

Aspectos bioquímicos de plantas jovens de açaizeiro (*Euterpe oleracea*) sob dois regimes hídricos na Amazônia Oriental

Yvens Ely Martins Cordeiro^{1*}, Francinei Bentes Tavares², Afonso Welliton de Sousa Nascimento³, Heriberto Wagner Amanajás Pena⁴

1. Biólogo (Universidade Federal do Pará). Doutor em Ciências Agrárias (Universidade Federal Rural da Amazônia). Professor da Universidade Federal do Pará, Brasil.

2. Licenciado em Ciências Agrárias (Universidade Federal do Pará). Doutor em Sociologia (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Professor da Universidade Federal do Pará, Brasil.

3. Licenciado em Ciências Sociais (Universidade da Amazônia). Doutor em Educação (Universidade Federal do Ceará). Professor da Universidade Federal do Pará, Brasil.

4. Economista (Universidade da Amazônia). Doutor em Ciências Agrárias (Universidade Federal Rural da Amazônia). Professor da Universidade do Estado do Pará, Brasil.

*Autor para correspondência: yvenscordeiro@yahoo.com.br

RESUMO

Na floresta Amazônica, o açaizeiro (*Euterpe oleracea*, Mart.) destaca-se por ser a palmeira mais utilizada desse Estuário, tanto em frutos como em gêneros derivados da planta. O fruto, matéria-prima para a obtenção do suco de açaí, bebida símbolo do estado do Pará, é o principal produto oriundo da palmeira. O Brasil se posiciona como o maior produtor, consumidor e exportador desse produto. O experimento foi realizado em casa de vegetação pertencente a Embrapa Amazônia Oriental, nos meses de setembro a novembro de 2015. O déficit hídrico por dezesseis dias resultou em alterações consideráveis na manutenção da turgescência e crescimento de plantas. O estudo revelou que o déficit hídrico de 16 dias em plantas de açaizeiro promoveu aumento nas concentrações de sacarose, carboidratos solúveis totais, prolina e glicina-betaína, osmorreguladores estes que mantiveram o status hídrico nas folhas das plantas.

Palavras-chave: Amazônia, açaí, estresse hídrico, osmorreguladores.

Biochemical behavior of saplings of açaí (*Euterpe oleracea*) under two water regimes in Eastern Amazonia

ABSTRACT

In the Amazon rainforest, the açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) stands out as being the most used palm of this estuary, both in fruits and in genera derived from the plant. The fruit, raw material to obtain the juice of açaí, symbolic drink of the state of Pará, is the main product coming from the palm tree. Brazil is the largest producer, consumer and exporter of this product. The experiment was carried out in a greenhouse belonging to Embrapa Amazônia Oriental, from September to November 2015. The water deficit for sixteen days resulted in considerable changes in the maintenance of turgescence and plant growth. The study revealed that the 16-day water deficit in açaizeiro plants promoted an increase in the concentrations of sucrose, total soluble carbohydrates, proline and glycine-betaine, these osmoregulators that maintained the water status in the leaves of the plants.

Keywords: Amazon; açaí; water stress; osmoregulation.

Introdução

Na floresta Amazônica, o açaizeiro (*Euterpe oleracea*, Mart.) destaca-se por ser a palmeira mais utilizada desse Estuário, tanto em frutos como em gêneros derivados da planta. O fruto, matéria-prima para a obtenção do suco de açaí, bebida símbolo do estado do Pará, é o principal produto oriundo da palmeira. O Brasil se posiciona como o maior produtor, consumidor e exportador desse produto (MENEZES, 2005).

A espécie *Euterpe oleracea* ocorre espontaneamente no Brasil, nos estados do Amapá, Pará, Maranhão, Tocantins e Mato Grosso, onde são consumidos na forma de bebidas, doces, geléias e sorvetes. Seu habitat natural são regiões de várzea, mas também pode ser encontrada em regiões de terra firme.

De modo geral, os programas de reflorestamento na região Amazônica se dão por meio do plantio de mudas de espécies nativas da própria região, sendo realizados preferencialmente nas épocas do ano de ótima disponibilidade hídrica. Porém, na região Amazônica, o clima predominante é do tipo Afi, caracterizado pela abundância de chuvas durante todo o ano (acima de 2.500 mm anuais) e, no mês de menor precipitação, as chuvas alcançam até 60 mm, segundo a classificação de Köppen (BASTOS et al., 1986). Contudo, o plantio de mudas pode ocorrer em meses mais secos do ano, ou naqueles sujeitos a períodos de veranico. Nesse caso, a evapotranspiração geralmente excede as médias das precipitações, caracterizando uma condição de deficiência hídrica limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas (KRAMER; BOYER, 1995).

A maioria das espécies desenvolve adaptações para evitar a perda de água via transpiração, uma vez que a sua absorção é comprometida. Logo, estratégias que resultem em fechamento estomático tornam-se novamente de grande importância para a manutenção do status hídrico da planta. Essas estratégias culminam na síntese de agentes químicos como citocininas e/ou ácido abscísico (FARQUHAR; SHARKEY, 1982; KRAMER; BOYER, 1995; ASSMAN; SHIMAZAKI, 1999) ou de solutos osmoticamente ativos, como prolina

(HANDA et al., 1986; ASHRAF; FOOLAD, 2005; CARVAHO, 2005; SILVA et al., 2004), glicina-betaína (ASHRAF; FOOLAD, 2005), aminoácidos solúveis (CARVALHO, 2005), carboidratos solúveis (FILHO; SERAPHIN, 2001), dentre outros, que ao se acumularem no vacúolo das células da folha proporcionam incrementos consideráveis no gradiente de potencial hídrico entre folha – raiz – solo, num processo chamado ajuste osmótico, corroborando para uma maior absorção de água. A síntese desses compostos geralmente inicia pela percepção da diminuição do potencial hídrico do solo pelas raízes acoplado a um eficiente mecanismo de transdução de sinais, culminando, em geral, no fechamento estomático.

Em plantas sob déficit hídrico, o acúmulo de açúcares livres pode ser decorrente da restrição à síntese de proteínas e da hidrólise das reservas de amido, bem como de distúrbios causados pela deficiência de água nos tecidos do floema, reduzindo a sua translocação para outros órgãos. Esses compostos provocam a manutenção da turgescência, mesmo com a diminuição do potencial hídrico foliar, garantindo a expansão celular e o crescimento (NILSEN; ORCUTT, 1996). A importância e contribuição dos solutos envolvidos no ajustamento osmótico em resposta à deficiência hídrica variam com a espécie (MORGAN, 1984). Em forrageiras tropicais, o potássio foi apontado como sendo um dos solutos de maior importância (FORD; WILSON, 1981), enquanto em soja, os principais solutos acumulados foram os aminoácidos, a glicose, a frutose e a sacarose (MEYER; BOYER, 1981).

Poucos trabalhos relatam aspectos bioquímicos em plantas jovens de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) quando submetidos à restrição hídrica em sua fase inicial de crescimento. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento bioquímico de plantas jovens de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) sob condições de plena irrigação e de déficit hídrico, ou seja, como as plantas podem modificar seu metabolismo diante de escassez de água, déficit hídrico, dentre outros possíveis estresses ambientais.

Material e Métodos

Condições experimentais

O experimento foi realizado em casa de vegetação pertencente a EMBRAPA Amazônia Oriental, nos meses de setembro a novembro de 2015. Plantas jovens de açazeiro (*Euterpe oleraceae* Mart), de 5 meses de idade, propagadas sexuadamente, foram adquiridas junto ao Laboratório de Sementes e Mudanças Florestais da Aimex (Benevides-Pa) e transplantadas (uma planta por vaso) para vasos contendo 8 kg de um latossolo amarelo, textura média, previamente seco ao ar e peneirado para retirada de impurezas. Durante todo o período experimental, as plantas foram mantidas em casa de vegetação, com irrigações diárias a fim de repor a água perdida por evapotranspiração. Esta operação foi realizada individualmente em cada vaso, levando-se em conta as pesagens diárias individuais de cada conjunto (vaso + solo + planta). O controle de ervas daninhas foi realizado por meio de capina manual, enquanto nenhuma ocorrência de pragas foi registrada.

Após 30 dias do transplante (período de aclimação), as plantas foram submetidas à irrigação diferenciada, compondo dois regimes hídricos diferentes (tratamentos), a saber: irrigado (controle) e déficit hídrico. Para o tratamento irrigado, as plantas foram mantidas sob constante irrigação conforme descrito anteriormente; enquanto para o tratamento de déficit hídrico as plantas foram submetidas à suspensão completa da irrigação durante todo o período experimental subsequente. A avaliação dos tratamentos foi realizada aos 0, 4, 8, 12 e 16 dias da imposição do déficit hídrico, tempo este determinado em experimento preliminar e necessário para promover um déficit hídrico severo, evidenciado pela determinação do potencial hídrico na antemanhã (Ψ_{am}) das plantas sob estresse ($\Psi_{am} = -2,62 \pm 0,07$ MPa), quando comparadas às plantas controle ($\Psi_{am} = -0,05 \pm 0,01$ MPa). Os efeitos do déficit hídrico foram avaliados por meio de variáveis bioquímicas.

Variáveis bioquímicas

Amostras para a determinação dos teores foliares de sacarose, prolina, carboidratos solúveis totais, proteínas solúveis totais, aminoácidos, glicina-betaína e amônia livre foram coletadas a partir de folíolos completamente maduros, do segundo par de folhas definitivas e completamente expandidas contadas a partir do ápice. Os folíolos foram destacados das plantas nos mesmos horários em que foram conduzidas as medições de trocas gasosas e imediatamente acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de ventilação forçada até a massa constante, a qual foi realizada a 70 °C, por 72 h. Após a secagem, os mesmos foram triturados a pó fino, armazenados em frascos hermeticamente fechados encerrados em um dessecador até o momento da análise.

Os teores de sacarose foram determinados utilizando-se o método proposto por Van Handel (1968). Para os cálculos, uma curva padrão de sacarose foi preparada e os resultados foram expressos em mg de sacarose g⁻¹ Matéria Seca (MS).

Os teores de prolina foram determinados de acordo com Bates et al. (1973). A concentração de prolina foi determinada por meio de uma curva de calibração de prolina e o resultado expresso em $\mu\text{mol prolina g}^{-1}$ MS.

Os carboidratos solúveis totais foram determinados pelo método de Dubois et al. (1956). Para os cálculos foi utilizada curva-padrão de glicose e os resultados foram expressos em $\mu\text{g glicose g}^{-1}$ MS.

As proteínas solúveis totais foram determinadas utilizando o método proposto por Bradford (1976).

Para os teores de glicina-betaína foram determinados pelo método proposto por Grieve e Grattan, 1983.

Para a determinação das concentrações de aminoácidos solúveis totais em folhas foi utilizado o método descrito segundo Peoples et al. (1989). Em seguida, os extratos foram congelados para posterior determinação de N- α -amino.

As concentrações de aminoácidos solúveis totais foi determinada a partir da curva-padrão através de uma mistura-padrão de L-asparagina + L-glutamina (Sigma) e os resultados expressos em mol

de AA/ g MS.

Para a determinação das concentrações de amônio livre em folhas, foi utilizado o método segundo Weatherburn (1967). Os resultados foram expressos em mmol de NH_4^+ / Kg de MS.

Análise estatística

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (controle e déficit hídrico) e cinco repetições (cada repetição composta por uma planta apenas? Se cada repetição foi composta por apenas uma planta há grande possibilidade de não representatividade dos dados obtidos, principalmente devido as mudas não serem provenientes de multiplicação clonal e sim provavelmente de sementes de progênes de meio-irmãos, que possuem variabilidade genética). As variáveis bioquímicas, determinadas no período de 9:00 às 11:00hs, foram submetidas à análise de variância e posteriormente analisadas por meio de regressão linear, cuja significância foi averiguada pelo teste F ($P < 0,05$).

Resultados e Discussão

Para o açai, foi observado que os teores foliares de carboidratos solúveis totais (CST) para as plantas controle seguiram uma tendência diferente daquela observada para as plantas sob déficit (Figura 1). Para as plantas irrigadas, os teores de CST seguem a mesma tendência das plantas estressadas até o 8º dia após a imposição dos tratamentos exibindo um comportamento representado por um modelo quadrático ($y = 0,0005x^2 - 0,0094x + 0,6373$, $R^2 = 0,78$). Por outro lado, as plantas estressadas apresentam maior teor de CST a partir deste período, acompanhado de um progressivo aumento a partir do 12º dia (Figura 1), melhor representado por um modelo linear de regressão ($y = 0,0008x^2 - 0,0026x + 0,591$, $R^2 = 0,9808$).

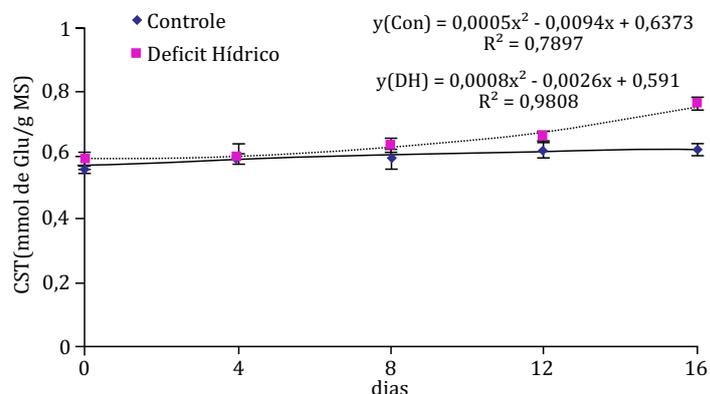


Figura 1. Teores foliares de Carboidratos solúveis totais (CST) em plantas jovens de açai (*Euterpe oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação (Controle, linha cheia e símbolos azuis) e de déficit hídrico (Déficit hídrico, linha tracejada e símbolos róseos). Os dados referem-se às médias de cinco repetições erro padrão da média, tomadas no horário de 9:00 às 11:00 horas. Coeficientes de determinação indicam significância da regressão pelo teste F ($P < 0,05$). / **Figure 1.** Total soluble carbohydrates (CST) in young açai plants (*Euterpe oleraceae* Mart) under full irrigation conditions (Control, full line and blue symbols) and water deficit (Water deficit, dashed line and pink symbols). The data refer to the means of five replicates standard error of the average, taken from 9:00 am to 11:00 am. Determination coefficients indicate significance of the regression by the F test ($P < 0,05$).

Sabe-se que em plantas sob déficit hídrico, o acúmulo de carboidratos solúveis totais (CST) na folha, principalmente os de baixo peso molecular pode resultar da hidrólise das reservas de amido e subseqüentes reações de isomerização da glicose, bem como de distúrbios causados pela deficiência de água no floema, reduzindo a translocação destes para outros órgãos. Esses compostos provocam a manutenção da turgescência, mesmo com a diminuição do potencial hídrico foliar, garantindo a expansão celular e o crescimento. Os carboidratos encontrados nas folhas são alterados em quantidade e qualidade durante o estresse hídrico (CHAVES; OLIVEIRA, 2004) e podem agir como sinal em resposta ao estresse (CHAVES; MAROCO; PEREIRA 2003). A função de sinalizadores dos açúcares pode ser adaptativas - osmoregulação, mas ainda não está totalmente esclarecida (NILSEN; ORCUTT, 1996).

O acúmulo de carboidratos simples foi também evidenciado em plantas de *Gossypium hirsutum* submetidas ao déficit hídrico. Assim, tanto o potencial hídrico quanto o potencial osmótico (Ψ_s) foram significativamente afetados pelo período seco, independente da cultivar em questão. As reduções no Ψ_w e no Ψ_s foram acompanhadas de incrementos de duas a cinco vezes nos teores de glicose e sacarose (TIMPA et al., 1986). Um aumento no teor de CST foi também observado em folhas de *Medicago sativa* como resposta ao déficit hídrico. Os teores de CST foram de 90 mg g⁻¹ MS para um potencial hídrico de -1,5 MPa e de 170 mg g⁻¹ MS para um potencial hídrico de -2,8 MPa (IRIGOYEN et al., 1992).

Um comportamento bastante diferente foi observado para o acúmulo de Aminoácidos solúveis totais foliares (AST), o qual manteve uma tendência de incremento com o decorrer dos dias, independente do tratamento (Figura 2). No entanto, a linha de tendência para as plantas controle seguiu um modelo quadrático ($y = -0,0749x^2 + 3,5426x + 190,13$, $R^2 = 0,93$), enquanto as estres-sadas ($y = -0,0088x^2 + 4,3658x + 200,36$, $R^2 = 0,95$). A partir do 8º dia da restrição hídrica, as concentrações de AST das plantas sob déficit hídrico tiveram incrementos significativamente superiores em relação às plantas controle.

Corroborando com os dados de Irigoyen et al. (1992), Maia et al. (2007), trabalhando com duas variáveis de milho (prontinha e dente de cavalo) verificou que os teores de aminoácidos solúveis totais foram significativos entre as duas cultivares e entre as condições experimentais, havendo variação nos cultivares a medida que os estresse hídrico aumentou. Os teores de aminoácidos solúveis totais sofreram elevação. Tal variação foi de 0,192 μmol de aminoácidos/g MS nas plantas irrigadas para 0,590 μmol de aminoácidos/g MS nas plantas sob estresse hídrico na cultivar pontinha. Portanto, houve um acréscimo de 207,82%. Na cultivar dente de cavalo, esse acréscimo foi de 52,56%, variando de 0,469 μmol de aminoácidos/g MS nas plantas irrigadas a 0,715 μmol de aminoácidos/g MS nas plantas com estresse hídrico. Este fato se deve, provavelmente, a redução na intensidade de síntese protéica com a diminuição de água no solo, além de que, há um aumento da síntese de enzimas proteases, as quais têm a função de degradar as proteínas, quebrando as ligações peptídicas, originando aminoácidos (COSTA, 1999).

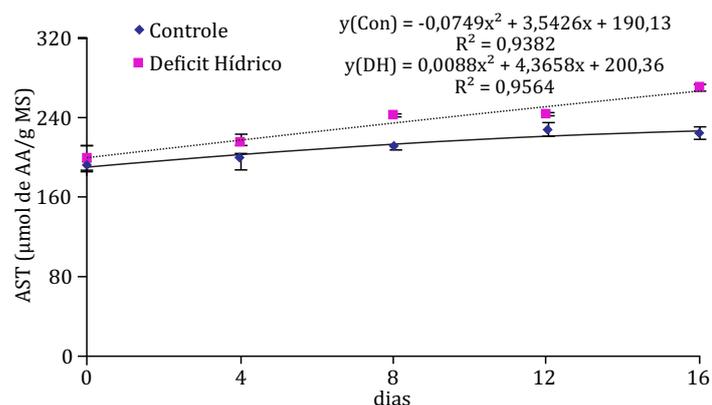


Figura 2. Teores foliares de aminoácidos solúveis totais (AST) em plantas jovens de açaí (*Euterpe oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação (Controle, linha cheia e símbolos azuis) e de déficit hídrico (Déficit hídrico, linha tracejada e símbolos róseos). Os dados referem-se às médias de cinco repetições erro padrão da média, tomadas no horário de 9:00 as 11:00 horas. Coeficientes de determinação indicam significância da regressão pelo teste F ($P < 0,05$). / **Figure 2.** Total soluble amino acid (AST) leaf content in young açaí plants (*Euterpe oleraceae* Mart) under full irrigation conditions (Control, full line and blue symbols) and water deficit (Water deficit, dashed line and pink symbols). The data refer to the means of five replicates standard error of the average, taken from 9:00 am to 11:00 am. Determination coefficients indicate significance of the regression by the F test ($P < 0,05$).

Dentre as substâncias relacionadas à manutenção do *status* hídrico foliar via ajustamento osmótico testadas nesse experimento, foi observado que o aumento mais expressivo para as plantas sob déficit hídrico foi relacionado à prolina (Figura 3), glicina – betaína (Figura 5), e sacarose (Figura 7) principalmente a partir do 8º dia em relação às Dentre as substâncias relacionadas à manutenção do

status hídrico foliar via ajustamento osmótico testadas nesse experimento, foi observado que o aumento mais expressivo para as plantas sob déficit hídrico foi relacionado à prolina (Figura 3), glicina – betaína (Figura 5), e sacarose (Figura 7) principalmente a partir do 8º dia em relação às plantas controle. Para essas plantas, o acúmulo de prolina obedeceu à equação de segundo grau $y = 0,0043x^2 + 0,012x + 3,8232$, $R^2 = 0,95$, enquanto para as plantas irrigadas o teor de prolina manteve-se constante durante os dias de experimento (Figura 3). A prolina é um aminoácido caracterizado pela presença de um grupo imino, e por essa razão, chamado por alguns autores de iminoácido. Ao se acumular no citosol, atua diminuindo o potencial osmótico da folha e consequentemente seu potencial hídrico, favorecendo a absorção de água, mesmo sob baixa condutância estomática, pois aumenta a magnitude do gradiente de potencial hídrico ao longo da planta. O acúmulo de prolina pode ocorrer por meio de duas vias biossintéticas nas plantas: uma via dependente de ornitina e uma via dependente de glutamato. A biossíntese da Prolina a partir do glutamato parece ser a via predominante, especialmente sob circunstâncias de estresse (DELAUNEY; VERMA, 1993; DELAUNEY et al., 1993). Nogueira et al. (2001) registrou um incremento na concentração de prolina foliar em plantas de *Malpighia emarginata* após 20 dias de déficit hídrico. Carvalho (2005) trabalhou com plantas jovens de *S. amazonicum* (paricá) e *S. parahyba* (guapuruvu) submetidas à deficiência hídrica por dois ciclos de deficiência hídrica diferentes: um primeiro de seis dias (com redução do Ψ_{am} para cerca de -1,4 a -2,0 MPa), seguindo-se de rehidratação por três dias, e um segundo ciclo de desidratação por nove dias, com reduções mais brandas do Ψ_{am} . Foi observado que no primeiro ciclo de desidratação, as plantas jovens de *S. amazonicum* apresentaram um acúmulo de prolina sensivelmente maior (irrigadas = 1,23 g.cm⁻² e não-irrigadas = 1,50 g.cm⁻²) que as plantas de enquanto *S. parahyba* (irrigadas = 1,01 g.cm⁻² e não-irrigadas = 1,41 g.cm⁻²). Acúmulos significativos foram também verificados nas duas espécies supracitadas no segundo ciclo de deficiência hídrica. Outros autores encontraram um significativo acúmulo de prolina em resposta ao déficit hídrico, como, por exemplo, em *C. pyramidalis* (SILVA et al., 2004), *Lycopersicon esculentum* (HANDA et al., 1986) e *Zea mays* (ARRAZATE et al., 2005). A maior concen-tração de solutos encontradas em plantas sob deficiência hídrica indica uma capacidade de ajustamento osmótico, que é uma característica de interesse em plantas resistentes à seca.

Para o açaí, foi observado que os teores foliares de proteínas solúveis totais (PST) para as plantas controle seguiram uma tendência diferente daquela observada para as plantas sob déficit (Figura 4). Para as plantas irrigadas, os teores de PST seguem a mesma tendência das plantas estressadas até o 8º dia após a imposição dos tratamentos exibindo um comportamento representado por um modelo quadrático ($y = -0,0002x^2 + 0,0434x + 26,205$, $R^2 = 0,4129$, por que o coeficiente de determinação está tão baixo aqui?). Por outro lado, as plantas estressadas apresentam menor teor de PST a partir deste período, acompanhado de um progressivo declínio a partir do 12º dia (Figura 4), melhor representado por um modelo linear de regressão ($y = -0,0732x^2 + 0,524x + 25,882$, $R^2 = 0,98$).

Resultados semelhantes foram encontrados por Lechinoski et al. (2007), que trabalhando com plantas de teca (*Tectona grandis* L. f.), verificou que os teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais nas plantas irrigadas, foram constantes e com poucas variações durante os nove dias do experimento, entretanto, nas plantas sob estresse hídrico, houve uma diminuição drástica nos teores de proteínas solúveis totais de 47,814 proteínas g-1 MS (plantas irrigadas) para 2,593 proteínas g-1 MS (plantas com nove dias de estresse hídrico), com um decréscimo de 94,57%, este resultado esta relacionado ao aumento da atividade de enzimas proteolíticas, que quebram as proteínas de reservas das plantas e da diminuição da síntese de proteínas, haja vista que a deficiência afeta todo seu processo bioquímico.

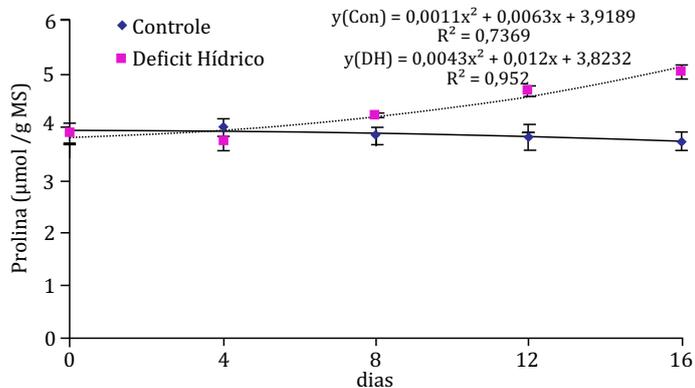


Figura 3. Teores foliares de Prolina (PRO) em plantas jovens de açaí (*Euterpe oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação (Controle, linha cheia e símbolos azuis) e de déficit hídrico (Déficit hídrico, linha tracejada e símbolos róseos). Os dados referem-se às médias de cinco repetições erro padrão da média, tomadas no horário de 9:00 as 11:00 horas. Coeficientes de determinação indicam significância da regressão pelo teste F ($P < 0,05$). / **Figure 3.** Proline (PRO) foliar contents in young açai plants (*Euterpe oleraceae* Mart) under full irrigation conditions (Control, full line and blue symbols) and water deficit (Water deficit, dashed line and pink symbols). The data refer to the means of five replicates standard error of the average, taken from 9:00 am to 11:00 am. Determination coefficients indicate significance of the regression by the F test ($P < 0,05$).

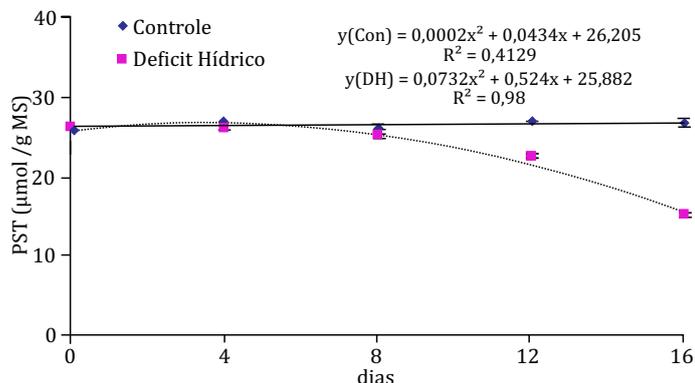


Figura 4. Teores foliares de Proteínas Solúveis Totais (PST) em plantas jovens de açaí (*Euterpe oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação (Controle, linha cheia e símbolos azuis) e de déficit hídrico (Déficit hídrico, linha tracejada e símbolos róseos). Os dados referem-se às médias de cinco repetições erro padrão da média, tomadas no horário de 9:00 as 11:00 horas. Coeficientes de determinação indicam significância da regressão pelo teste F ($P < 0,05$). / **Figure 4.** Total soluble protein content (PST) in young açai plants (*Euterpe oleraceae* Mart) under full irrigation conditions (Control, full line and blue symbols) and water deficit (Water deficit, dashed line and pink symbols). The data refer to the means of five replicates standard error of the average, taken from 9:00 am to 11:00 am. Determination coefficients indicate significance of the regression by the F test ($P < 0,05$).

O estresse hídrico afeta intensamente o metabolismo do nitrogênio nas plantas, o que acarreta diminuição na síntese de proteínas e acumulação de aminoácidos e amônia (RABE, 1993). Em relação ao papel das proteínas solúveis, além do ajustamento osmótico em si, Mansour (2000) relaciona o acúmulo de proteínas solúveis, durante o estresse hídrico, à manutenção de um estoque de nitrogênio para ser reutilizado ao término do estresse.

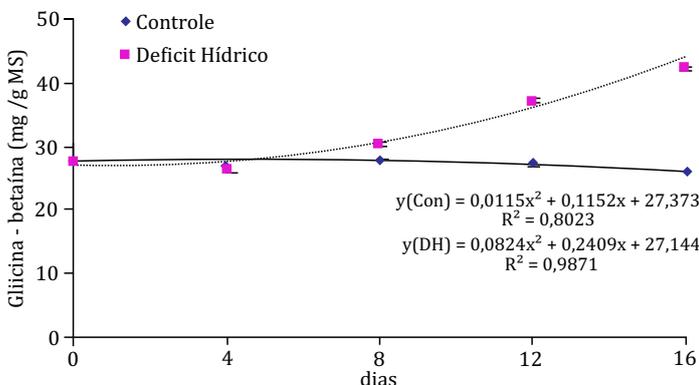


Figura 5. Teores foliares de Glicina - betaína (GB) em plantas jovens de açaí (*Euterpe oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação (Controle, linha cheia e símbolos azuis) e de déficit hídrico (Déficit hídrico, linha tracejada e símbolos róseos). Os dados referem-se às médias de cinco repetições erro padrão da média, tomadas no horário de 9:00 as 11:00 horas. Coeficientes de determinação indicam significância da regressão pelo teste F ($P < 0,05$). / **Figure 5.** Glycine-betaine (GB) leaf content in young plants of açai (*Euterpe oleraceae* Mart) under full irrigation conditions (Control, full line and blue symbols) and water deficit (Water deficit, dashed line and pink symbols). The data refer to the means of five replicates standard error of the average, taken from 9:00 am to 11:00 am. Determination coefficients indicate significance of the regression by the F test ($P < 0,05$).

A glicina betaína é requerida para proteger a planta, mantendo o contrapeso da água entre célula vegetal e o ambiente, estabilizando

as macromoléculas (CHEN; MURATA, 2002;). As plantas sintetizam a glicina betaína por duas reações de oxidação da colina (Colina Betaína aldeído glicina betaína) (RHODES; HANSON, 1993).

Neste experimento, foi observado nas plantas de açaizeiro, que os teores foliares de Amônia livre (AL) para as plantas controle seguiu um comportamento diferente daquela observada para as plantas sob déficit (Figura 6). Para as plantas irrigadas, os teores de AL sofreram poucas variações no decorrer do experimento, enquanto que nas plantas sob déficit hídrico, houve declínios significativos a partir do 4º dia após a diferenciação dos tratamentos. As plantas irrigadas normalmente exibiram um comportamento representado por um modelo quadrático ($y = 0,012x^2 - 0,1929x + 26,94$, $R^2 = 0,8962$).

Estes resultados comprovam que a deficiência hídrica diminuiu expressivamente as concentrações de amônio livre em consequência da possível redução da fotossíntese, haja vista que a mesma esta intimamente ligada ao metabolismo do nitrogênio, além do que, a falta de água na folha pode ter inibido a atividade da aRN (Figura 6).

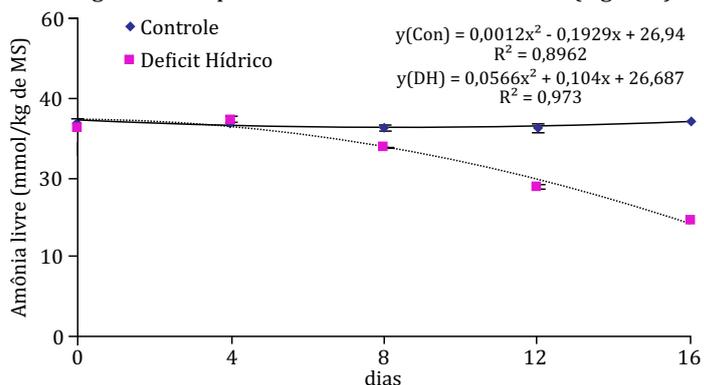


Figura 6. Teores foliares de Amônia livre (AL) em plantas jovens de açaí (*Euterpe oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação (Controle, linha cheia e símbolos azuis) e de déficit hídrico (Déficit hídrico, linha tracejada e símbolos róseos). Os dados referem-se às médias de cinco repetições erro padrão da média, tomadas no horário de 9:00 as 11:00 horas. Coeficientes de determinação indicam significância da regressão pelo teste F ($P < 0,05$). / **Figure 6.** Leaf free ammonia (LA) in young açai plants (*Euterpe oleraceae* Mart) under full irrigation conditions (Control, full line and blue symbols) and water deficit (Water deficit, dashed line and pink symbols). The data refer to the means of five replicates standard error of the average, taken from 9:00 am to 11:00 am. Determination coefficients indicate significance of the regression by the F test ($P < 0,05$).

Os resultados de sacarose abaixo (Figura 7) sugerem que a sacarose tem importante papel na abertura estomática das plantas de açaí, independente da disponibilidade hídrica; porém, estudos mais detalhados se fazem necessário para confirmar essa proposição. De qualquer forma, o acúmulo de sacarose em função do déficit hídrico foi também observado para *Glycine max* (MEYER; BOYER, 1981). O aumento das concentrações de açúcares resulta na maior parte da hidrólise do amido, que requer atividade de enzimas hidrolíticas. As plantas recuperadas do estresse e as sementes de muitas plantas superiores são bons exemplos para a ligação do acúmulo de hidratos de carbono (sacarose em particular) com a aquisição da tolerância ao estresse (HOEKSTRA et al., 2001).

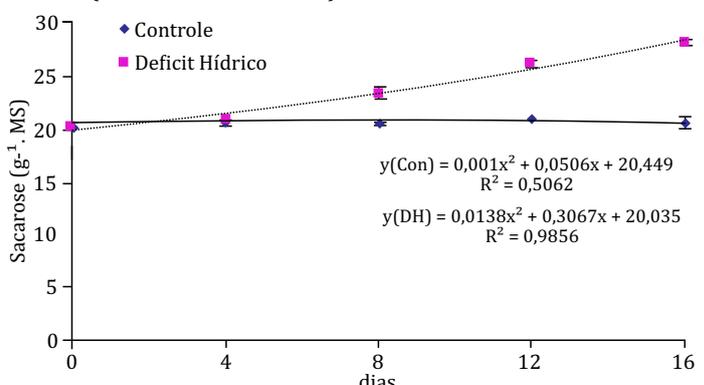


Figura 7. Teores foliares de Sacarose (SAC) em plantas jovens de açaí (*Euterpe oleraceae* Mart) sob condições de plena irrigação (Controle, linha cheia e símbolos azuis) e de déficit hídrico (Déficit hídrico, linha tracejada e símbolos róseos). Os dados referem-se às médias de cinco repetições erro padrão da média, tomadas no horário de 9:00 as 11:00 horas. Coeficientes de determinação indicam significância da regressão pelo teste F ($P < 0,05$). / **Figure 7.** Sucrose contents (SAC) in young açai plants (*Euterpe oleraceae* Mart) under full irrigation conditions (Control, full line and blue symbols) and water deficit (Water deficit, dashed line and pink symbols). The data refer to the means of five replicates standard error of the average, taken from 9:00 am to 11:00 am. Determination coefficients indicate significance of the regression by the F test ($P < 0,05$).

Conclusões

O déficit hídrico por dezesseis dias em plantas jovens de açazeiro (*Euterpe oleracea*) resultou em alterações consideráveis nas variáveis bioquímicas avaliadas, principalmente nos teores foliares de prolina, glicina- betaína e sacarose, considerado uma estratégia eficiente na manutenção do status hídrico foliar.

O déficit hídrico por dezesseis dias resultou em reduções significativas nas variáveis bioquímicas (amônia livre e proteínas solúveis totais) indicando que a biossíntese de nitrogênio é afetado pela falta de água no solo.

Os osmoreguladores analisados neste experimento são importantes substâncias responsáveis pela manutenção da turgescência celular e por conseguinte para a manutenção do crescimento quando as plantas de açazeiro estão sob déficit hídrico.

Referências Bibliográficas

- ALASALVAR, C.; AL-FARSI, M.; QUANTICK, P.C.; SHAHIDI, F.; WIKTOROWICZ, R. Effect of chill storage and modified atmosphere packing (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. **Food Chemistry**, v. 89, p. 69-76, 2005.
- ARRAZATE, C. H. A.; LÓPEZ, C. T.; CASTAÑEDA, C. L.; GALÁN, M.; VARELA, A. S.; GONZÁLES, F. C. Comparación de la tolerancia a la séquia de cuatro variedades de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la acumulación de prolina. **Inter-ciencia**, v. 30, p. 560-564, 2005.
- ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p. 206-216, 2007.
- BASTOS, T. X.; CHAIB FILHO H.; MUNIS, T. D. A. S.; LOBATO, V. H. B. Flutuação das chuvas na região de Belém em distintos intervalos de tempo, período 1967-1983. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1986, **Anais...**, Belém: EMBRAPA-CPATU, v. 1, 1986, p.37-43.
- CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, v. 29, p. 907-914, 2005.
- CAVALCANTE, P. **Frutas comestíveis da Amazônia**. Belém: CEJUP. 1991. 271p.
- CHEN, T. H. H.; MURATA, N. Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 5, p. 250-257, 2002.
- COSTA, R. C. L. **Assimilação de Nitrogênio e Ajustamento Osmótico em Plantas Noduladas de Feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] Submetidas ao Estresse Hídrico**. Tese de doutorado. UFC/DBBM, março. 1999.
- DELAUNEY, A.; VERMA, D.P.S. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. **Plant Journal**, v. 4, p. 215-223, 1993.
- DELAUNEY, A. J.; HU, C. A. A.; KAVI KISHOR, P. B.; VERMA, D. P. S. Cloning of ornithine aminotransferase cDNA from *Vigna aconitifolia* by trans-complementation in *Escherichia coli* and regulation of proline biosynthesis. **Journal of Biological Chemistry**, v. 268, p. 18673-18678, 1993.
- DERSON, A. B. Use and management of native forests dominated by açai palm (*Euterpe oleracea* Mart.) in the amazon estuary. In: BALICK, M. J., ed. The palm - tree of life: biology, utilization and conservation. **Advances in Economical botany**, v. 6, p. 144-154, 1986.
- FARQUHAR, G. D.; SHARKEY, T. D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 33, p. 317-345, 1982.
- FILHO, J. T. C.; SERAPHIN, E. S. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, p. 199-204, 2001.
- FORD C. W.; WILSON J. R. Changes in levels of solutes during osmotic adjustment to water stress in leaves of four tropical pasture species. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 8, p. 77-91, 1981.
- HANDA, S.; HANDA, A.K.; HASEGAWA, P.M.; BRESSAN, R.A. Proline accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress. **Plant Physiology**, v. 80, p. 938-945, 1986.
- HENDERSON, A.; GALEANO, G. **Euterpe, Prestoea, and Neonicholsonia (Palmae: Euterpinace)**. New York: New York botanical Garden, 1996. 90p (Flora Neotropica, 72).
- HOEKSTRA, F. A.; GOLOVINA, E. A.; BUITINK, J. Mechanisms of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, London, v.6, n.9, p. 431-438, 2001.
- IADEROZA, M.; BALDINI, I. S. D.; BOVI, M. L. A. Anthocyanins from Fruits of Açai (*Euterpe oleracea*, Mart.). **Tropical Science**, 32: 41-46, 1992.
- IRIGOYEN, J. J. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfafa (*Medicago sativa*). **Plants Physiology Plantarum**, v. 45, p. 103-111, 1992.
- JONES, DL. **Palms: throughout the world**. Washington Smithsonian Institution. 1995. 410p.
- KHAN, F. **Les palmiers de l'Eldorado**. Paris: Éditions de l'opstom. 1997. 252p.
- KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water Relations of Plants and Soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.
- KUSKOSKI, E.M.; FETT, P.; ASUERO, A. G. Antocianos: un grupo de pigmentos naturales. Aislamiento, identificación y propiedades. **Alimentaria**, v. 2, n. 61, p. 61-74, 2002.
- LECHINOSKI, A.; FREITAS, J. N. M.; CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. S.; NETO, C. F. O.; CUNHA, R. L. M. Influência do Estresse Hídrico nos Teores de Proteínas e Aminoácidos solúveis Totais em Folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 927-929, 2007.
- MAIA, P. S. P.; NETO, C. F. O.; CASTRO, I. S.; LOBATO, A. K. S.; SANTOS, P. C.; COSTA, R. C. L. Resposta do Déficit Hídrico sobre o CRA e Teor de Aminoácidos Solúveis Totais em Folhas de Duas Variedades de Milho (*Zea mays* L.) **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 912-914, 2007.
- MANSOUR, M.M.F. Nitrogen containing compounds and adaptation of plants to salinity stress. **Biologia Plantarum**, v.43, p.491-500, 2000.
- MENEZES, E. M. S. **Efeito da alta pressão hidroestática em polpa de açai pré-congelada (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2005. 83pp.
- MEYER, R. F.; BOYER, J. S. Osmoregulation, solute distribution, and growth in soybean seedlings having low water potentials. **Planta**, v. 151, p. 482-489, 1981.
- MORGAN, J.M. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 35, p. 299-319, 1984.
- NILSEN, E.T.; ORCUTT, D.M. **Physiology of plants under stress: abiotic factors**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 689 p.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.1, p. 75-87, 2001.
- PEOPLES, M. B.; FAIZAH, A. W.; REAKASEM, B. E HERRIDGE, D. F. Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field. **Australian Centre for International Agricultural Research** Canberra. p. 76. 1989.
- RABE, E. Altered nitrogen metabolism under environmental stress conditions. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of plant and crop stress**. New York: CRC, 1993. p. 349-364.
- RHODES, D.; HANSON, A.D. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. **Annual Review in Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.44, p. 357-384, 1993.
- ROGEZ, H.; DE SOUZA, J. N. S.; NASCIMENTO, M. Q.; BUXANT, R. Branqueamento dos frutos de açai (*Euterpe oleracea*, Mart.) para diminuição da carga microbiana do suco. **Anais da Associação Brasileira de Química**, v. 45, n. 4, p. 177-184, 1996.
- SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO A. D.; BRITO J. Z.; CABRAL E. L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Iheringia**, v. 59, p. 201-205, 2004.
- SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; NETO, A.D.A.; SANTOS, V.F.S. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico, São Paulo, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, v. 17, p. 231-246, 2003.
- SOUTO, R. N. M. **Uso da radiação g, combinada à refrigeração, na conservação de polpa de açai (*Euterpe oleracea*, Mart.)**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2001. 95pp.
- TIMPA, J. D.; BURKE, J. J.; QUISENBERRY, J. E.; WENDT, C. W. Effects of water stress on the organic acid and carbohydrate compositions of cotton plants. **Plant Physiology**, v. 82, p. 724-728, 1986.
- VILLACHIA H.; CARVALHO, J. E. U.; MÜLLER, C. H.; DIAZ, S. C.; ALMANZA, M. **Frutales y hortalizas promissórios de la amazônia**. Lima: Tratado de Cooperación Amazônica, 1996. 367p. (TCA - SPT, 44).
- WEATHERBURN, M. W. Phenol hipochlorite reaction for determination of amonia. **Analytical Chemistry**, v. 39, p. 971-974, 1967.