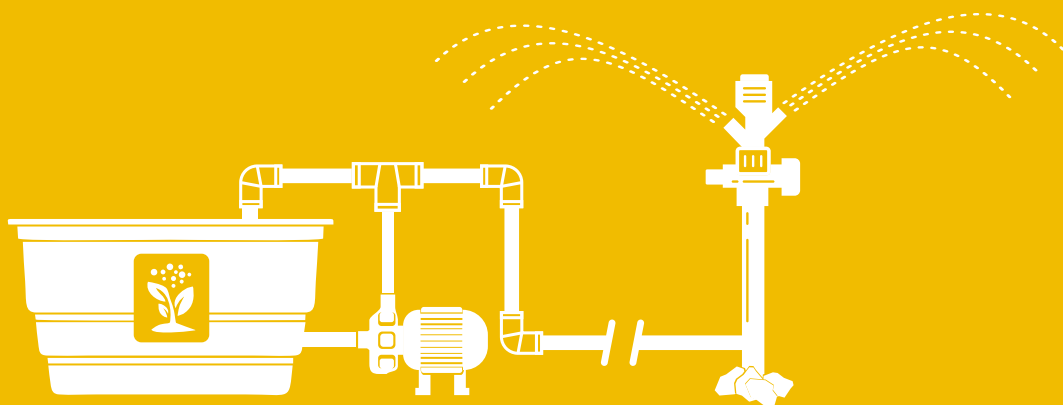


CAPÍTULO II

FERTIRRIGAÇÃO

*Maria do Bom Conselho Lacerda Medeiros
Helane Cristina Aguiar Santos
Joaquim Alves de Lima Júnior
Gilson Sergio Bastos de Matos
Felipe Oliveira Ribeiro*



Introdução

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma das espécies mais emblemáticas da Amazônia, ocupando um papel central na economia e na cultura da região. Os frutos de açaí representam não apenas uma importante fonte de alimentação para as comunidades locais, mas também um produto de grande relevância no mercado nacional e internacional, sendo amplamente utilizado na indústria de alimentos, cosméticos e bebidas.

A região amazônica tem grande potencial no cultivo de frutíferas nativas, como o açaizeiro, envolvendo pequenos produtores e agroindústrias (Barreto et al., 2012). O açaizeiro é conhecido pela economia e importância comercial no Brasil e no exterior (Falesi et al., 2010). No Pará, o açaí é a segunda principal cultura permanente (Viana et al., 2021).

Apesar do potencial econômico, a produção de açaí enfrenta diversos desafios agrônômicos. O manejo nutricional inadequado e a baixa eficiência na utilização de recursos hídricos limitam o rendimento e a qualidade dos frutos. Além disso, muitos produtores ainda utilizam práticas tradicionais de manejo, o que pode levar a uma menor produtividade e ao esgotamento dos nutrientes do solo. A fertirrigação destaca-se por aumentar a produtividade, melhorar a qualidade dos produtos e reduzir perdas de plantas em períodos secos prolongados (Marouelli et al., 2014). O aprimoramento das práticas de cultivo, com técnicas como a fertirrigação, ajuda a superar essas limitações e garantir a viabilidade econômica da atividade.

A tecnologia da fertirrigação surge como uma solução capaz de otimizar a nutrição do açaizeiro, promovendo um aumento significativo na produtividade, já que consiste na aplicação de fertilizantes dissolvidos em água, permitindo que os nutrientes sejam distribuídos de maneira uniforme e diretamente na zona de maior absorção radicular. Essa abordagem não apenas melhora a eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas, mas também possibilita ajustes

precisos de acordo com as necessidades específicas de cada fase do desenvolvimento da cultura.

Na adubação convencional, os fertilizantes são depositados próximo à planta e na superfície do solo e dependem das chuvas para serem absorvidos. Na aplicação via fertirrigação, os nutrientes chegam ao sistema radicular em tempo reduzido, com máxima absorção, são mais bem distribuídos, com possibilidade de maior parcelamento das adubações, maior eficiência e absorção pelas plantas (Duenhas et al., 2002; Guerra et al., 2004; Sousa et al., 2014).

Além do impacto positivo na produtividade, a fertirrigação está alinhada com os princípios da sustentabilidade. O uso racional da água e dos fertilizantes minimiza desperdícios e reduz os impactos ambientais associados à lixiviação e escoamento dos nutrientes. Por sua vez, o manejo dos açais em várzeas não supre a demanda do mercado, impulsionando o cultivo irrigado em terra firme (Nogueira; Santana, 2016). No Nordeste Paraense, produtores adotam técnicas como manejo, irrigação e adubação para aumentar a produção e estender a colheita para a entressafra (Farias Neto et al., 2011).

O cultivo irrigado em terra firme atrai produtores por permitir mecanização, incluindo a colheita, e alcançar maior produtividade que os açais nativos. Além disso, possibilita a adubação química, melhorando a reposição de nutrientes, algo inviável nas várzeas (Homma et al., 2006). Embora o cultivo em terra firme esteja em expansão, há poucos estudos sobre sua demanda hídrica (Homma et al., 2010). Sendo nativo de várzeas, requer muita água, e a disponibilidade hídrica no solo é necessária para sua sobrevivência, especialmente em regiões com chuvas abaixo de 100 mm ou com períodos secos, como o Nordeste Paraense.

A eficiência da fertirrigação depende de uma distribuição uniforme da água e do conhecimento técnico do irrigante para um manejo adequado, para impulsionar uma agricultura mais produtiva. Disponibilizar informações práticas pode orientar e capacitar extensio-

nistas rurais e produtores, além de maximizar os benefícios dessa técnica. Portanto, este capítulo tem como objetivo fornecer subsídios para o manejo eficiente da fertirrigação no açaizeiro, considerando as particularidades regionais e promovendo o desenvolvimento sustentável da cultura no estado do Pará. Seu conteúdo fornecerá subsídios técnicos para produtores interessados em implementar práticas mais eficientes e sustentáveis no cultivo do açaizeiro.

Vantagens e desvantagens da fertirrigação para o açaizeiro

No estado do Pará, o uso da fertirrigação ainda é limitado, devido à falta de informações técnicas adaptadas às condições regionais. Quando bem planejada e manejada, a técnica tem potencial para aumentar a eficiência agrícola e melhorar a renda dos produtores. Essa técnica é ainda mais relevante devido à predominância de solos ácidos e de baixa fertilidade (Junk; Mello, 1990). A fertilização através da água de irrigação apresenta múltiplos benefícios em relação ao método convencional (Villas Boas et al., 2006). Entre as principais vantagens da fertirrigação para frutíferas, destacam-se:

- 1) Aumento da produtividade das frutíferas, proporcionando o fornecimento contínuo e uniforme de nutrientes, otimizando o desenvolvimento da planta e a produção de frutos.
- 2) Melhor aproveitamento dos fertilizantes, que são aplicados diretamente na zona radicular, reduzindo perdas por lixiviação e volatilização.
- 3) Eficiência no uso da água que garante a aplicação precisa de nutrientes, adaptando-se ao regime pluviométrico irregular da região.

- 4) Possibilidade de cultivo em terra firme, além das áreas de várzeas tradicionais, promovendo a expansão da produção.
- 5) Redução de mão de obra, devido ao sistema de automatização, aplicação de água e fertilizantes, diminuindo a necessidade de intervenções manuais.
- 6) Melhoria da qualidade dos frutos, que contribui para maior produtividade.
- 7) Economia no custo de aplicação de fertilizantes, máquinas agrícolas e mão de obra.
- 8) Maior parcelamento da adubação, menos compactação do solo e danos físicos às culturas.
- 9) Aplicação dos nutrientes em pequenas doses por área, de forma frequente e regular.
- 10) Adaptação das doses de fertilizantes ao ciclo fenológico da planta, principalmente o açaí, que possui exigências nutricionais variáveis ao longo do ano.

A fertirrigação também apresenta algumas limitações e desvantagens para os cultivos agrícolas no estado do Pará, destacando-se:

- 1) Custo de implantação, com necessidade de um projeto elaborado com as normas técnicas e viabilidade econômica.
- 2) Necessidade de conhecimento técnico, pois a fertirrigação requer capacitação para manejar adequadamente os equipamentos e as doses de nutrientes.
- 3) Risco de salinização do solo, quando não ocorre boa precipitação, através das aplicações frequentes e mal manejadas.
- 4) Manutenção dos sistemas de irrigação regularmente para evitar entupimentos nos emissores.
- 5) Dependência de energia elétrica ou solar para o funcionamento dos sistemas de irrigação.

- 6) Custo com insumos devido à distância dos fornecedores, que encarece fertilizantes e equipamentos, além da falta de mão de obra especializada.
- 7) Cálculos precisos para quantificar concentrações e doses dos fertilizantes.

Princípios fundamentais para a implementação da fertirrigação

Todos os sistemas de irrigação podem transportar fertilizantes até as raízes das plantas, mas a eficiência na distribuição dos agroquímicos depende da uniformidade na aplicação da água. Os sistemas de irrigação por gotejamento e microaspersão são os mais indicados para a fertirrigação, por minimizarem perdas de água e garantirem distribuição eficiente próxima ao sistema radicular. Antes de implementar a técnica de injeção de fertilizantes via água de irrigação, é fundamental realizar uma avaliação hidráulica do sistema adotado. Essa análise deve ser conduzida em campo para determinar o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), conforme descrito na Equação 11.1, metodologia proposta por Merriam e Keller (1978).

$$CUD = 100 \cdot \frac{Q_{25}}{Q_a} \quad (11.1)$$

em que

CUD = coeficiente de distribuição (%).

Q_{25} = média das 25% menores vazões coletadas (L/h).

Q_a = média das vazões coletadas (L/h).

Segundo a metodologia, valores de CUD inferiores a 85% indicam distribuição irregular de água e fertilizantes, tornando inviável a fertirrigação. Para garantir a uniformidade da distribuição adequada da água, é necessário o pleno funcionamento do sistema de filtragem,

que previne a obstrução dos emissores e assegura a distribuição dos fertilizantes.

Outro fator relevante na fertirrigação é a garantia da qualidade da água, por meio de análises químicas específicas para fins de irrigação. De acordo com Silva et al. (2011), a qualidade da água é determinante para o sucesso do sistema, pois água inadequada pode provocar entupimentos, corrosão dos componentes e queda no desempenho das culturas, comprometendo a eficiência da técnica.

Além disso, a presença de sais dissolvidos, elementos tóxicos ou matéria orgânica em excesso pode interferir diretamente na solubilidade dos fertilizantes e na integridade dos emissores. Elementos como ferro, manganês e bicarbonatos, quando em concentrações elevadas, favorecem a formação de precipitados que obstruem o sistema de irrigação. Por isso, a análise da água deve contemplar parâmetros como pH, condutividade elétrica, dureza, teor de sólidos dissolvidos totais e presença de íons específicos, permitindo a adoção de medidas corretivas, como a acidificação da água ou o uso de filtros e tratamentos químicos adequados.

Fertilizantes utilizados na fertirrigação

A escolha dos fertilizantes para fertirrigação deve considerar algumas propriedades fundamentais, como solubilidade, corrosividade, salinidade e efeito no pH do solo. Esses fatores influenciam tanto a eficiência da nutrição das plantas quanto a manutenção dos equipamentos de irrigação.

A solubilidade dos fertilizantes varia conforme a temperatura da água e o grau de pureza dos produtos. Para uma dissolução eficiente, a água deve estar em torno de 20 °C (Borges; Silva, 2011). Fertilizantes com impurezas, como óxidos de ferro, apresentam baixa solubilidade, podendo reduzir a eficiência

da fertirrigação e causar entupimentos nos emissores (Coelho et al., 2000).

Os fertilizantes utilizados na fertirrigação podem ser encontrados em formas sólidas ou líquidas (fluidas), sendo selecionados conforme a solubilidade, compatibilidade e facilidade de aplicação. As fontes nitrogenadas, como a ureia, destacam-se por sua alta solubilidade (Borges; Silva, 2011). Entre as potássicas sólidas, o cloreto de potássio (KCl) e o nitrato de potássio (KNO_3) apresentam boa dissolução, ou seja, elevada solubilidade aliada à formação de soluções claras e estáveis, sem resíduos ou precipitados. Por sua vez, as fontes fosfatadas, como o fosfato monoamônico (MAP), embora solúveis, têm aplicação limitada na fertirrigação devido ao risco de precipitação, quando misturadas com fontes ricas em cálcio.

O ácido fosfórico é uma exceção importante, pois trata-se de uma fonte líquida e solúvel de fósforo (P), utilizada na fertirrigação por sua estabilidade em solução ácida. A presença de altos níveis de cálcio na água pode levar à precipitação de fosfato de cálcio, um composto insolúvel que obstrui emissores, principalmente em sistemas de irrigação por gotejamento (Coelho et al., 2000). Portanto, a análise da água e o manejo das soluções fertilizantes são necessárias para garantir a eficiência do sistema.

Os principais fertilizantes utilizados na fertirrigação são os potássicos e os nitrogenados devido à sua alta solubilidade, rápida disponibilidade para as plantas e elevada eficiência agrônômica (Guerra et al., 2004). No entanto, é fundamental o manejo adequado desses nutrientes, pois o uso excessivo pode provocar salinização do solo, pela acumulação de sais solúveis na zona radicular, e acidificação (Bandyopadhyay et al., 2019).

O uso inadequado de fertilizantes na fertirrigação pode levar ao aumento da salinidade do solo, especialmente quando associado a água de irrigação de baixa

qualidade ou mal manejada. Esse uso inadequado refere-se tanto à superdosagem de nutrientes, quando as quantidades aplicadas excedem a capacidade de absorção das plantas, quanto à aplicação contínua sem o devido parcelamento ou monitoramento da condutividade elétrica (CE) do solo.

Em regiões áridas, onde a lixiviação dos sais é reduzida, a acumulação excessiva de sais pode dificultar a absorção de água pelas raízes e afetar o crescimento das plantas. Muitas fruteiras, incluindo o açaizeiro, são sensíveis à salinidade e exigem manejo cuidadoso para evitar a degradação do solo (Sousa; Coelho, 2001; Sousa et al., 2002). A salinidade excessiva pode reduzir o potencial osmótico do solo, aumentando o estresse hídrico nas plantas e comprometendo seu desenvolvimento (Marschner, 2012).

Os fertilizantes também influenciam o pH do solo, dependendo do seu caráter ácido ou básico (Medeiros et al., 2014). A seleção de fertilizantes deve considerar não apenas a demanda nutricional da cultura, mas também o impacto no equilíbrio químico do solo, garantindo a manutenção da fertilidade ao longo do tempo. Fertilizantes nitrogenados de caráter ácido, como o sulfato de amônio, podem promover uma acidificação no solo, especialmente em sistemas de fertirrigação por gotejamento, alterando o pH em um único ciclo da cultura (Malavolta, 2006).

Portanto, para o sucesso da fertirrigação, é fundamental selecionar fertilizantes com elevada solubilidade, a fim de prevenir a formação de precipitados que possam obstruir os emissores. Como mostra a Tabela 11.1, a solubilidade desses produtos varia em função da temperatura, o que exige maior atenção em condições operacionais. Dessa forma, utilizar fertilizantes adequados e em conformidade com as condições de solubilidade reduz o risco de entupimentos, assegura maior eficiência do sistema e favorece a uniformidade na aplicação dos nutrientes.

Tabela 11.1. Fertilizantes indicados para a fertirrigação, em função da temperatura.

Produto	Solubilidade (g/L de H ₂ O)		
	10 °C	20 °C	30 °C
Ureia	450	510	570
Nitrato de amônio	610	660	710
Sulfato de amônio	420	430	440
Nitrato de cálcio	950	1.200	1.500
Fosfato monoamônico	290	370	460
Fosfato monopotássico	180	230	290
Nitrato de potássio	210	310	450
Sulfato de potássio	80	100	110

Fonte: Adaptado de Montag e Sheneck (1999).

Na fertirrigação, os micronutrientes mais utilizados são zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) e manganês (Mn), disponibilizados em formas solúveis, geralmente como sais inorgânicos ou quelatos (Tabela 11.2). No entanto, os sais simples podem reagir com íons presentes na água de irrigação, como carbonatos, sulfatos e fosfatos, formando precipitados que provocam o entupimento dos emissores. Por essa razão, é comum a utilização de micronutrientes, que apresentam maior estabilidade em solução, elevada solubilidade e menor risco de obstruções no sistema. Ainda assim, é importante observar que pode haver incompatibilidade entre outras fontes, como o fosfato de amônio e o nitrato de cálcio, exigindo atenção ao preparo das soluções e à sequência de injeção no sistema de fertirrigação (Borges; Coelho, 2009).

Tabela 11.2. Micronutrientes utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração de nutriente (g/kg)	Solubilidade (g/L)
Ácido bórico (H ₃ BO ₃)	160 de boro	50
Bórax (Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O)	110 de boro	50
Molibdato de amônio ((NH ₄) ₂ MoO ₄)	480 de molibdênio	400
Molibdato de sódio (Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O)	390 de molibdênio	560
Quelato de ferro (NaFeEDDHA)	60 de ferro	140
Quelato de zinco (Na ₂ ZnEDTA)	140 de zinco	–

Continua...

Tabela 11.2. Continuação.

Fertilizante	Concentração de nutriente (g/kg)	Solubilidade (g/L)
Sulfato de cobre (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	250 de cobre	220
Sulfato de ferro (FeSO ₄ ·7H ₂ O)	190 de ferro	240
Sulfato de manganês (MnSO ₄ ·4H ₂ O)	280 de manganês	1.050
Sulfato de manganês (MnSO ₄ ·3H ₂ O)	270 de manganês	7.42
Sulfato de zinco (ZnSO ₄ ·7H ₂ O)	220 de zinco	750
Octaborato de sódio (Na ₂ B ₈ O ₁₃ ·4H ₂ O)	200 de boro	220

Traço (–): informação não aplicável.

Fonte: Adaptado de Vitti et al. (1994) e Villas Bôas et al. (1999).

A aplicação de micronutrientes, sobretudo de boro (B), é estratégica no cultivo de açaieiro em terra firme na Amazônia, onde os solos são naturalmente ácidos e pobres em nutrientes. Estudos conduzidos em Tomé-Açu, PA, em plantio de 7 anos, demonstraram que o uso de B na dose de 20 g por touceira ao ano, aplicado via fertirrigação, parcelado em três aplicações, proporcionou os seguintes resultados em relação à produtividade de frutos frescos (Lindolfo et al., 2020):

- Produção anual das plantas sem adubação com boro: 3.856 kg/ha.
- Produção anual das plantas adubadas com 20 g por touceira: 5.612 kg/ha.
- Incremento anual total: 1.756 kg/ha.
- Custo do fertilizante boratado: 170 kg/ha.
- Ganho líquido anual: 1.586 kg/ha.
- Aumento de produtividade líquida: 42%.

A experiência relatada com adubação convencional, comprovando o efeito positivo do boro, em comparação com a fertirrigação, demonstra a necessidade de aliar a nutrição com micronutrientes à fertirrigação. O uso dos micronutrientes na fertirrigação favorece a correção rápida de deficiências como as de Fe e B, essenciais para pegamento floral, formação de cachos e qualidade dos frutos de açaí (Viégas et al., 2008).

Propriedades e orientação para mistura de alguns fertilizantes

O preparo da solução nutritiva na fertirrigação exige atenção à solubilidade, pureza, acidez, salinidade e compatibilidade dos fertilizantes. O pH ideal da solução deve variar entre 5,5 e 6,0, valores acima de 6,3 favorecem a precipitação, especialmente em misturas de cálcio (Ca) com fosfatos, quando há excesso de Ca na água ($> 3,0 \text{ mmol/L}$). Para prevenir esse problema, recomenda-se acidificar a solução, principalmente em águas

superficiais com teores de bicarbonato entre 2 e 4 mmol/L , aplicando de 1 a 2 mmol/L de ácido, geralmente sulfúrico ou fosfórico (Coelho et al., 2000; Sousa; Coelho, 2001; Medeiros et al., 2014).

A escolha inadequada de fertilizantes na preparação da solução pode provocar reações de incompatibilidade entre nutrientes, resultando na formação de precipitados. Esses precipitados podem obstruir os emissores do sistema de irrigação e reduzir a concentração efetiva dos nutrientes fornecidos à planta. Para evitar tais problemas, é fundamental consultar as informações de compatibilidade entre produtos, como as apresentadas na Figura 11.1.

	Ureia	Nitrato de amônio	Sulfato de amônio	Nitrato de cálcio	Nitrato de potássio	Cloreto de potássio	Sulfato de potássio	Fosfato de amônio	Fe, Zn, Cu e Mn sulfato	Fe, Zn, Cu e Mn quelato	Sulfato de magnésio	Ácido fosfórico	Ácido sulfúrico	Ácido nítrico
Ureia														
Nitrato de amônio														
Sulfato de amônio														
Nitrato de cálcio														
Nitrato de potássio														
Cloreto de potássio														
Sulfato de potássio														
Fosfato de amônio														
Fe, Zn, Cu e Mn sulfato														
Fe, Zn, Cu e Mn quelato														
Sulfato de magnésio														
Ácido fosfórico														
Ácido sulfúrico														
Ácido nítrico														



Incompatível



Solubilidade reduzida



Compatível

Figura 11.1. Orientação para mistura de alguns fertilizantes com base na compatibilidade.

Fonte: Adaptado de Burt et al. (1995), Landis et al. (1989) e Montag (1999).

A CE da água de irrigação com fertilizantes não deve ultrapassar 2,0 dS/m e a pressão osmótica deve se manter entre 70 e 100 kPa, exceto em culturas tolerantes à salinidade (Coelho et al., 2000; Medeiros et al., 2014). Cada solução depende da qualidade da água, dos fertilizantes utilizados e da sua solubilidade. Por isso, a formulação da solução nutritiva deve considerar múltiplos fatores e, ao contrário da hidroponia, não há soluções padrão recomendadas para fertirrigação em campo (Coelho, 2002).

A compatibilidade entre fertilizantes é essencial em sistemas de fertirrigação para evitar a formação de precipitados que possam entupir emissores e comprometer a eficiência da aplicação dos nutrientes. Misturas inadequadas, como fosfato de amônio com nitrato de cálcio ou sulfatos ricos em cálcio, podem formar compostos insolúveis que prejudicam o funcionamento do sistema (Borges; Coelho, 2009; Coelho; Sousa, 2011). Além disso, a preparação da solução nutritiva deve respeitar a sequência de injeção correta, controle de pH e a compatibilidade, garantindo assim a segurança operacional e o fornecimento equilibrado de nutrientes às plantas.

Preparo da solução de fertilizantes

A preparação das soluções consiste em determinar a quantidade de nutrientes e fertilizantes necessária para a cultura em cada aplicação e as respectivas concentrações. De acordo com Medeiros et al. (2014), para a determinação por aplicação, é necessário conhecer cinco itens: 1) a necessidade nutricional da cultura; 2) a quantidade de nutrientes que o solo pode fornecer; 3) a quantidade de nutrientes existente na água de irrigação; 4) a marcha de absorção de nutrientes nos diferentes estádios fenológicos; e 5) a eficiência de aplicação e utilização dos nutrientes.

Conforme Medeiros et al. (2014), para o preparo de uma solução de fertilizantes

adequada, é importante conhecer: as propriedades físicas, químicas e biológicas da água a ser usada na irrigação; observar o conteúdo de sais, que pode ser avaliado pela condutividade elétrica e pressão osmótica; a sodicidade, que é avaliada pelo conteúdo de sódio e está relacionada à razão de adsorção de sódio; a capacidade de entupimentos; as toxicidades específicas por íons (cloro, sódio e bicarbonatos) a acidez e poder tampão, que podem ser avaliados conforme o pH e corrigidos com o auxílio da curva de neutralização; além da presença de íons sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-), bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}), cloreto (Cl^-), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+), avaliados pela análise química da água.

Com essas regras básicas, recomenda-se que, na mistura dos fertilizantes, sejam utilizados três tanques para o armazenamento da solução-estoque, sendo um para a mistura de fertilizantes cálcicos (ácido ou neutro), outro para micronutrientes em meio neutro e o último para os demais fertilizantes em meio ácido (Coelho et al., 2000; Medeiros et al., 2014). Portanto, para preparar a solução, é necessário seguir um fluxo padronizado e preciso, formulando de acordo com as exigências da cultura, priorizando fertilizantes altamente solúveis, e observar a ordem de mistura, para garantir a dissolução antes da diluição final e da injeção no sistema.

Recomenda-se dividir a operação de fertirrigação em três etapas: 1) pré-lavagem e pressurização, para expulsar o ar das tubulações e estabilizar o regime hidráulico; 2) injeção da solução nutritiva, mantendo vazão e pressão constantes para assegurar a aplicação uniforme dos fertilizantes; e 3) lavagem final com água limpa, a fim de remover partículas e resíduos, prevenindo precipitações, biofilmes (algas e bactérias) e entupimentos dos emissores.

Para definir o tempo de cada etapa, o primeiro passo será determinar o tempo que a água (solução de nutrientes) demora para percorrer a distância entre o injetor de fertilizantes e o emissor situado no ponto

mais distante. Um procedimento prático para determinar esse tempo é colocar um corante na água e computar o tempo de deslocamento, do início da aplicação até o momento em que a água atinge o último emissor, usando cronômetros. Esse tempo, acrescido de uma margem de segurança de 15 a 20% do tempo de deslocamento da água, será o necessário para lavar o sistema de irrigação. Para o equilíbrio hidráulico, recomenda-se deixar o sistema de irrigação funcionar por um período de 15 a 20 minutos. O restante do tempo será para aplicação dos fertilizantes.

Equipamentos para injeção de fertilizantes

A escolha do equipamento para injeção de fertilizantes na fertirrigação é fundamental

para garantir a eficiência e uniformidade do fornecimento de nutrientes às culturas. Dentre os dispositivos mais utilizados, destaca-se o injetor tipo Venturi, muito utilizado devido ao seu baixo custo e facilidade de operação. Esse injetor utiliza o princípio da sucção gerada por um diferencial de pressão entre a entrada e a saída do sistema para arrastar a solução até a linha principal de irrigação (Figura 11.2). No entanto, funciona adequadamente apenas dentro de uma faixa ideal de pressão e vazão, geralmente operando com pressões entre 2,5 e 3,0 bar e exigindo uma queda de pressão mínima de 20 a 30% para gerar a sucção necessária. Fora desses parâmetros, o equipamento não consegue operar com eficiência, o que compromete a dosagem dos fertilizantes (Pinto; Silva, 2021).

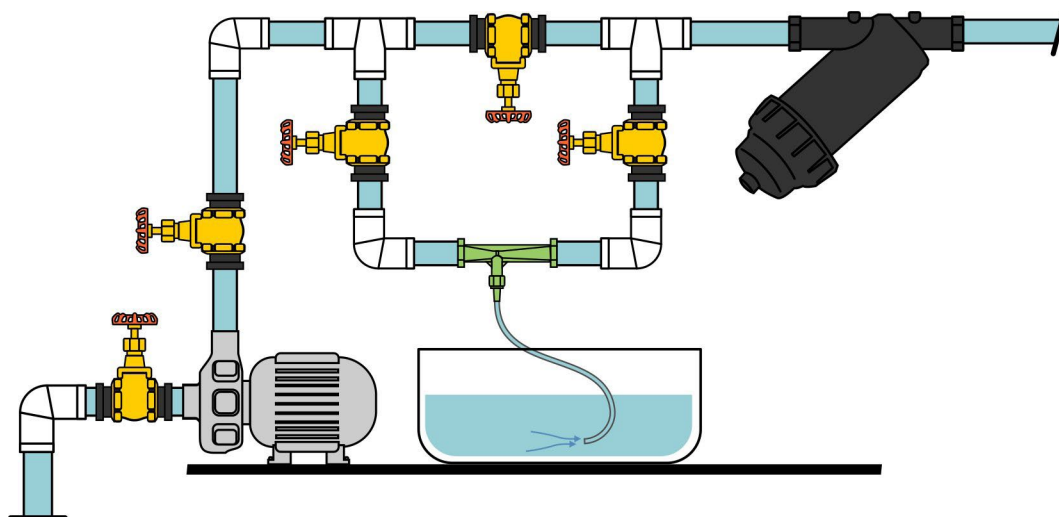


Figura 11.2. Esquema do posicionamento e montagem do injetor tipo Venturi.

Ilustração: Vitor Lôbo.

Por essa razão, o dimensionamento do injetor tipo Venturi deve ser específico para cada projeto, considerando variáveis como a pressão da linha principal, a vazão do sistema, o tipo de fertilizante utilizado e o tempo de aplicação. Em

sistemas com pressão insuficiente ou elevada estabilidade de vazão, recomenda-se o uso de uma bomba *booster* instalada antes do injetor, com a função de gerar o diferencial de pressão necessário para ativar a sucção e garantir o

funcionamento adequado do Venturi. Em sistemas onde a perda de carga é naturalmente elevada, não há necessidade da bomba *booster* (Coelho et al., 2000).

O injetor tipo Venturi é muito utilizado na fertilrigação e seu funcionamento baseia-se na criação de uma pressão negativa por meio do estrangulamento do fluxo da água, que acelera sua velocidade (podendo ultrapassar 5 m/s), gerando sucção da solução fertilizante. Esse princípio é fundamentado no teorema de Bernoulli e na equação da continuidade, conforme descrito por Brito e Pinto (2008).

A solução fertilizante aplicada por injetores tipo Venturi mantém concentração constante durante o tempo de aplicação, mas a vazão de injeção varia conforme a pressão de entrada e a perda de carga da tubulação, de acordo com o modelo e especificações do fabricante (Almeida, 2002; Almeida et al., 2014). Os

modelos mais comuns apresentam vazões entre 50 e 2.000 L/h, com exigência de vazão mínima do sistema variando de 1 m³/h. As principais vantagens do Venturi são baixo custo, simplicidade, energia, durabilidade e baixa manutenção. No entanto, sua principal limitação é a perda de carga, que pode atingir de 10 a 50% da pressão de entrada, exigindo dimensionamento para não comprometer o desempenho do sistema.

O processo de fertilrigação inicia-se com a dissolução dos fertilizantes em um tanque com sistema de agitação, de onde a solução é transferida para o reservatório e injetada no sistema de irrigação, chegando ao solo e às plantas. Esse tanque deve ser confeccionado com material resistente à corrosão química, devido à natureza dos fertilizantes, e o sistema de agitação pode ser manual ou mecânico, garantindo a homogeneidade da solução (Figura 11.3).



Fotos: Helane Santos (A), Maria Medeiros (B e D), Antunes (C)

Figura 11.3. Bomba injetora de fertilizantes de aço inoxidável (A e B); sistema de fertilrigação utilizando bomba injetora centrífuga (C) e água com nutrientes (N e K) para a fertilrigação (D).

Apesar das vantagens, nem sempre é possível utilizar o injetor tipo Venturi, especialmente em sistemas automatizados, com controle preciso de dosagem ou em cultivos que exigem fertirrigação contínua e uniforme. Nesses casos, recomenda-se o uso de outros tipos de equipamentos, como as bombas dosadoras elétricas (pistão, diafragma ou peristálticas), tanques de pressão (fertilizadores hidráulicos) ou sistemas de injeção automatizada com sensores e controladores.

Manejo da fertirrigação

Para garantir a eficiência da fertirrigação, é necessário considerar aspectos como a necessidade nutricional da cultura, frequência e uniformidade da aplicação, preparo e injeção adequada da solução nutritiva, bem como o monitoramento contínuo da fertilização. Um planejamento eficiente deve estar baseado em um diagnóstico detalhado das condições edafoclimáticas locais, com ênfase nas características físicas e químicas do solo e da água de irrigação. A definição das doses de nutrientes deve levar em conta o ciclo da cultura, fenologia, exigências nutricionais, capacidade de fornecimento do solo, concentração de nutrientes na água e eficiência de absorção conforme o método de irrigação adotado (Sousa et al., 2014).

Recentemente, estudos têm demonstrado a eficácia de estratégias de fertirrigação guiadas pela distribuição radicular, um modelo que alinha a densidade de raiz às concentrações no solo, melhora a absorção de nutrientes e reduz perdas por lixiviação (Imbernón Mulero et al., 2023; Li et al., 2023). Os regimes de fertirrigação por gotejamento aumentam significativamente a produtividade, o uso da água e a eficiência no uso de nutrientes, desde que planejados conforme os regimes climáticos e o manejo do sistema radicular (Delbaz et al., 2023).

A fertirrigação do açaizeiro exige planejamento técnico e manejo adaptado às condições regionais, especialmente em solo ácido e de baixa fertilidade. Um estudo recente avaliou

o efeito do parcelamento das adubações de cobertura em plantas com 37 meses, demonstrando que a divisão das aplicações favorece o crescimento radicular e a absorção eficiente de nutrientes (Silva et al., 2025).

Sistemas de fertirrigação que ajustam automaticamente os parâmetros de dose e frequência com base na qualidade da água e no desenvolvimento vegetativo têm se mostrado eficazes no açaizeiro. Essa automação permite atender às necessidades nutricionais sem desperdícios e com controle preciso da adubação (Imbernón Mulero et al., 2023).

A necessidade de nutrientes para a cultura pode ser determinada utilizando-se a Equação 11.2, indicada por Sousa et al. (2014):

$$D_n = \frac{(Q_{nex} - Q_{nfs})}{E_{ff}} \quad (11.2)$$

em que

D_n = dose do nutriente (kg).

Q_{nex} = quantidade do nutriente exportada pela planta (kg).

Q_{nfs} = quantidade do nutriente a ser fornecida pelo solo (t).

E_{ff} = eficiência da fertirrigação.

O manejo da fertirrigação no açaizeiro deve iniciar com a análise da fertilidade do solo, da água de irrigação e da necessidade nutricional da cultura durante seu ciclo produtivo. Embora os estudos ainda sejam limitados, a adubação fosfatada deve ser aplicada no início do período chuvoso. Nitrogênio (N) e potássio (K) devem ser fracionados para melhor absorção (Embrapa, 2022).

A definição da dose de nutrientes também pode ser baseada em recomendações de adubação específicas para cada cultura e região, considerando a produtividade esperada e a capacidade do solo de fornecer nutrientes. No entanto, a definição das doses de nutrientes mais adequadas para as diferentes culturas deve ser definida por meio de pesquisa. Estudos realizados em solos arenosos do Nordeste Paraense, utilizando a fertirrigação, com doses crescentes de N e K, promoveram aumentos na

produtividade em diferentes culturas agrícolas (Borges; Costa, 2002; Lima et al., 2020; Medeiros, 2022; Guerino, 2023).

Frequência de aplicação e distribuição de nutrientes

A fertirrigação é uma técnica que se distingue da adubação convencional, permitindo a aplicação parcelada de nutrientes diretamente na água da irrigação. Esse método pode ser ajustado à marcha de absorção dos nutrientes pelas plantas ao longo de seu ciclo de desenvolvimento (Borges; Costa, 2002; Sousa et al., 2014). A vantagem da fertirrigação está na sua flexibilidade, que possibilita a aplicação dos nutrientes de acordo com as necessidades da cultura, aumenta a eficiência no uso de fertilizantes e pode promover maior produtividade.

A frequência da fertirrigação deve considerar a mobilidade do nutriente e a textura do solo, pois nutrientes mais suscetíveis à lixiviação, como o nitrogênio, necessitam de parcelas mais frequentes que os potássicos, de menor mobilidade, embora, na prática, muitas vezes se adote a mesma frequência para todos. Em solos argilosos, com maior armazenamento de água, a irrigação e a fertirrigação podem ser menos frequentes. Em solos arenosos, que exigem irrigação frequente, a fertirrigação deve acompanhar o turno de rega, com doses menores e mais parceladas.

A fertirrigação é particularmente eficaz em culturas com produção contínua, como o açaizeiro, pois permite que os nutrientes sejam aplicados em quantidades e frequências adequadas à absorção da planta. Para culturas de produção sazonal, a fertirrigação precisa ser ajustada para evitar o acúmulo de sais no solo e o desperdício de fertilizantes (Sousa et al., 2014).

Durante o período chuvoso, recomenda-se a adubação convencional fracionada em detrimento da fertirrigação no cultivo do

açaizeiro. Isto se deve à elevada frequência e intensidade das chuvas, que favorecem a lixiviação dos nutrientes aplicados via água de irrigação, reduzindo sua eficiência agrônômica (Mo et al., 2022; Zhu et al., 2024). Entretanto, no período chuvoso, é indicado realizar o fracionamento da adubação convencional em diferentes aplicações, especialmente com foco em N e K, tornando-se uma estratégia agrônômica mais eficiente, respeitando as condições climáticas da região e o padrão de absorção de nutrientes (Medeiros, 2022). Além disso, a fertirrigação apresenta maior eficiência em regime hídrico controlado, por exemplo, irrigação localizada com lâmina e dose moduladas, condição que não se verifica no período chuvoso (Zheng et al., 2023).

Estudos realizados com a cultura do açaizeiro no estado do Pará resultaram em aumento da produtividade através da aplicação de B sob fertirrigação em condições irrigadas e manejadas (controle de dose e época), o que sustenta a lógica de reservar a fertirrigação para fases ou épocas com melhor controle hídrico e optar por parcelamento convencional durante o pico de chuvas (Lindolfo et al., 2020). Em geral, fertilizantes nitrogenados devem ser aplicados com maior frequência, pois possuem alto potencial de lixiviação e volatilização, principalmente em solos com textura arenosa. Nesse tipo de solo, a alta frequência de aplicação é necessária para reduzir as perdas e garantir a eficiência e a frequência, que varia conforme o tipo de solo e o sistema de irrigação, com intervalos de 1 a 2 dias em solos arenosos e de 2 a 7 dias em solos de textura média ou argilosa (Sousa et al., 2014).

A aplicação mais frequente e em menores quantidades ajuda a reduzir as perdas de nutrientes e a melhorar a eficiência na utilização de fertilizantes, o que resulta em aumento da produtividade. Esse manejo é benéfico em sistemas de irrigação localizada, que têm um controle mais preciso sobre a quantidade de água e nutrientes aplicados (Nascimento et al., 2022). Para o N, a aplicação mais frequente é fundamental, pois evita a

lixiviação, especialmente em solos arenosos com baixa capacidade de retenção de nutrientes (Sousa et al., 2014).

O ciclo de crescimento do açaizeiro é um fator determinante para o manejo eficiente da fertirrigação, devido ao crescimento contínuo, os fertilizantes devem ser ajustados conforme as fases de desenvolvimento da planta, considerando os momentos de maior demanda nutricional. No início do ciclo do açaizeiro, as plantas exigem maior quantidade de N para promover o crescimento vegetativo, a fotossíntese, a clorofila e o aumento da biomassa (Sousa et al., 2014).

Monitoramento da fertirrigação

O monitoramento da fertirrigação é fundamental para avaliar a eficiência da aplicação e distribuição dos fertilizantes, bem como seus efeitos no sistema solo-planta. De acordo com Villas Bôas e Souza (2008), o monitoramento da água e da solução aplicada na fertirrigação pode ser realizado em quatro etapas principais:

- 1) Água de irrigação: acompanhar variações no pH e na CE ao longo do ano, pois a água de irrigação pode ter uma composição variável, dependendo da origem (por exemplo, rios, poços, reservatórios, etc.).
- 2) Solução de estoque de fertilizantes: garantir que a solução estoque tenha a CE esperada, com base nos fertilizantes dissolvidos, pois, se estiver fora do esperado, pode indicar problemas com a preparação da solução estoque, como erros na pesagem ou dissolução incompleta dos fertilizantes.
- 3) Solução nos emissores: verificar a distribuição uniforme da solução nutritiva após o preparo com os fertilizantes. O cálculo da CE na saída dos emissores ajuda a identificar falhas no sistema, como desuniformidade na aplicação.

- 4) Solução no solo: avaliar a dinâmica dos nutrientes no perfil do solo, especialmente a salinidade e disponibilidade de nutrientes para as plantas, a fim de garantir que os nutrientes não se acumulem no solo em concentrações prejudiciais, o que pode afetar a absorção de água pelas plantas.

O monitoramento da concentração da solução injetada e da saída dos emissores deve ser feito por meio de amostragens, avaliando a condutividade elétrica ou os teores de nutrientes aplicados via fertirrigação. Sousa et al. (2000, 2014) recomendam verificar a uniformidade de distribuição a cada 2 meses para identificar possíveis entupimentos, com irrigação localizada. A uniformidade deve ser superior a 90%. Valores menores podem indicar variações de pressão, vazamentos ou emissores defeituosos.

Em cultivos com fertirrigação, é essencial monitorar a dinâmica e a distribuição dos nutrientes no perfil do solo, o que pode ser feito por diferentes métodos, como amostragens do solo e posterior determinação da condutividade elétrica e da concentração de íons ou por meio de extratores de solução do solo, confeccionados com cápsulas porosas utilizadas para confecção de tensiômetros (Figura 11.4).

Após as cápsulas serem instaladas no solo na profundidade desejada, a extremidade superior é fechada e aplica-se vácuo em todos os extratores para facilitar a entrada da solução pela cápsula. A coleta da solução pode ser realizada com pequenas bombas de vácuo ou seringas descartáveis (Figuras 11.4A e 11.4B). Recomenda-se aplicar uma tensão de vácuo de aproximadamente 70 kPa. Após 4 a 24 horas, a solução é retirada utilizando a mesma seringa, acoplada a uma mangueira flexível, para posterior análise no campo ou laboratório (Figura 11.4C).

Segundo Paye et al. (2018) e Souza et al. (2012), essa técnica de diagnóstico é sensível às oscilações dos nutrientes nas plantas, tanto durante o ciclo de cultivo como em resposta a uma adubação com N e K, sendo maior que

todos os outros nutrientes minerais analisados. Para uma análise eficiente, recomenda-se instalar extratores de solução em pelo menos duas profundidades. No sistema de gotejamento, os extratores devem ser posicionados a 10 cm do gotejador da planta, enquanto na microaspersão, a distância ideal é de 50 cm da planta e do extrator (Sousa et al., 2014; Santos, 2019; Santos et al., 2020).



Fotos: Helane Santos

Figura 11.4. Extração da solução do solo (A), soluções armazenadas em recipientes conforme os tratamentos (B) e medição de pH, condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos (TDS) com medidor multiparâmetro portátil (C).

Resultados da produção do açaizeiro fertirrigado no estado do Pará

Em um cultivo de açaizeiro no município de Tomé-Açu, PA, conduzido com três estipes por touceira e espaçamento de 5 x 5 m, Ribeiro et al. (2020) avaliaram a nutrição e a produtividade das plantas após 2 anos consecutivos de fertirrigação (6º e 7º ano pós-plantio). O sistema utilizou microaspersores com vazão de 2,8 mm/h (70 L/h de água) e tempo de irrigação de 1 hora e 30 minutos, fornecendo 105 L de água por touceira. A profundidade efetiva das raízes foi de 30 cm e o suprimento hídrico atendeu 84% da evapotranspiração máxima, considerando o coeficiente de cultura (K_c) do açaizeiro. Os fertilizantes, aplicados por bombas de injeção, totalizaram 1,15 kg por touceira ao ano durante o período avaliado (Tabela 11.3).

A fertirrigação foi realizada semanalmente, com aplicações programadas e fracionadas em um total de 52 aplicações anuais, realizadas a cada 7 dias, de janeiro a dezembro. A solução nutritiva foi injetada por uma bomba multiestágio modelo *booster* de 1 cv, a fim de evitar perdas de cargas no sistema e desníveis durante a aplicação, garantindo maior uniformidade na distribuição dos fertilizantes nas plantas. Após 2 anos de adubação com fertirrigação, a nutrição das plantas de açaizeiros e a produtividade das touceiras foram avaliadas em 80 pontos amostrais no plantio.

A análise nutricional, realizada com base nos folíolos da quinta folha, mostrou que a maior parte das plantas nas touceiras apresentou níveis adequados de nutrientes. Nitrogênio e enxofre foram os mais eficientes, com 79 e 76% das plantas, respectivamente, evidenciando a eficácia da fertilização. No entanto, o manganês foi o mais deficiente, com 43,8% das plantas apresentando carência. Cálcio, magnésio, potássio e boro mostraram deficiência em torno de 25% das plantas, sendo o Ca o segundo nutriente em menor quantidade aplicado via fertirrigação, indicando a necessidade de ajustes no manejo nutricional para equilibrar a oferta desses elementos.

Tabela 11.3. Quantidade das fontes e nutrientes fornecidos na fertirrigação de cultivo comercial de açaizeiro (*Euterpe oleracea*) em Tomé-Açu, Pará.

Fonte			Nutriente fornecido (kg por touceira ao ano)					
Produto	Quantidade (kg)	Nitrogênio (N)	Pentóxido de fósforo (P ₂ O ₅)	Óxido de potássio (K ₂ O)	Enxofre (S)	Cálcio (Ca)	Magnésio (Mg)	Boro (B)
Sulfato de potássio (50% K ₂ O + 17% S)	0,065	–	–	0,033	0,011	–	–	–
Glutamato monossódico + amônia + ácido sulfúrico (17% N, 3% K ₂ O + 8% S)	0,06	0,01	–	0,002	0,005	–	–	–
Monofosfato potássico (52% P ₂ O ₅ + 34% K ₂ O)	0,2	–	0,104	0,068	–	–	–	–
Nitrato de magnésio (11% N + 9,3% Mg)	0,35	0,039	–	–	–	–	0,033	–
Nitrato de potássio (12% N + 43% K ₂ O)	0,25	0,03	–	0,108	–	–	–	–
Nitrato de cálcio (17% N + 19% Ca)	0,15	0,026	–	–	–	0,029	–	–
Ácido bórico 17%	0,075	–	–	–	–	–	–	0,013
Total (kg por touceira)	1,15	0,104	0,104	0,209	0,016	0,029	0,032	0,012
Total (kg/ha)	460	42	41,6	83,6	6,4	11,6	12,8	4,8

Traço (–): informação não aplicável.

Fonte: Ribeiro et al. (2020).

No 2º ano de fertirrigação, a produtividade de frutos frescos ultrapassou 13 kg por touceira, atingindo um máximo de 24 kg por touceira, o que equivale a 9,2 t/ha ao ano. Esse resultado correspondeu a 70% do período produtivo das plantas, o que demonstra o potencial produtivo da cultura quando manejada com técnicas adequadas de fertirrigação, irrigação e adubação em áreas de terra firme.

Outro estudo de caso foi realizado em 2020 na propriedade do produtor rural Anderson Scaramussa, conhecida como Sítio Ouro Verde, localizado no município de Moju, PA. A área de cultivo de açaizeiros irrigados abrange 45 ha, divididos em quatro talhões, com espaçamento de 5 x 2,5 m entre as plantas, totalizando 800 plantas por hectare. O plantio foi iniciado em 2020, sendo manejado com um estipe por touceira. A adubação vem sendo feita por fertirrigação, semanalmente, complementada por adubação granulada a cada 60 dias, garantindo o desenvolvimento adequado das plantas.

O proprietário realiza uma avaliação empírica da nutrição e produtividade das plantas após 2 anos

consecutivos de adubação via fertirrigação (3º e 4º anos após o plantio). Na área em questão, o sistema de distribuição utiliza microaspersores com uma vazão de 75 L/h operando por 2 horas e 30 minutos, considerando uma profundidade efetiva de 30 cm para as raízes. O suprimento hídrico é monitorado com base na umidade do solo, medida por tensiômetros, e os nutrientes são incorporados ao sistema por meio de bombas de injeção.

A fertirrigação é realizada semanalmente, em aplicações programadas que distribuem frações do total de nutrientes, resultando em 40 aplicações anuais. O período de aplicação ocorre a cada 7 dias, de janeiro a dezembro. A fertirrigação foi iniciada aos 9 meses de idade das plantas e foram avaliadas a nutrição das plantas e a produtividade em 30 pontos amostrais por talhão. A avaliação nutricional é fundamentada na análise química do solo e dos folíolos das folhas. Caso seja identificado excesso ou deficiência de algum nutriente, a programação da próxima fertirrigação é ajustada para atender às necessidades identificadas.

No 3º ano de idade das plantas, a produtividade alcançou 3 t/ha e no 4º ano foi de 6,8 t/ha. Além disso, o proprietário acredita que, no 6º ano produtivo, será possível quitar todo o investimento realizado na área. Resultados evidenciam o potencial produtivo da cultura bem manejada com técnicas adequadas de fertirrigação, irrigação e adubação em áreas de terra firme. A adoção de técnicas de irrigação e adubação específicas para o açaizeiro tem permitido a colheita de frutos de qualidade durante todo o ano, contribuindo para a estabilidade econômica dos agricultores e atendendo à crescente demanda do mercado.

É importante ressaltar que a eficácia da fertirrigação depende de um manejo adequado, que considere as necessidades nutricionais da cultura, as características do solo e as condições climáticas locais. A análise foliar periódica é fundamental para monitorar o estado nutricional das plantas e ajustar as doses de fertilizantes, garantindo que os nutrientes estejam em níveis adequados, enquanto deficiências sejam corrigidas oportunamente. Em resumo, a fertirrigação representa uma estratégia eficiente para otimizar a produção de açaí, especialmente em áreas de terra firme, permitindo colheitas durante todo o ano e contribuindo para a sustentabilidade econômica e ambiental da cultura do açaizeiro no Pará.

A decisão de investir em irrigação no açaizeiro deve partir de uma análise econômica por hectare, que explicita o custo com equipamentos, instalação, energia, manutenção, reposições, análises, e compare esses custos com receitas e ganhos de produtividade/qualidade.

A avaliação da viabilidade econômica em culturas perenes é indispensável diante do encarecimento de insumos e do aumento dos custos logísticos, fatores que impactam de forma ainda mais intensa os pequenos produtores. Analisar a rentabilidade, quantificar custos e investimentos e confrontá-los com os benefícios esperados, oferece bases sólidas para um planejamento eficiente e sustentável (Carvalho et al., 2014).

Os fatores climáticos e sazonais exercem impacto na produtividade do açaizeiro. No Pará, a produção alcança seu pico de volume no período chuvoso, que ocorre de dezembro a maio (Dias et al., 2019).

Pesquisas realizadas por Gama (2012) mostram que o uso de sistemas bem manejados com uso de tecnologia no cultivo do açaí elevaram a produtividade para 9 t/ha, superior ao observado em sistemas não manejados.

Segundo Farias Neto et al. (2011), a irrigação e a adubação ajudam a distribuir melhor a safra ao longo do ano, reduzindo a entressafra. No entanto, são necessários mais estudos sobre a quantidade ideal de água e adubação para garantir maior uniformidade na produção. A falta de informações sobre o manejo e a viabilidade econômica do açaizeiro irrigado no Pará destaca a necessidade de estudos mais detalhados, com necessidade de avaliar a viabilidade dessa tecnologia como alternativa de investimento e suas potencialidades na produção.

Considerações finais

A fertirrigação do açaizeiro em áreas de terra firme da Amazônia representa uma alternativa tecnicamente viável e promissora para aumentar a eficiência produtiva e a regularidade da oferta de frutos ao longo do ano. Com um manejo adequado da irrigação e dimensionamento preciso dos sistemas, é possível suprir as exigências nutricionais da cultura durante todo o seu ciclo perene, caracterizado por emissão contínua de cachos, floração, frutificação e colheita. O uso racional da água e dos fertilizantes permite reduzir perdas por lixiviação, melhorar a absorção de nutrientes e minimizar impactos ambientais.

Embora, historicamente, se tenha considerado que o regime pluviométrico da região seria suficiente para atender à demanda hídrica das culturas, estudos demonstram que há períodos de déficit, especialmente entre os meses de julho e novembro, nos quais a irrigação se torna necessária. A introdução da fertirrigação nesse contexto contribui para evitar estagnações no crescimento e na produção, sobretudo em áreas de expansão agrícola e sistemas mais tecnificados. O avanço da fertirrigação depende, porém, de maior capacitação técnica, planejamento detalhado e acesso a tecnologias apropriadas à realidade amazônica.

A formação de novos técnicos, a oferta de cursos especializados e o acesso a fertilizantes e equipamentos na área de fertirrigação são fundamentais e podem ser alcançados com políticas públicas voltadas à assistência técnica, linhas de crédito específicas, validação regional de recomendações nutricionais e incentivos à adoção de boas práticas de manejo. A fertirrigação deve ser entendida como uma ferramenta estratégica e não apenas como um custo adicional. Quando bem implementada, eleva significativamente a produtividade, reduz a alternância de produção e valoriza o fruto no mercado.

Portanto, o desenvolvimento de tecnologias adaptadas ao cultivo do açaizeiro, associadas à adoção de estratégias integradas de manejo da irrigação e nutrição, é essencial para consolidar a fertirrigação, como na sustentabilidade da cadeia produtiva do açaí. Essa prática tem potencial para impulsionar o crescimento da agricultura de base ecológica e fortalecer a competitividade do fruto em mercados exigentes, contribuindo para a geração de renda para os agricultores..

Referências

- ALMEIDA, O. A. Equipamentos de injeção de fertilizantes. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 28-42.
- ALMEIDA, O. A. de; SOUSA, V. F. de; RODRIGUES, B. H. N.; SANTOS, F. J. de S. Métodos e equipamentos para fertirrigação. In: SOUSA, V. F.; MARQUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2014. Cap. 9.
- ÂNGULO, J. L. G. Análise de viabilidade econômica do cultivo irrigado do açaizeiro (*Euterpe oleracea*) no município de Cantá-RR. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 14, n. 3, e2014, 2025.
- BANDYOPADHYAY, A.; GHOSH, D. K.; BISWAS, B.; PARAMESWARAPPA, M. H.; TIMSINA, J. Fertigation effects on productivity, and soil and plant nutrition of coconut (*Cocos nucifera* L.) in the Eastern Indo-Gangetic plains of South Asia. **International Journal of Fruit Science**, v. 19, n. 1, p. 57-74, 2019.
- BARRETO, E. de L.; SILVA, R. C. da; VIEIRA, V. H. G.; PENA, H. W. A. Análise de viabilidade econômica: um estudo aplicado a estrutura de custo da cultura do açaí no estado do Amazonas. **Observatório de la Economía Latino-Americana**, n. 161, p. 1-17, 2012.
- BORGES, A. L.; COELHO, E. F. (ed.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. 2. ed. rev. e ampl. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009. 179 p.
- BORGES, A. L.; COSTA, E. L. Requerimentos de nutrientes para fertirrigação: banana. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 77-84.
- BORGES, A. L.; SILVA, D. J. Fertirrigação para fertilizantes. In: SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap. 7, p. 255-264.
- BRITO, R. A. L.; PINTO, J. M. Aplicação de produtos químicos via irrigação (Quimigação). In: ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. (ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 432-447.
- BURT, C. M.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: Irrigation Training and Research Center-California Polytechnic State University, 1995. 295 p.
- CARVALHO, C. R. F.; PONCIANO, N. J.; SOUZA, P. M. de; SOUZA, C. L. M. de; SOUSA, E. F. de. Viabilidade econômica e de risco da produção de tomate no município de Cambuci/RJ, Brasil. **Ciência Rural**, v. 44, n. 12, p. 2293-2299, 2014.
- COELHO, E. F. Cálculo e preparo da solução de fertilizantes. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 54-67.
- COELHO, E. F.; BORGES, A. L.; SOUSA, V. F. de; SOUSA NETTO, A. A.; OLIVEIRA, A. S. de. **Irrigação e fertirrigação da mangueira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 28 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular técnica, 39).
- COELHO, E. F.; SOUSA, V. F. Aspectos básicos em fertirrigação. In: SOUSA, V. F. de; MARQUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap. 6.
- COELHO, E. F.; SOUSA, V. F. de; PINTO, J. M. Manejo de fertirrigação em fruteiras. **Bahia Agrícola**, v. 6, n. 1, p. 67-70, 2003.
- DELBAS, R.; EBRAHIMIAN, H.; ABBASI, F.; GHAMESHLOU, A. N.; LIAGHAT, A.; RANAZADEH, D. A global meta-analysis on surface and drip fertigation for annual crops under different fertilization levels. **Agricultural Water Management**, v. 289, p. 108504, 2023.
- DIAS, T. S. da S.; SOUZA, E. B. de; JARDIM, M. A. G.; SOUZA, P. J. O. P. de; ROCHA, E. J. P. da; PINHEIRO, A. N.; FRANCO, V. dos S.; SANTOS, R. C. dos; VIDAL, T. S. da S. D. Estimativa climática sazonal da produtividade de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) no estado do Pará - cenários futuros. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 517-533, 2019.
- DUNHAS, L. H.; VILLAS BÔAS, R. L.; SOUZA, C. M. P. de; RAGOZO, C. R. A.; BULL, L. T. Fertirrigação com diferentes doses de N P K e seus efeitos sobre a produção e qualidade

de frutos de laranja (*Citrus sinensis* O.) 'Valência'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 214-218, 2002.

EMBRAPA. Nutrição e adubação. **Portal Embrapa**, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/acai/producao/tratos-culturais/nutricao-e-adubacao>. Acesso em: 5 ago. 2025.

FALESI, L. A.; SANTANA, A. C. de; HOMMA, A. K. O.; GOMES, S. C. Evolução e interação entre a produção e o preço das frutas no Estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 53, n. 1, p. 69-77, 2010.

FARIAS NETO, J. T. de; RESENDE, M. D. V. de; OLIVEIRA, M. do S. P. de. Seleção simultânea em progênies de açaizeiro irrigado para produção e peso do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 2, p. 532-539, 2011.

GAMA, A. S. **Produtividade de açaí sob irrigação (Euterpe oleracea Mart.)**. 2012. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA.

GUERINO, R. S. **Desenvolvimento e fisiologia da pimenteira-do-reino submetida a diferentes doses de nitrogênio e potássio via fertilirrigação**. 2023. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA.

GUERRA, A. G.; ZANINI, J. R.; NATALE, W.; PAVANI, L. C. Frequência da fertilirrigação da bananeira prata-anã com nitrogênio e potássio aplicados por microaspersão. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 80-88, 2004.

HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L.; MENEZES, A. J. E. A. de; CARVALHO, J. E. U. de; NICOLI, C. M. L.; MATOS, G. B. de. Açaí: novos desafios e tendências. **Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, v. 1, n. 2, p. 7-23, 2006.

HOMMA, A. K. O.; CARVALHO, J. E. U. de; MENEZES, A. J. E. A. de; FARIAS NETO, J. T. de; MATOS, G. B. de. **Custo operacional de açaizeiro irrigado com microaspersão no Município de Tomé-Açu**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 8 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 219).

IMBERNÓN MULERO, A.; MAESTRE-VALERO, J. F.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, V.; GARCÍA-GARCÍA, F. J.; JÓDAR-CONESA, F. J.; GALLEGU-ELVIRA, B. Evaluation of an autonomous smart system for optimal management of fertigation with variable sources of irrigation water. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, article 1149956, 2023.

JUNK, W. J.; MELLO, N. Impactos ecológicos das represas hidroelétricas na Bacia Amazônica brasileira. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 8, p. 126-143, 1990.

LANDIS, T. D. Mineral nutrients and fertirrigation. In: LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; McDONALD, S. E.; BARNETT, J. P. **The container tree nursery manual**. Washington, D.C.: Department of Agriculture, Forest Service, 1989. p. 1-67. (Agricultural Handbook, 674).

LI, Z.; ZOU, H.; LAI, Z.; ZHANG, F.; FAN, J. Optimal drip fertigation regimes improved soil micro-environment, root growth and grain yield of spring maize in arid northwest

China. **Agronomy**, v. 13, n. 1, article 227, 2023.

LIMA, V. M.; LIMA JUNIOR, J. A. de; BRONZE, A. B. da S.; AVIZ, W. L. C. de; MATOS, A. P. de; SILVA, L. de S.; MELO, D. da L. Yield and quality of fertigated papaya fruits submitted to potassium doses in Northeast Pará. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 280-294, 2020.

LINDOLFO, M. M.; MATOS, G. S. B. de; PEREIRA, W. V. da 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.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MARQUELLI, W. A.; OLIVEIRA, A. S. de; COELHO, E. F.; NOGUEIRA, L. C.; SOUSA, V. F. de. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V. F. de; MARQUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertilirrigação em fruteiras e hortaliças**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 5.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MEDEIROS, J. F.; SOUSA, V. F. de; MAIA, C. E.; COELHO, E. F.; MARQUELLI, W. A. Determinação e preparo da solução de fertilizantes para fertilirrigação. In: SOUSA, V. F.; MARQUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertilirrigação em fruteiras e hortaliças**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2014. Cap. 8.

MEDEIROS, M. B. C. L. **Fisiologia e produção do coqueiro (Cocos nucifera, L.) submetido a irrigação e fertilirrigação no Nordeste Paraense**. 2022. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

MO, X.; PENG, H.; XIN, J.; WANG, S. Analysis of urea nitrogen leaching under high-intensity rainfall using HYDRUS-1D. **Journal of Environmental Management**, v. 312, article 114900, 2022.

MONTAG, U. J. Fertigation in Israel. In: AGRICULTURAL CONFERENCE ON MANAGING PLANT NUTRITION, 1999, Barcelona. **Proceedings**. [S.l.]: IFA, 1999. 24 p.

MONTAG, G.; SCHNECK, C. **Horticultural fertigation-techniques, equipment and management**. 1999. Disponível em: <http://www.agric.nsw.gov.au/Arm/Water/pub/1009.htm>. Acesso em: 14 set. 2025.

NASCIMENTO, J. T. do; MEDEIROS, M. do B. C. L.; LIMA JÚNIOR, J. A. de; SANTOS, H. C. A.; OLIVEIRA, P. D. de. Effect of different soil water tensions and potassium fertilization on the production and quality of netted melon (*Cucumis melo* L.) in the Amazon area. **Australian Journal of Crop Science**, v. 16, n. 4, p. 441-446, 2022.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C. de. Benefícios socioeconômicos da adoção de novas tecnologias no

cultivo do açaí no Estado do Pará. **Revista Ceres**, v. 63, n. 1, p. 1-7, 2016.

PAYE, H. de S.; DIMENSTAIN, L.; VILLAS BOAS, R. L.; CHISTÉ, L.; DIAS, A. G.; SOUZA, T. R. de. Novas tecnologias para avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas.

Incaper em Revista, v. 9, p. 42-50, 2018.

PINTO, J. M.; SILVA, D. J. **Fertilizantes e agroquímicos aplicados via água de irrigação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2021. 60 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 302).

RIBEIRO, F. O.; FERNANDES, A. R.; MATOS, G. S. B. de; LINDOLFO, M. M.; GUEDES, R. S.; RODRIGUES, G. R. Spatial variability in leaf analysis and productivity of fertirrigated açaí. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 6, p. 800-808, 2020.

SANTOS, H. C. A. **Nutrição nitrogenada na cultura do pimentão fertirrigado, submetido a diferentes tensões de água no solo – efeitos no crescimento, produtividade e rendimento econômico**. 2019. 186 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA.

SANTOS, H. C. A.; LIMA JUNIOR, J. A.; SILVA, A. L. P.; CASTRO, G. L. S.; GOMES, R. F. Yield of fertigated bell pepper under different soil water tensions and nitrogen fertilization. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 172-183, 2020.

SILVA, E. F. F.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Aspectos qualitativos da água para fins de fertirrigação. In: SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap. 3, p. 289-316.

SOUZA, V. F.; COELHO, E. F. Manejo de fertirrigação em fruteiras. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C. do; RESENDE, R. S. (org.). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Bento Gonçalves: Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 289-317.

SOUZA, V. F. de; CONCEIÇÃO, M. A. F.; FOLEGATTI, M. V.; ALENCAR, C. M.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, R. A. Distribuição de fertilizantes sob diferentes concentrações da solução aplicada via água de irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000.

SOUZA, V. F. de; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; NOGUEIRA, L. C.; COELHO, M. A.; ARAÚJO, A. R. de. Manejo da fertirrigação

em fruteiras e hortaliças. In: SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2014. Cap. 10.

SOUZA, V. F. de; PINTO, J. M.; COELHO, E. F. Manejo de fertirrigação. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 43-53.

SOUZA, R. O. R. de M.; PANTOJA, A. V.; AMARAL, M. C. M. do; PEREIRA NETO, J. A. Cenário da agricultura irrigada no Estado do Pará. **Irriga**, v. 17, n. 2, p. 177-188, 2012.

VIÉGAS, I. de J. M.; GONÇALVES, A. A. da S.; FRAZÃO, D. A. C.; CONCEIÇÃO, H. E. O. da. Efeitos das omissões de macronutrientes e boro na sintomatologia e crescimento em plantas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart). **Revista de Ciências Agrárias**, n. 50, p. 129-141, 2008.

VILLAS BOAS, R. L.; BERTANI, R. M. A.; ALMEIDA, A. M.; SAMPAIO, A. C.; FUMIS, T. F. Fertirrigação para iniciantes. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 3, n. 2, 2006.

VILLAS BÔAS, R. L.; SOUZA, T. R. Fertirrigação: uso e manejo. In: SIMPÓSIO EM SISTEMAS AGROSILVIPASTORIS NO SEMI-ÁRIDO, 1., 2008, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: PPGZ/CST/UFCC, 2008. 1 CD-ROM.

VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. (ed.). **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliça**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 293-319.

VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fertilizantes e fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, 1., 1993, Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 261-281.

ZHENG, J.; ZHOU, M.; ZHU, B.; FAN, J.; LIN, H.; REN, B.; ZHANG, F. Drip fertigation sustains crop productivity while mitigating reactive nitrogen losses in Chinese agricultural systems: Evidence from a meta-analysis. **Science of The Total Environment**, v. 886, article 163804, 2023.

ZHU, X.; MIAO, P.; ZHU, H.; LI, W.; LIANG, X.; WANG, L.; CHEN, Z.; ZHOU, J. Extreme precipitation accelerates nitrate leaching in the intensive agricultural region with thick unsaturated zones. **Science of The Total Environment**, v. 918, article 170789, 2024.

