	Adequado	40,0%
–	–	Excessivo	22,5%
Magnésio			
Teores menores do NC	40%	Deficiente	8,8%
Teores maiores do NC	60%	Adequado	83,8%
–	–	Excessivo	7,5%
Enxofre			
Teores menores do NC	33%	Deficiente	20,0%
Teores maiores do NC	68%	Adequado	35,0%
–	–	Excessivo	45,0%
Boro			
Teores menores do NC	4%	Deficiente	11,3%
Teores maiores do NC	96%	Adequado	57,5%
–	–	Excessivo	31,3%
Cobre			
Teores menores do NC	40%	Deficiente	40,0%
Teores maiores do NC	60%	Adequado	38,8%
–	–	Excessivo	21,3%
Ferro			
Teores menores do NC	1%	Deficiente	7,5%
Teores maiores do NC	99%	Adequado	73,8%
–	–	Excessivo	18,8%
Manganês			
Teores menores do NC	29%	Deficiente	29%
Teores maiores do NC	71%	Adequado	61%
–	–	Excessivo	10%
Zinco			
Teores menores do NC	41%	Deficiente	5%
Teores maiores do NC	59%	Adequado	80%
–	–	Excessivo	15%

Traço (–): Informação não aplicável.

Quanto aos níveis críticos, considerando o status de deficiência das amostras, a ordem foi $\text{Ca} = \text{Zn} > \text{Mg} = \text{Cu} > \text{S} > \text{N} = \text{K} > \text{Mn} > \text{P} > \text{B} > \text{Fe}$. Para o método Dris, com as faixas nutricionais ótimas, a ordem foi $\text{Cu} > \text{Ca} > \text{Mn} > \text{K} > \text{S} > \text{Zn} > \text{P} > \text{B} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{N}$. O Ca apareceu em grande frequência com status de deficiência para ambos os métodos utilizados (essa área não tem histórico de correção do solo com calagem), assim como o Fe ocorreu em baixa frequência de deficiência (seus valores são naturalmente altos em solos amazônicos, suprimindo facilmente as plantas). Esses resultados demonstram que a interpretação dos teores foliares do açaizeiro variam entre os métodos de diagnose nutricional e sempre deve-se buscar aqueles que melhor se relacionam com o perfil produtivo do pomar, visando à obtenção de elevadas produtividades.

Considerações finais

O açaizeiro vem sendo cultivado há muitos anos nos estados da Amazônia e atualmente passa por um forte processo de expansão da área cultivada para outras regiões do País. Considerando as variações edafoclimáticas regionais, o conhecimento de informações sobre a nutrição mineral do açaizeiro é fundamental para o estabelecimento de cultivos com elevado potencial produtivo, de modo a garantir maiores rendimentos econômicos aos produtores.

Para embasar as necessidades de adubação para o açaizeiro, deve-se levar em conta não somente as quantidades de nutrientes contidas no cachos e frutos (exportação), mas também as quantidades que ficam imobilizadas, especialmente nos estipes, além das contidas nas partes da planta que podem ser recicladas. Assim, é importante o conhecimento das demandas nutricionais do açaizeiro, que variam nas diferentes fases fenológicas e com uma dinâmica bem característica para a formação de biomassa vegetal para os diferentes compartimentos da planta.

Portanto, para manter o açaizal com um status nutricional adequado, é fundamental realizar o monitoramento do estado nutricional da cultura executando-se os procedimentos corretos para a amostragem foliar, realização das análises químicas em laboratórios confiáveis e efetuar a interpretação dos resultados utilizando métodos mais consistentes de diagnose.

Vale ressaltar que as informações atualmente disponíveis sobre a nutrição mineral do açaizeiro ainda são derivadas de poucos estudos, havendo muitos gargalos que necessitam ser pesquisados para o estabelecimento de conhecimentos mais consistentes. Entre as lacunas que merecem maior dedicação, pode-se mencionar estudos mais detalhados sobre os procedimentos de amostragem, definição do número de folhas por área, número de folíolos por folhas em diversas fases de desenvolvimento das plantas; estudos em plantios solteiros das demandas nutricionais em diferentes fases fenológicas da planta; melhorar os índices de interpretação dos resultados com base em pomares com maiores variações de produção e nas diferentes fases fenológicas da planta; desenvolver estudos com micronutrientes que são fundamentais para a nutrição do açaizeiro, como o boro; e estudos das respostas fisiológicas relacionadas com a nutrição e produção de frutos da cultura.

Referências

- ARAÚJO, F. R. R.; VIÉGAS, I. J. M.; CUNHA, R. L. M.; VASCONCELOS, W. L. F. Nutrient omission effect on growth and nutritional status of assai palm seedlings. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 4, p. 374-382, 2016.
- BRASIL, E. C.; NASCIMENTO, E. V. S.; SOBRINHO, R. J. A. Macronutrientes em diferentes partes de indivíduos de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) provenientes de populações nativas de municípios do estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **O solo e a produção de bioenergia: perspectivas e desafios**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43701/1/2967.pdf>. Acesso em: 28 maio 2024.
- BRASIL, E. C.; POÇA, R. R.; SOBRINHO, R. J. A. Concentração de nutrientes em diferentes partes de indivíduos de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) proveniente de uma população melhorada. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7., 2008, Londrina. **Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental**: anais. Londrina: SBCS: Embrapa Soja: IAPAR: UEL, 2008. FertBio 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/410213/1/6096.pdf>. Acesso em: 28 maio 2024.
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. 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.; LIMA, J. C. (ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 770-845.
- CORDEIRO, R. A. M. **Crescimento e nutrição mineral do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.), em função da idade em sistemas agroflorestais no município de Tomé Açu, Pará**. 2011. 137 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia: Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA.
- CORDEIRO, R. A. M.; SENA, W. de L.; SILVA, A. L. P. da; MEIRELES, R. de O.; PIRES, E. da S.; SOUZA, F. C. A. de; CANTUÁRIA, P. de C.; SILVA, B. M. da S. e. Amostragem em folhas de açaizeiro para fins de diagnose do estado nutricional. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 6, e5044-e5044, 2024.
- CUNHA, M. L. P.; AQUINO, L. A.; NOVAIS, R. F.; CLEMENTE, J. M.; AQUINO, P. M. de; OLIVEIRA, T. F. Diagnosis of the nutritional status of garlic crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, e0140771, 2016.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: SBCS, 2006. p. 327-354.
- DEZORDI, L. R.; AQUINO, L. A. de; AQUINO, R. F. B. de A.; CLEMENTE, J. M.; ASSUNÇÃO, N. S. Diagnostic methods to assess the nutritional status of the carrot crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.
- DIAS, J. R. M.; WADT, P. G. S.; PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C.; PEREZ, D. V.; SOUZA, F. R.; BERGAMIN, A. C.; DELARME LINDA, E. A. Normal nutrient ranges and nutritional monitoring of 'Pêra' Orange trees based on the CND method in different fruiting stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 776-785, 2017.
- LINDOLFO, M. M.; MATOS, G. S. B.; PEREIRA, W. V. S.; FERNANDES, A. R. Productivity and nutrition of fertigated açai palms according to boron fertilization. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, n. 2, e-601, 2020.
- MANCIOT, R.; OLLAGNIER, M.; OCHS, R. Nutrition minérale et fertilisation du cocotier dans le monde. **Oleagineux**, v. 35, n. 1, p. 13-27, 1980.

MATOS, G. S. B.; FERNANDES, A. R.; WADT, P. G. S. Níveis críticos e faixas de suficiência de nutrientes derivados de métodos de avaliação do estado nutricional da palma-de-óleo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1557- 1567, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900055>.

MATOS, G. S. B. de; FERNANDES, A. R.; WADT, P. G. S.; PINA, A. J. de A.; FRANZINI, V. I.; RAMOS, H. M. N. The use of DRIS for nutritional diagnosis in oil palm in the state of Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, 2017.

RIBEIRO, F. O.; FERNANDES, A. R.; GALVÃO, J. R.; MATOS, G. S. B. de; LINDOLFO, M. M.; SANTOS, C. R. C. dos; PACHECO, M. J. B. DRIS and geostatistics indices for nutritional diagnosis and enhanced yield of fertirrigated acai palm. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 12, p. 1875-1886, 2020.

SALDANHA, E. C. M.; SILVA JUNIOR, M. L. da; LINS, P. M. P.; FARIAS, S. C. C.; WADT, P. G. S. Nutritional diagnosis in hybrid coconut cultivated in northeastern brazil through diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 1, e-728, 2017.

SILVA, G. P. da; PRADO, R. de M.; WADT, P. G. S.; SILVA, F. C. da; VAZ, G. J.; MODA, L. R.; CAIONE, G. Modeling formulas of the comprehensive diagnosis and recommendation system (DRIS) for phosphorus in sugarcane. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 9, p. 1316-1329, 2021.

SINGH, R.; MOLLER, M. R. F. **Disponibilidade de micronutrientes em classes dominantes de solo do trópico úmido brasileiro**: I. Zinco. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1984. 43 p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de pesquisa, 55).

SOUZA, H. A. de; VIEIRA, P. F. de M. J.; ROZANE, D. E.; SAGRILO, E.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA, A. C. M.

Critical levels and sufficiency ranges for leaf nutrient diagnosis by two methods in soybean grown in the Northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190125, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190125>.

VIEGAS, I. de J. M. **Crescimento do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq), concentração, conteúdo e exportação de nutrientes nas diferentes partes de plantas com 2 a 8 anos de idade cultivadas em latossolo amarelo distrófico, Tailândia, Pará**. 1993. 217 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VIEGAS, I. de J. M.; BOTELHO, S. M. Nutrição e adubação do dendezeiro. In: VIEGAS, I. de J. M.; MULLER, A. A. (ed.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental; Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 229-274.

VIEGAS, I. de J. M.; MATOS, G. S. B.; FERREIRA, E. V. O. Nutrição do açaizeiro. In: VIEGAS, I. de J. M.; FERREIRA, E. V. O. (org.). **Nutrição de cultivos amazônicos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2023. v. 1, p. 13-30.

VIEGAS, I. de J. M.; MEIRELES, R. O.; FRAZÃO, D. A. C.; CONCEIÇÃO, H. E. O. Avaliação da fertilidade de um Latossolo Amarelo textura média para o cultivo do açaizeiro no estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 52, p. 23-36, 2009.

VIEGAS, I. de J. M.; MULLER, A. A.; COSTA, M. A.; FERREIRA, E. V. de O.; PINHEIRO, D. P.; CAMPOS, P. S. da S. Determinação da folha padrão para diagnose nutricional de plantas de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 44, n. 3, e-078, 2022.

