



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
DOUTORADO EM AGRONOMIA
EXAME DE DEFESA

DEBORAH LUCIANY PIRES COSTA

**PRODUÇÃO E VIABILIDADE ECONÔMICA DE AÇAIZEIRO (*Euterpe oleracea*
Mart.) IRRIGADO EM MONOCULTIVO E CONSORCIADO COM
CUPUAÇUZEIRO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS EM
CASTANHAL-PA, LESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

BELÉM-PA
2021

DEBORAH LUCIANY PIRES COSTA

**PRODUÇÃO E VIABILIDADE ECONÔMICA DE AÇAIZEIRO (*Euterpe oleracea*
Mart.) IRRIGADO EM MONOCULTIVO E CONSORCIADO COM
CUPUAÇUZEIRO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS EM
CASTANHAL-PA, LESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural
da Amazônia, como parte das exigências do
Programa de Pós Graduação em Agronomia, para
obtenção do título de Doutora.

Área de concentração: Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira
Ponte de Souza.

**BELÉM-PA
2021**

DEBORAH LUCIANY PIRES COSTA

**PRODUÇÃO E VIABILIDADE ECONÔMICA DE AÇAIZEIRO (*Euterpe oleracea*
Mart.) IRRIGADO EM MONOCULTIVO E CONSORCIADO COM
CUPUAÇUZEIRO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS EM
CASTANHAL-PA, LESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Doutora. Área de concentração: Agronomia.

_____/_____/_____
Data de aprovação

Banca examinadora

(Orientador)

Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

(Membro 1)

Antônia B. da Silva Bronze - Interno
Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra)

(Membro 2)

Lucieta Guerreiro Martorano - Externo
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Amazônia Oriental)

(Membro 3)

Thieres George Freire da Silva - Externo
Universidade Federal de Pernambuco (UFRPE)

(Membro 4)

Wellington Farias Araujo
Universidade Federal de Roraima (UFRR)

DEDICATÓRIA

Dedico a todos os meus mestres, amigos e familiares, em especial à meu amigo, Leandro Carvalho, que quando em vida sempre me incentivou a evoluir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pelo dom da vida;

Aos meus familiares pelo apoio, educação, amor e carinho;

À Ufra pelo apoio direto indireto no decorrer do curso;

Ao PGAGRO pela oportunidade em realizar o curso de doutorado;

Ao meu orientador, Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza, pela dedicação com a qual me orientou;

Aos funcionários da Fazenda Escola de Castanhal (FEC) pelo apoio logístico durante os anos experimentais, em especial ao Sr. Raimundo Nonato;

Ao Gilson Silva e seus familiares por ceder a área experimental, pela amizade e incentivo durante essa caminhada;

Ao grupo de pesquisa ISPAAm pelo apoio durante os anos de estudo, em especial aos companheiros de pós-graduação João Novoa, Hildo Nunes, Joyse Santos, Grasiela Dias e Vandeilson Belfort;

Aos coorientados que tive durante o curso do doutorado: Erika Teixeira, Igor Vieira, Bianca Nunes, Bruno Gama, Matheus Silva, Adrielle Monteiro, Maria de Lourdes Velame, Denilson Barreto, Matheus Rua, Stefany Lisboa e João Vitor Souza;

Aos professores Marcos Antônio e Gisele Barata pela amizade e companheirismo;

Aos amigos do estabelecimento do João, Renato, Antônia, Edna e Wendel;

À amiga Nena, que sempre esteve ao meu lado demonstrando amor e felicidade nos momentos de felicidade e dificuldade;

À minha mãe, Eronita Pires, pelo amor e fundamentação de valores;

À Eronildes Pires, Jean Almeida e Helena Almeida pelo amor, amizade e incentivo;

Aos meus irmãos Kely Pires, Vânia Pires, Keila Pires e Edson Pires pelo amor e dedicação;

Aos amigos de longa data Aline Santos, Diego Domingues, Luciana Barreto, Marina Costa, Milena Machado, Rayanne Melo, Tarsila Rocha e Watilla Covre pelo incentivo, amor e carinho em momentos de dificuldade;

Aos amigos e colegas do grupo de espiritualidade, pelo incentivo a paciência e resiliência em momentos de dificuldades;

E a todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

“O correr da vida embrulha tudo. A vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem”

Guimarães Rosa

RESUMO

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma espécie vegetal nativa da Amazônia, cujos frutos têm destaque no mercado brasileiro e internacional. O crescimento da demanda por esses frutos incentivou o crescimento de plantios irrigados em terra firme. No entanto, o manejo da irrigação nesses cultivos ainda não foi consolidado, pois não existem avaliações técnicas e econômicas sobre os diferentes sistemas de cultivo adotados pelos agricultores na região. O objetivo deste estudo foi avaliar a produção e a viabilidade econômica do cultivo de açaizeiro sob diferentes lâminas de irrigação em monocultivo e consorciado com cupuaçuzeiro nas condições micrometeorológicas de Castanhal, estado do Pará, leste da Amazônia brasileira. O experimento foi conduzido em área de 0,6 ha (1°19'24,48 "S e 47°57'38,20" W, 41 m), dimensionado em delineamento inteiramente casualizado, onde foram avaliados 8 e 10 repetições para açaizeiro e cupuaçuzeiro, respectivamente. Na área experimental, uma torre micrometeorológica foi instalada para quantificar a precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação global incidente e conteúdo volumétrico de água no solo. A irrigação foi estimada com base em frações da evapotranspiração de referência: TS (sem irrigação - sequeiro), T50, T100 e T150, referentes a 50%, 100% e 150%, respectivamente. Durante 2018 e 2019, foram avaliados a fenologia reprodutiva do açaizeiro, produtividade, eficiência do uso da água e indicadores de viabilidade econômica do açaizeiro e do cupuaçuzeiro. Os resultados indicaram que a disponibilidade hídrica afetou significativamente a produtividade e a eficiência do uso da água do açaizeiro. A reposição de 150% da evapotranspiração de referência promoveu melhor desempenho, com ganhos na produtividade entre 43.35% (monocultivo) e 44.04% (consórcio) quando comparado com cultivo sem irrigação. A máxima eficiência do uso da água foi alcançada com a aplicação de T150, correspondente a 3.89 kg ha⁻¹ mm⁻¹, na área de monocultivo, enquanto a mínima foi igual a 0.92 kg ha⁻¹ mm⁻¹. O cupuaçuzeiro teve melhor desempenho em resposta ao T100, cuja produção de frutos foi 68% maior que no TS, seguindo a mesma tendência da eficiência do uso da água, a qual foi máxima no T100 (2,615 kg ha⁻¹ mm⁻¹) e mínima no TS (1,105 kg ha⁻¹ mm⁻¹). Os indicadores econômicos revelaram que todos os tratamentos são viáveis em ambos os sistemas de cultivos, mas a irrigação promoveu melhores desempenhos, especialmente a reposição de 100% da evapotranspiração de referência no consórcio, com valor presente líquido (VPL) de US\$9,952.80, taxa interna de retorno (TIR) de 44.35% e relação benefício/custo (B/C) de 1.95. Por outro lado, o sequeiro resultou em indicadores mais baixos, com destaque para o monocultivo, que apresentou VPL de US\$1,696.24, TIR de 21.35% e relação B/C de 1.19. Portanto, o açaizeiro consorciado com cupuaçuzeiro e irrigado com 100% da evapotranspiração de referência gera maior lucratividade aos agricultores.

Palavras-chaves: Açaí-de-touceira; Cupuaçu; Irrigação; Microclima; Rendimento;

ABSTRACT

The açai palm (*Euterpe oleracea* Mart.) is a plant species native to the Amazon, whose fruits are prominent in the Brazilian and international markets. The growing demand for these fruits encouraged the growth of irrigated plantations on dry land. However, the management of irrigation in these cultivations has not yet been consolidated, since there are no technical and economic assessments considering the different cultivation systems adopted by farmers in the region. The objective of this study was to evaluate the production and economic viability of açai palm cultivation under different irrigation depths in monoculture and intercropped with cupuaçu trees in the micrometeorological conditions of Castanhal, state of Pará, eastern Brazilian Amazon. The experiment was conducted in area of 0.6 ha (1°19'24.48 "S and 47°57'38.20" W, 41 m), dimensioned in a completely randomized design, where 8 and 10 replications were evaluated for açai palms and cupuaçu trees, respectively. In the experimental area, a micrometeorological tower was installed to quantify rainfall, air temperature and relative humidity, wind speed, global incident radiation and soil volumetric water content. Irrigation was estimated based on reference evapotranspiration fractions: TS (without irrigation - rainfed), T50, T100 and T150, referring to 50%, 100% and 150%, respectively. During 2018 and 2019, the reproductive phenology of açai palm, yield, water use efficiency and economic viability indicators of açai palm and cupuaçu tree were evaluated. The results indicated that water availability significantly affected the yield and water use efficiency in the açai palm cultivation. The replacement of 150% of the reference evapotranspiration promoted better performance, with yield gains between 43.35% (monoculture) and 44.04% (intercropping) when compared to cultivation without irrigation. The maximum water use efficiency was achieved with the application of T150, corresponding to 3.89 kg ha⁻¹ mm⁻¹, in the monoculture area, while the minimum was equal to 0.92 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Cupuaçu tree had better performance in response to T100, whose fruit production was 68% higher than in TS, following the same trend of water use efficiency, which was maximum in T100 (2.615 kg ha⁻¹ mm⁻¹) and minimum in TS (1.105 kg ha⁻¹ mm⁻¹). The economic indicators revealed that all treatments are viable in both cultivation systems, but irrigation promoted better performances, especially the replacement of 100% of the reference evapotranspiration in the intercropping, with net present value (NPV) of US\$9,952.80, internal rate of return (IRR) of 44.35%, and benefit/cost (B/C) ratio of 1.95. On the other hand, rainfed resulted in lower indicators, especially monoculture, which presented NPV of US\$1,696.24, IRR of 21.35% and B/C ratio of 1.19. Therefore, the cultivation of açai palm intercropped with cupuaçu trees and irrigated with 100% of the reference evapotranspiration generates greater profitability for farmers.

Keywords: Açai-de-touceira; Cupuaçu; Irrigation; Microclimate; Yield.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

% - Percentual;

°C – graus Celsius;

A - Área de captação da calha;

ANA - Agência Nacional de Águas;

CE – Custo de energia;

d - dia;

DPV – Déficit de pressão de vapor;

ea – pressão de vapor de água;

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;

es – pressão de saturação de vapor de água;

ET – evapotranspiração;

ET0 – evapotranspiração de referência;

EUA – eficiência do uso da água;

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura;

G - Fluxo de calor no solo;

h – hora;

IA – Intensidade de aplicação de água;

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMAZON - Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia

kg – quilograma;

L - litro;

LB – Lâmina bruta de irrigação;

m – metro;

m² - metro quadrado;

MJ – megajoule;

mm - milímetro;

Nf – numero de frutos.

Pa - Pascal;

P_{ef} - Precipitação efetiva;

Pf – produtividade de frutos;

PN – ponto de nivelamento;

Rg – radiação global incidente;

Rn – Saldo de radiação;

s – segundo;

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas;

SEDAP - Secretaria estadual de agricultura, abastecimento e pesca;

Tar – Temperatura do ar;

TI – Tempo de irrigação;

TIR – Taxa interna de retorno;

U₂ – Velocidade do vento a 2 metros;

UR – Umidade relativa do ar;

V - Volume de água coletado;

VPL – valor presente líquido;

Y – produtividade

Δ – declividade da curva de saturação de vapor de água;

θ – teor de água no solo;

Υ – constante psicrométrica.

LISTA DE FIGURAS

CONTEXTUALIZAÇÃO

Figura 1. Produtividade de açaizeiro no Brasil, Pará e nas mesorregiões paraense. 16

CAPÍTULO 2

Figura 2. 1. Plantio de açaizeiro (*Euterpe oleracea Mart.*) na Amazônia, em solos de terra firme. **b** Cachos de frutos de açaizeiro. **c** frutos – açaí em diferentes estádios de maturação.. 35

Figura 2. 2. Localização e croqui experimental, Castanhal-PA. 38

Figura 2. 3. Variabilidade Mensal das condições meteorológicas durante os anos de 2018 e 2019 no plantio comercial de açaizeiro, Castanhal-PA. Em **(A)** e **(E)**: radiação global incidente e temperatura do ar ; **(B)** e **(F)**: velocidade do vento a 2 metros acima do dossel e deficit de pressão de vapor d'água; **(C)** e **(G)**: Média da Evapotranspiração de referência e Precipitação pluviométrica efetiva – ocorrida no monocultivo; e Rainfall – total de chuvas ocorridas no consórcio); **(D)** e **(H)**: conteúdo volumétrico de água no solo , nos tratamentos: T_R - Rainfed treatment; $T_{50\%}$ - 50% fraction of reference evapotranspiration (ET0); $T_{100\%}$ - 100% fraction of ET0; and $T_{150\%}$ - referring to 150% of ET0..... 44

Figura 2. 4. Precipitação e irrigação diária, e precipitação cumulativa e irrigação durante as safras de 2018, 2019.1 e 2019.2 de açaizeiro. **(A)** monocultivo e **(B)** consórcio. As setas indicam o início e o final do uso de irrigação. 45

Figura 2. 5. Percentual de plantas de açaizeiro com presença de cachos maduros durante os anos de 2018 e 2019. 47

CAPÍTULO 3

Figura 3. 1. Localização da área experimental. Castanhal, Pará, Brasil. 61

Figura 3. 2. Variáveis ambientais entre o período de abril de 2018 à março de 2020, área experimental com cultivo de cupuaçuzeiro, Castanhal, Pará, Brasil. **A.** Precipitação efetiva (Pef) e temperatura do ar (Tar). **B.** Evapotranspiração de referência (ET0) e umidade volumétrica do solo (US) dos tratamentos TS – sequeiro; T_{50} – fração de 50% da ET0; T_{100} – fração de 100% da ET0; T_{150} – fração de 150% da ET0..... 66

Figura 3. 3. Funções de respostas da produtividade e eficiência do uso da água do cupuaçuzeiro sob diferentes disponibilidades hídricas (Lâmina de água aplicada - LA), município de Castanhal-PA. **A** e **B** - produtividade (P) nas safras de 2018/2019 e 2019/2020,

respectivamente; **C e D** - eficiência do uso da água (EUA) nas safras de 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente. 68

CAPÍTULO 4

Figura 4. 1. Localização da área experimental, plantio comercial de açaizeiro em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira. 77

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 2. 1. Caracterização físico-química e hídrica do solo da área experimental.	39
Tabela 2. 2. Irrigação e chuva efetiva durante o período de aplicação dos tratamentos no plantio comercial de açaizeiro, Castanhal-PA. Em 2018, os tratamentos foram aplicados durante os meses de setembro a novembro, e em 2019, nos meses de setembro a dezembro.	46
Tabela 2. 3. Valores médios de comprimento do cacho, produtividade de frutos de açaizeiro e eficiência do uso da água na área de monocultivo e de consórcio, em diferentes lâminas de irrigação, nas três safras avaliadas, Castanhal-PA.	48

CAPÍTULO 3

Tabela 3. 1. Caracterização química e físico-hídricos do solo da área experimental, plantio de cupuaçuzeiro em Castanhal-PA.	62
Tabela 3. 2. Lâmina de água aplicada, valores médios da produtividade e eficiência do uso da água do cupuaçuzeiro, nas safras de 2018/2019 e 2019/2020, município de Castanhal-PA. ..	66

CAPÍTULO 4

Tabela 4. 1. Características química e físico-hídrico do solo da área experimental, plantio comercial de açaizeiro em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.	78
Tabela 4. 2. Condições meteorológicas e irrigação nos anos experimentais, 2018 e 2019, plantio comercial de açaizeiro em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.	83
Tabela 4. 3. Descrição dos custos operacionais efetivos (COE) agrupados em irrigação, implantação, insumos, tratos culturais, colheita e outros custos de taxas, 1 ha, de plantio de açaizeiro em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.	83
Tabela 4. 4. Custo operacional total (COT) em 1 ha, kg de fruto de açaí e unidade de fruto de cupuaçu, em plantio comercial de açaizeiro em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.	84
Tabela 4. 5. Produtividade e receita líquida, 1 ha, de açaizeiro em monocultivo, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.	85

Tabela 4. 6. Produtividade e receita líquida, 1 ha, de açaizeiro consorciado com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.....	86
Tabela 4. 7. Indicadores econômicos, por ha, de açaizeiro cultivado em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.	87

SUMÁRIO

CONTEXTUALIZAÇÃO.....	15
Referências	19
CAPÍTULO 1: FENOLOGIA REPRODUTIVA DE AÇAIZEIRO EM MONOCULTIVO E CONSÓRCIO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICA, CASTANHAL-PA, LESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA	23
Introdução	24
Material e Métodos	24
Resultados e Discussão.....	29
Conclusão	32
Referências	32
CAPITULO 2 - PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA DE AÇAIZEIRO IRRIGADO EM MONOCULTIVO E CONSÓRCIO NAS CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL ÚMIDO DO LESTE DA AMAZÔNIA.....	34
Introdução	35
Material e Métodos	37
Resultados	42
Discussão	50
Conclusão	53
Referências	54
CAPITULO 3 - PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA DE CUPUAÇUZEIRO IRRIGADO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE CASTANHAL- PA, AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	58
Introdução	59
Material e Métodos	61
Resultados e Discussão.....	65
Conclusão	70

Referências	70
CAPÍTULO 4 - VIABILIDADE ECONÔMICA DE AÇAIZEIRO IRRIGADO EM MONOCULTIVO E CONSÓRCIO, LESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA	73
Introdução	74
Material e Métodos	76
Resultados	82
Discussão	87
Conclusão	90
Referências	90
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93

CONTEXTUALIZAÇÃO

O açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart., família Arecaceae) é uma espécie nativa da Amazônia brasileira (KAHN, 1991) e seu nome é um termo de origem tupi yasa'y(i), que significa “palmeira de água”(MOURÃO, 2010). Seu habitat natural se localiza nos estuários de várzea, ou seja, ambiente de fluxo intenso de água. (BONOMO et al., 2014). No Brasil, ocorrem nos estados do Pará, Maranhão, Amazonas, Tocantins, Amapá e Mato Grosso (YAMAGUCHI et al., 2015). Comumente, desenvolve-se em solos hidromórficos e com sedimentos não consolidados (tipo Gleissolo), e em clima tropical, com alto valores de chuvas, que nessas localidades são mal distribuídas durante o ano e pouca variação térmica (CONFORTO; CONTIN, 2009).

A *Euterpe oleracea* é uma monocotiledônea perene, heliófita, tem caule do tipo estipe e apresenta hábito de crescimento cespitoso, ou seja, perfilha e forma touceira (EMBRAPA, 2008). Tal condição é a principal característica botânica que a diferencia das demais palmeiras do gênero *Euterpe - precatória e edulis* - as quais também formam frutos que são popularmente chamados de açaí ou juçara, mas não perfilham, sendo conhecidos como palmeiras solitárias (uma estipe), e ocorrem em outros ecossistemas do Brasil (YAMAGUCHI et al., 2015).

Na fase adulta, apresenta de 8 a 14 folhas compostas, possui raízes fasciculadas, e em condição de hipóxia chegam a lançar raízes até 40 cm acima da superfície do solo. Possui inflorescência do tipo cacho protegida por duas brácteas denominadas espatas, e seu fruto é uma drupa globosa, quando maduro apresenta coloração roxa, medindo de 1 a 2 cm de diâmetro e peso médio de 1,5 gramas (EMBRAPA, 2008).

Os principais produtos comerciais do açazeiro abastecem o mercado de alimentação humana, que são palmito e, principalmente, o suco de seus frutos, o açaí (PERIS et al., 2018). O palmito, popularmente chamado de miolo das palmeiras, são células meristemáticas, ou seja, folhas e inflorescências em desenvolvimento e não diferenciadas, localizado na parte interna e superior do caule (COHEN et al., 2013). Geralmente este produto é comercializado pelos produtores de *E. oleracea* no final de vida útil das plantas, uma vez que o destino principal do produto desta espécie, durante seu ciclo é a produção dos frutos (IMAZON; SEBRAE, 2010).

A polpa de açaí contém, aproximadamente, 13% de proteína, 48% de lipídios, 1,5% de açúcar total e vários outros nutrientes, lignanas, fibras alimentares e polifenóis, principalmente as antocianinas (BONOMO et al., 2014; SCHAUSS et al., 2006). Tais propriedades proporcionam a abertura de outros mercados para o açazeiro, além do alimentício. Atualmente, há vários estudos voltados para a pesquisa no ramo farmacêutico, como objeto de estudo da

polpa do fruto, principalmente relacionados ao tratamento de doenças vasculares devido aos antioxidantes existentes na polpa, como por exemplo, os estudos de Souza et al. (2017) e Peris et al. (2018), que avaliaram as propriedades da polpa para fins farmacêuticos.

No ano de 2019, o Brasil foi o maior produtor mundial de açaí, equivalente a 1,4 milhões de toneladas, com a região Norte responsável por cerca de 99% da produção de frutos de açaí, considerando ambos os cultivos planejados, que constam como lavouras permanentes na base de dados do IBGE. Nesse cenário, o Pará é o principal produtor, seguido pelo Amazonas, Roraima, Rondônia e Maranhão. No contexto paraense, os municípios localizados na mesorregião do Nordeste Paraense são responsáveis por 70,27% dessa produção, seguido pela Metropolitana de Belém e Marajó. O estado do Pará além de ser o maior produtor, também é reconhecido com a certificação orgânica, sendo líder também nesta categoria (IBGE, 2020) (Figura 1).

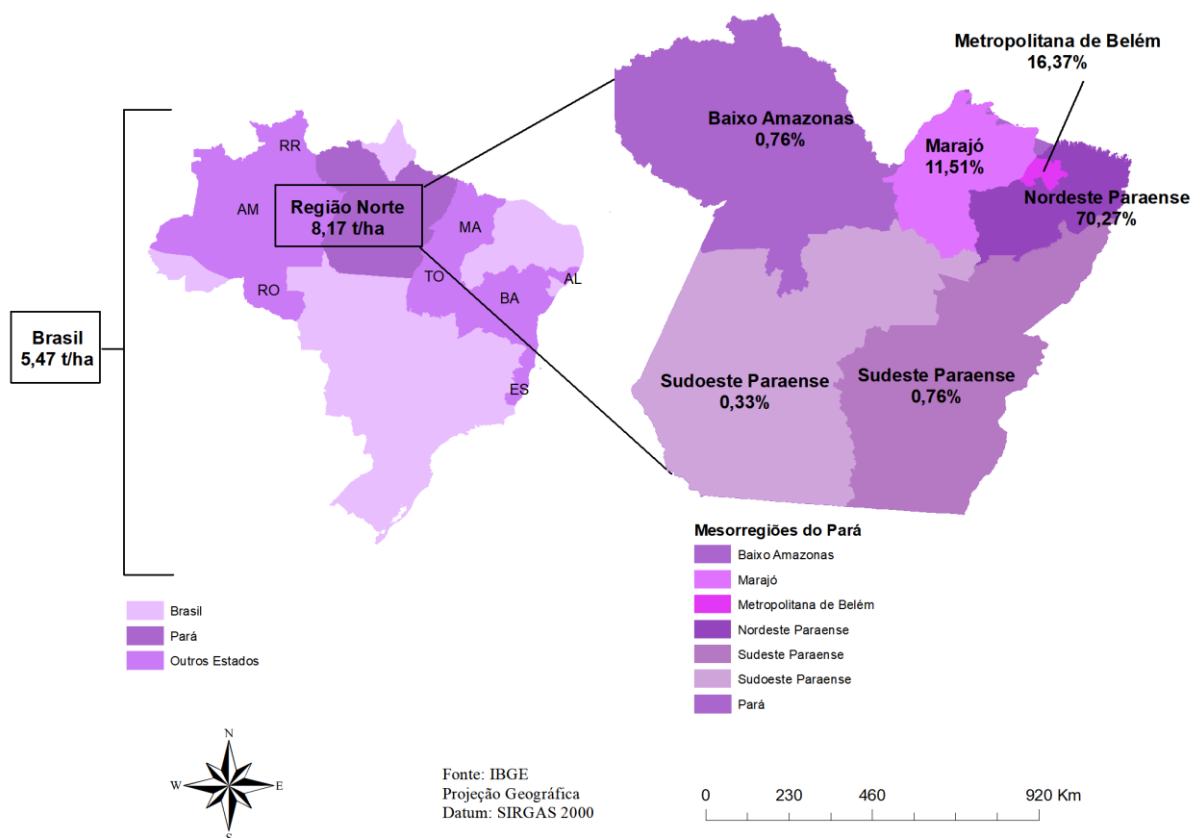


Figura 1. Produtividade de açaizeiro no Brasil, Pará e nas mesorregiões paraense (dados referentes ao ano de 2019).

Quanto ao destino da produção de frutos do açaizeiro, 60% destina-se ao mercado interno da Amazônia, uma vez que o consumo diário do suco de açaí é uma característica cultural da população da região (TAVARES et al., 2020), sendo este amplamente consumido

com farinha de mandioca e acompanhado de espécies de peixes nativos, entre outras fontes de proteínas (MOURÃO, 2010). Cerca de 30% é exportado para demais regiões do país, principalmente os estados do Sudeste, e 10% é destinado ao mercado internacional, principalmente, para o Japão e EUA. No mercado externo à região amazônica, o açaí é consumido em produtos do tipo energético, geleias, cervejas, licores, sorvetes, entre outros derivados a indústria alimentícia (TAVARES et al., 2020).

Segundo a CONAB (2019), o Pará possui cerca de 50 empresas que comercializam o fruto para outros estados, o que representa mais de 1,2 milhão de toneladas do fruto. Esse montante chega a injetar na economia paraense algo em torno de US\$ 1,5 bilhão. Além do mercado alimentício e farmacêutico, o açaizeiro é amplamente utilizado em atividades de paisagismo, recuperação de áreas degradadas e como compensação ambiental na Amazônia, por ser uma espécie nativa, na produção de celulose (papel Kraft), artesanatos, biojóias, carvão vegetal e adubação orgânica (PANIAGUA-ZAMBRANA; BUSSMANN; MACÍA, 2017).

Portanto, o açaizeiro apresenta grande relevância não somente socioeconômica, mas, sobretudo ambiental, ressaltando que muitos produtores utilizam cultivo em consórcio com outras espécies nativas, como cupuaçuzeiro, cacauzeiro, bananeira e espécies de importância florestal (VIEIRA et al., 2007).

Devido ao crescimento da comercialização de açaí no mercado externo e diversificação de outros ramos de produção, houve um aumento de açaizais cultivados, ou seja, manejados, principalmente em terra firme. No último censo agropecuário, observa-se cerca de 12.804 propriedades cadastradas no Pará que cultivam o açaizeiro (SEDAP, 2016).

O aumento dessa expansão se deve a domesticação da planta, uma vez que antes da década de 1990, o açaizeiro apresentava apenas condição extrativista, ou seja, coletas dos frutos e de palmito de ambientes de áreas nativas, caracterizado socioeconomicamente por populações ribeirinhas, que são comunidades que habitam o entorno dos rios amazônicos (MONGE-FUENTES et al., 2017; MOURÃO, 2010; YAMAGUCHI et al., 2015).

Porém, com o crescimento do mercado consumidor, surgiu à necessidade de transformar essa planta em uma cultura. Dessa forma, a Embrapa Amazônia Oriental desenvolveu a cultivar BRS-Pará, caracterizada, principalmente, por adaptação em solos de terra firme e com porte menor, o que facilitou a expansão para demais localidades da região Amazônica e que não possuem solos de várzea (EMBRAPA, 2008). Em 2019, foi lançado a segunda cultivar, denominada cv. BRS-Pai d'égua, apresentando características semelhantes com a BRS-Pará, porém com maior quantidade de frutos e diâmetro menor (EMBRAPA, 2019).

Apesar dos avanços referentes ao material genético, muitas lacunas sobre o sistema de cultivo do açaizeiro ainda existem, entre as principais estão às relacionadas às condições edafoclimáticas, visto que a variabilidade meteorológica influencia todo sistema solo-planta-atmosfera, e dentre os fatores de produtividade, é único que não pode ser manejado. Segundo Larbi e Green (2018), o conhecimento e monitoramento das variáveis meteorológicas é uma das principais bases da agricultura de precisão, destacando, principalmente os elementos climáticos, precipitação e a temperatura do ar.

É importante destacar que outras variáveis meteorológicas também influenciam a produtividade dos vegetais, como a radiação solar, a velocidade do vento, o déficit de pressão de vapor e a umidade relativa do ar, as quais de forma conjunta, controlam as trocas gasosas dos vegetais e, com características inerentes dos solos também influenciam parte o armazenamento de água (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Segundo a EMBRAPA (2008), o açaizeiro apresenta alta demanda hídrica desde a fase de muda até a fase reprodutiva, e essa característica é vestígio do seu local de origem, ambiente de várzea, porém não há informação em circular técnica e nem em outro estudo sobre *E. oleracea* que definam valores das necessidades das lâminas de água. Em fase de muda, até 12 meses de idade, alguns estudos já foram desenvolvidos para determinação e avaliação em função de diferentes lâminas de irrigação, como o desenvolvido por Silvestre et al. (2016), que avaliaram ecótipos de várzea e a cv. BRS-Pará com base nas características físicas de retenção de água no substrato estudado. Porém, em fase reprodutiva, a partir dos 4 anos de idade, há poucos estudos executados em campo, principalmente que avaliem a sua produtividade em relação a distintas disponibilidades hídricas, seja ela da cultura ou da demanda atmosférica.

Assim, entre as principais lacunas do manejo de açaizeiro são referentes à demanda hídrica, sobretudo, em locais que apresentam período de estiagem e há necessidade de uso de irrigação (HOMMA et al., 2014), como municípios de clima Am e Aw, que ocorrem na Amazônia (ALVARES et al., 2013).

Dessa forma, o presente estudo objetivou avaliar a produção e eficiência econômica do açaizeiro (*E. oleracea* Mart.) sob a influência de diferentes disponibilidades hídricas, cultivado em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro nas condições microclimáticas do município de Castanhal-PA, leste da Amazônia brasileira.

Para responder as hipóteses que geraram o objetivo geral acima citado, o presente estudo propõe quatro capítulos, que foram:

- 1º capítulo: Fenologia reprodutiva de açaizeiro em monocultivo e consórcio em diferentes disponibilidades hídricas, Castanhal-PA, leste da Amazônia brasileira.

Este capítulo tem como hipótese que os elementos meteorológicos, o uso da irrigação e o sistema de cultivo influenciam na fenologia das plantas de açaizeiro.

- 2º capítulo: Produtividade e eficiência do uso da água de açaizeiro irrigado em monocultivo e consórcio nas condições de clima tropical úmido do leste da Amazônia.

A hipótese deste estudo foi que o açaizeiro manejado com uso de irrigação geram maior produtividade e eficiência do uso da água.

- 3º capítulo: Produtividade e eficiência do uso da água de cupuaçuzeiro irrigado nas condições climáticas de Castanhal-PA, Amazônia brasileira.

A hipótese deste capítulo é semelhante ao anterior, porém, para a espécie do cupuaçuzeiro, que foi a espécie cultivada na área do consórcio com açaizeiro. A resposta produtiva do cupuaçuzeiro foi demandada para consolidar a informação da eficiência econômica, que é o capítulo seguinte.

- 4º capítulo: Viabilidade econômica de açaizeiro irrigado em monocultivo e consórcio, leste da Amazônia brasileira.

Este último capítulo confere a hipótese que o cultivo do açaizeiro em sistema de consórcio aliado a técnica de irrigação garante maior rentabilidade econômica.

Referências

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. Disponível em: <http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref>
- ANDERSON, W. et al. Trans-Pacific ENSO teleconnections pose a correlated risk to agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v. 262, p. 298–309, 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168192318302454>>. Acesso em: 16 jan. 2020.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul - aplicações de previsões climáticas na agricultura**. UFRGS ed. Porto Alegre.
- BONOMO, L. de F. et al. Açaí (Euterpe oleracea Mart.) Modulates Oxidative Stress

Resistance in *Caenorhabditis elegans* by Direct and Indirect Mechanisms. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. e89933, 2014. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0089933>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

COHEN, Y. et al. Characterization of Growth-Retardant Effects on Vegetative Growth of Date Palm Seedlings. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 533–541, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00344-013-9320-1>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

CONFORTO, E. de C.; CONTIN, D. R. Desenvolvimento do açaizeiro de terra firme, cultivar Pará, sob atenuação da radiação solar em fase de viveiro. **Bragantia**, [s. l.], v. 68, n. 4, p. 979–983, 2009.

EMBRAPA. **Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia**. 2008. Disponível em: <<http://www.inpa.gov.br>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

EMBRAPA. **BRS Pai d'égua**. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1113785/brs-pai-degua>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

GIMÉNEZ, V. D.; MICHELOUD, J. R.; MADDONNI, G. Á. Climatic constraints for the maize-soybean system in the humid subtropical region of Argentina. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], v. 134, n. 3–4, p. 753–767, 2018. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00704-017-2302-7>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

HOMMA, A. K. O. et al. Açaí: novos desafios e tendências. In: **Extrativismo Vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 468.

IBGE. **Censo Agropecuário**. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

IIZUMI, T. et al. Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. **Nature Communications**, [s. l.], v. 5, 2014.

IMAZON; SEBRAE. **Produtos Florestais Não Madeireiros: Açaí, Andiroba, Babaçu, Castanha-do-brasil, Copaíba e Unha-de-gato**, 2010. Disponível em: <www.rl2design.com.br>. Acesso em: 15 jan. 2020.

KAHN, F. Palms as key swamp forest resources in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 38, n. 3–4, p. 133–142, 1991. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/037811279190139M>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

LARBI, P. A.; GREEN, S. Time series analysis of soybean response to varying atmospheric conditions for precision agriculture. **Precision Agriculture**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 1113–1126,

2018.

MONGE-FUENTES, V. et al. Photodynamic therapy mediated by acai oil (*Euterpe oleracea* Martius) in nanoemulsion: A potential treatment for melanoma. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [s. l.], v. 166, p. 301–310, 2017.

MOURÃO, L. HISTÓRIA E NATUREZA: DO AÇAÍ AO PALMITO. **Revista Territórios e Fronteiras**, [s. l.], v. 3, p. 74–96, 2010.

PANIAGUA-ZAMBRANA, N.; BUSSMANN, R. W.; MACÍA, M. J. The socioeconomic context of the use of *Euterpe precatoria* Mart. and *E. oleracea* Mart. in Bolivia and Peru. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, [s. l.], v. 13, n. 1, 2017.

PERIS, C. S. et al. Analysis of Anthocyanins Extracted from the Acai Fruit (*Euterpe oleracea*): A Potential Novel Vital Dye for Chromovitrectomy. **Journal of Ophthalmology**, [s. l.], v. 2018, p. 1–9, 2018. Disponível em:

<<https://www.hindawi.com/journals/joph/2018/6830835/>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

SCHAUSS, A. G. et al. Phytochemical and Nutrient Composition of the Freeze-Dried Amazonian Palm Berry, *Euterpe oleracea* Mart. (Acai). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 54, n. 22, p. 8598–8603, 2006. Disponível em:

<<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf060976g>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

SEDAP. **Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Açaí no Estado do Pará - PROAÇAÍ – PA**, 2016.

SILVESTRE, W. V. D. et al. Morphological and physiological responses of açaí seedlings subjected to different watering regimes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 364–371, 2016. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662016000400364&lng=en&tlng=en>

SOUZA, B. S. F. et al. Effect of the treatment with *Euterpe oleracea* Mart. oil in rats with Triton-induced dyslipidemia. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, [s. l.], v. 90, p. 542–547, 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S075333221632902X>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

SOUZA, C. L. O. De; NOGUEIRA, V. de F. B.; NOGUEIRA, V. D. S. Variabilidade interanual da precipitação em cidades do semiárido brasileiro entre os anos de 1984 e 2015. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 740, 2017. Disponível em:

<<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/5626>>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. In: ARTMED (Ed.). 5. ed. Porto Alegre: 918, 2017. p. 918.

TAVARES, G. dos S. et al. Análise da produção e comercialização de açaí no estado do Pará, Brasil. **International Journal of Development Research**, [s. l.], v. 10, p. 35215–35521, 2020.

VIEIRA, T. A. et al. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. **Acta Amazonica**, Juruti, v. 37, p. 549–558, 2007.

YAMAGUCHI, K. K. D. L. et al. Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 179, p. 137–151, 2015. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814615000576>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

CAPÍTULO 1: FENOLOGIA REPRODUTIVA DE AÇAIZEIRO EM MONOCULTIVO E CONSÓRCIO SOB DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICA, CASTANHAL-PA, LESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

RESUMO

O açaizeiro é uma palmeira com grande relevância socioeconômica. Suas alterações fenológicas são influenciadas pelos elementos climáticos. O objetivo desse estudo é avaliar a fenologia do açaizeiro sob diferentes disponibilidades hídricas nas condições climáticas de Castanhal-PA. O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia. A cultivar estudada foi a BRS-Pará, em uma área de 0,3 ha. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 2 tratamentos (Sequeiro e Irrigado) com 24 repetições. As observações fenológicas foram realizadas durante o ano de 2018. Os maiores valores de radiação, temperatura do ar, evapotranspiração de referência e precipitação pluviométrica foram encontrados no mês de outubro. O mês de março foi o que apresentou a maior ocorrência da fase vegetativa, enquanto que a reprodutiva foi mais expressiva durante todo o período de avaliação. De janeiro a agosto, o comportamento fenológico do açaizeiro não sofreu influência do sistema de irrigação. A partir do mês de outubro, é possível notar que o tratamento sequeiro apresentou baixo percentual de plantas na fase vegetativa, sendo a reprodutiva a mais evidente. No tratamento irrigado, o percentual de plantas na fase vegetativa foi maior do que no tratamento sem irrigação. O tratamento sequeiro apresenta um maior percentual de plantas na fase reprodutiva do que o tratamento irrigado. A disponibilidade hídrica afeta o desenvolvimento fenológico do açaizeiro.

PALAVRAS-CHAVE: *Euterpe olerace* Mart.; fenofase; microclima.

ABSTRACT

Açaizeiro is a palm tree with great socioeconomic relevance. Their phenological changes are influenced by climatic elements. The aim of this study is to evaluate the phenology of the açaizeiro under different water availability in the climatic conditions of Castanhal-PA. The study was conducted at the Experimental Farm of the Federal Rural University of the Amazon. The cultivar studied was BRS-Pará, in an area of 0.3 ha. The design used was completely randomized, with 2 treatments (Sequeiro and Irrigated) with 24 replications. Phenological observations were made during 2018. The highest values of radiation, air temperature, reference evapotranspiration and rainfall were found in October. The month of March presented the highest occurrence of the vegetative phase, while reproductive phase was more expressive throughout the evaluation period. From January to August, the phenological behavior of the açaizeiro was not influenced by the irrigation system. From October, it is possible to note that dry treatment presented a low percentage of plants in the vegetative phase, and reproductive is the most evident. In irrigated treatment, the percentage of plants in the vegetative phase was higher than in treatment without irrigation. Dry treatment has a higher percentage of plants in the reproductive phase than irrigated treatment. Water availability affects the phenological development of the açaizeiro.

KEYWORDS: *Euterpe oleracea*; phenophase, microclimate.

Introdução

O açazeiro (*Eutepet oleracea* Mart.) é uma palmeira originária das áreas de várzeas da Amazônia brasileira, tem hábito de crescimento cespitoso, por isso é conhecido popularmente como açai-de-touceira (SILVEIRA et al., 2017). O principal produto comercial dessa espécie é o fruto, o açai, que tem grande aceitação no mercado da região Norte, Brasil e atualmente é difundido no mercado internacional, principalmente Estados Unidos e Japão (TAVARES et al., 2020).

O estado do Pará é o maior produtor mundial de açai, em 2019, foram colhidos 1,3 milhões de toneladas, sendo responsável por 94% da produção nacional (IBGE, 2020). Entre os principais motivos de crescimento se deve a domesticação da espécie, com os estudos sobre cultivares BRS-PA e BRS-Pai d'égua, adaptadas às condições de terra firme, o que permitiu o cultivo tanto em monocultivos quanto em consórcio com outras frutíferas de interesse comercial, como cupuaçu, cacau, banana (EMBRAPA, 2008, 2019; HOMMA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2010).

Embora os avanços, por ser uma espécie vegetal originária de área de várzea, o açazeiro cultivado em terra firme apresentou produtividade menor nas áreas de extrativismos, que é área nativa (HOMMA et al., 2014). Assim, verificou-se que nos ambientes de terra firme e com chuvas mal distribuídas no ano, como clima do tipo Aw e Am, que pelo menos um mês possuem chuvas menor que 60 mm, necessita do uso de irrigação.

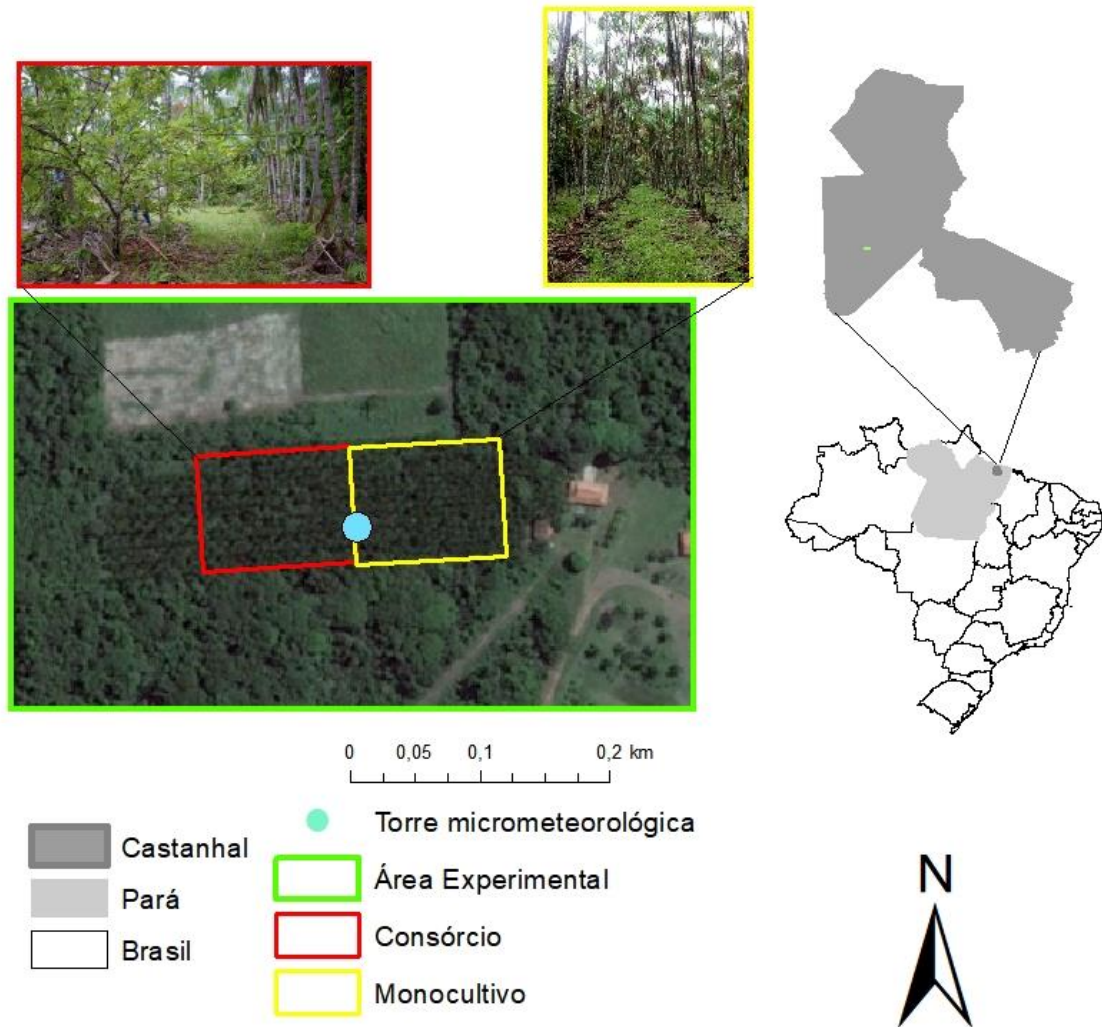
Os cultivos irrigados adequadamente geram maiores produtividades às lavouras, uma vez que a água é um elemento fundamental para que as plantas realizem eficientemente seus processos metabólicos, como trocas gasosas (SOUZA et al., 2020). Além desse consequência podem influenciar a fenologia dos vegetais, esta que representa é o estudo da ocorrência de eventos biológicos repetitivos e das causas de sua ocorrência em relação às forças seletivas bióticas e abióticas e a sua inter-relação entre as fases caracterizadas por estes eventos (FOURNIER; CHARPANTIER, 1975).

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a fenologia reprodutiva do açazeiro irrigado e sequeiro, em monocultivo e consorciado nas condições micrometeorológicas do município de Castanhal-PA.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em um plantio comercial de açazeiro, com área de 0,6 ha, localizado no Município de Castanhal-PA, Norte do Brasil (1°19'10,40 "S e 47°57'35,92" W,

32m) (**Figura 1.1**). O solo da área é do tipo Latossolo Amarelo distrófico de textura franco arenosa (EMBRAPA 2018). Segundo a classificação de Koppen, o clima é do tipo Am, sendo considerado tropical úmido, com temperatura média anual em torno de 26 °C e precipitação pluviométrica anual acima de 2.000 mm (ALVARES et al. 2014).



Fenologia na área experimental



- 1 Espata
- 2 Floração
- 3 Frutificação Verde
- 4 Frutificação Madura
- 5 Frutos

Sistema de Coordenadas Geográficas
 Datum: SIRGAS 2000
 Fonte: IBGE
 Data: Junho, 2021

Figura 1. Localização da área experimental, Castanhal-PA, leste da Amazônia brasileira.

O plantio foi instalado no ano de 2012 em dois sistemas de cultivo, monocultivo (0,3 ha) e consórcio (0,3 ha). Em ambos os sistemas, o solo foi preparado com calagem dolomítica, duas gradagens e uma roçagem. As covas de plantio foram escavadas com dimensões de 0,4mX0,4mX0,4m, sendo aplicada adubação fosfatada e nitrogenada. As mudas de açaizeiro, cultivar BRS-Pará, foram conduzidas para a área com idade de 12 meses, com três estipes por touceira. No consórcio, além do açaizeiro, foi cultivado plantas de cupuaçuzeiro, cultivar BRS-Carimbó. Em ambos os sistemas de cultivo, até seis anos de idade foram manejados em sequeiro, sem uso de irrigação. Na área de monocultivo, a densidade de plantio é de 4mX4m, enquanto que no consórcio as linhas de plantio são alternadas em 4mX4m e 4mX8m de touceiras de açaizeiro intercaladas com plantas de cupuaçuzeiro com densidade de 8mX8m.

As avaliações do presente trabalho ocorreram durante os anos 2018 e 2019, correspondendo às idades de sete e de oito anos, sendo considerado período de plena produção do açaizeiro (Embrapa 2008). A altura média do dossel do açaizeiro nestes anos correspondeu a 12 m, com média de 12 folhas abertas, enquanto que a altura média do dossel do cupuaçuzeiro foi de três m.

Foram realizadas coletas de amostras deformadas e indeformadas para caracterização química e físico-hídrica do solo nas profundidades de 00-20cm e 20-40cm (**Tabela 2.1**), as análises foram realizadas no departamento de solos da Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra).

Tabela 1. Caracterização físico-química e hídrica do solo da área experimental.

<i>Atributos Químicos</i>	Monocultivo		Consórcio	
	00-20cm	20-40cm	00-20cm	20-40cm
pH (H ₂ O)	5,925	5,690	5,32	4,94
Matéria orgânica (%)	1,143	0,905	0,714	0,666
Fósforo (mg dm ⁻³)	11,371	0,953	0,925	6,849
Potássio (cmol _c dm ⁻³)	0,545	0,380	0,25	0,505
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	0,850	0,350	0,295	0,098
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,500	0,100	0,097	0,097
Alumínio cmol _c dm ⁻³	0,400	1,100	0,263	0,789
<i>Atributos Físico-hídrico</i>				
Areia (%)	86,546	74,010	85,564	89,105
Silte (%)	9,37	11,126	9,545	3,079
Argila (%)	4,081	14,864	4,891	7,815
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,545	1,625	1,417	1,893
Capacidade de Campo (m ³ m ⁻³)	0,238	0,318	0,213	0,570
Ponto de murcha permanente (m ³ m ⁻³)	0,066	0,076	0,061	0,234

A adubação utilizada foi do tipo química e orgânica, correspondendo a 2,0 kg/ano/touceira da formulação química 13%N-11%P-21%K + 2%Mg, 0,2%B. Quanto ao uso

de orgânico foi utilizado 2,0 kg de esterco de frango kg/ano/touceira. Ambas as adubações foram parceladas em 3 aplicações durante o ano. O controle de plantas daninhas foi realizado trimestralmente por capina física.

Monitoramento das condições meteorológicas

No centro da área experimental foi instrumentada uma torre micrometeorológica automática de 17 m de altura, com programação vinculada a um Datalogger (CR1000, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA), com leituras de 10 em 10 segundos e armazenamento de médias a cada 20 minutos. Os sensores para monitoramento das variáveis meteorológicas foram instalados dois metros acima do dossel das plantas para a medição da precipitação pluviométrica (TB4, Hydrological Services, Sydney, NSW, AUS), radiação global incidente (CMP6-L, Campbell Scientific, Instrument, Logan, UT, USA), temperatura e umidade relativa do ar (HMP45C, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA).

Os valores de chuva efetiva foram observados diariamente através de monitoramento da precipitação interna e do escoamento do caule. Para determinação da precipitação interna, foram instalados calhas de PVC de área 0.250 m².

E para quantificação dos valores de escoamento do caule foram selecionados nove estipes de açazeiro e seis árvores de cupuaçuzeiro, que foram envolvidas por um segmento de mangueiras plásticas de $\frac{3}{4}$ de polegadas, cortadas no sentido longitudinal, constituindo-se em recipiente coletoras do montante escoado. Para determinar a área de captação, estimou-se a projeção vertical da copa de cada árvore ao solo, traçando-se pelo menos quatro linhas passando pelo tronco (eixo) até as extremidades da projeção, perpendiculares entre si.

Manejo da irrigação e Tratamentos

Os tratamentos foram estabelecidos em diferentes disponibilidades hídrica, com uso de lâminas de irrigação em função da evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO 56) (Allen et al. 1998), utilizou-se a demanda atmosférica devido a espécie estudada, açazeiro, não possuir coeficiente de cultivo (kc) definido para as condições climáticas locais, e portanto, não ter como estimar a evapotranspiração da cultura.

Os tratamentos corresponderam: sequeiro (TS) e 100% (T100) da evapotranspiração de referência diária. Os 2 tratamentos foram aplicados no monocultivo e no consórcio, e cada parcela tinha dimensões de área de 743.85 m², abrigando 46 touceiras de açazeiro no monocultivo, enquanto no consórcio, possuíam 36 touceiras de açazeiro e 10 árvores de cupuaçuzeiro. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, foram avaliados 24 plantas de açazeiro em cada tratamento.

Os dados para a estimativa de ET₀ foram obtidos da estação meteorológica automática gerenciada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada à 2.6 km da área experimental. A partir dos valores de ET₀, foi estimado a lâmina de irrigação aplicada utilizando a eq. 1.

$$LB = (ET_0 - Ref) * ef$$

Eq.1

Onde: *LB* – Lâmina bruta de irrigação (mm); *Ref* – chuva efetiva (mm); *ef* – Eficiência do sistema de irrigação (%).

O tempo de irrigação de cada tratamento foi estimado pela eq. 2.

$$TI = \frac{LB}{IA}$$

Eq.2

Onde: *TI* – tempo de irrigação (h); *LB* – Lâmina bruta de irrigação (mm); *IA* – Intensidade de aplicação de água (mm h⁻¹).

Utilizou-se um sistema de irrigação localizado por meio de microaspersão, com um emissor por touceira, com pressão de serviço de 5.5 mca e vazão de 34.00 L h⁻¹. A eficiência do sistema de irrigação foi avaliada em 86% e 94%, em 2018 e 2019, respectivamente. As plantas foram irrigadas nos dois anos durante o segundo semestre, correspondendo a menor ocorrência de precipitação no município.

Monitoramento fenológico

Para determinação das safras foi levado em consideração às observações fenológicas realizadas de acordo com adaptação da metodologia de Cifuentes et al. (2013), considerando quatro fenofases reprodutivas, que foram: pré-floração, presença de espatas (brácteas das inflorescências de palmeiras) fechadas; floração, presença da inflorescência, ou seja, a espata aberta; frutificação verde, presença de cachos verdes, a partir do encerramento da polinização; frutificação madura, presença de cachos pretos, que corresponde a maturação dos cachos até a colheita (**Figura 1.1**).

Os padrões fenológicos foram calculados pelo percentual de intensidade de Fournier (FOURNIER, 1974), os valores obtidos foram através de uma escala intervalar semi-quantitativa de cinco categorias (0 a 4) e intervalo de 25% entre cada categoria, permitem estimar a porcentagem de intensidade da fenofase em cada indivíduo. Em cada mês, fez-se a soma dos valores de intensidade obtidos para todos os indivíduos de cada espécie e divide-se pelo valor máximo possível (número de indivíduos multiplicado por quatro). O valor obtido,

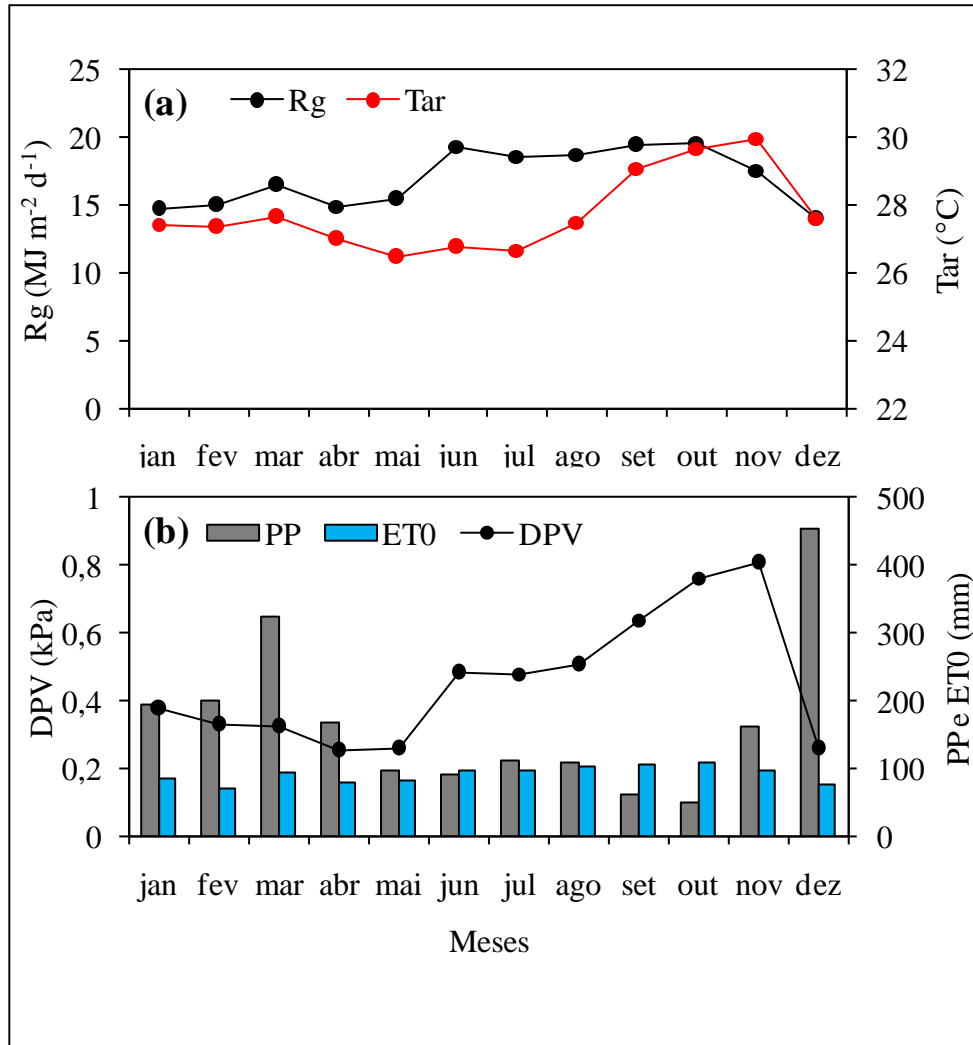
que corresponde a uma proporção, é então multiplicado por 100, para transformá-lo em um valor percentual.

Resultados e Discussão

O valor médio do fluxo de radiação solar global mensal foi de $16,99 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ($\pm 2,13$), obtendo uma variação de 13,93 a $19,67 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e a temperatura média mensal do ar foi de $27,76 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 1,18$), com amplitude de 26,45 a $29,48 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 2 a). O DPV apresentou média mensal de 0,45 kPa ($\pm 0,19$), com mínima de 0,25 kPa e máxima de 0,80 kPa, a ET0 mensal média correspondeu a 91,04 mm ($\pm 11,96$), com um valor mínimo de 71,31 mm e um máximo de 108,22 mm e a precipitação pluviométrica total anual foi de 2.014,38 mm, sendo o mês de outubro considerado o menos chuvoso com 44,77 mm e o mês de dezembro o mais chuvoso apresentando um total de 453,14 mm (Figura 2 b).

Os maiores valores de radiação global, temperatura do ar e evapotranspiração de referência, foram encontrados no mês de outubro. Sendo este também o que apresentou o menor valor de precipitação pluviométrica, correspondendo a 48 mm. De forma geral, a maior disponibilidade de energia na forma de radiação solar proporciona um aumento na temperatura do ar, o que irá influenciar em um maior déficit de pressão de vapor e conseqüentemente em uma maior demanda atmosférica. Tal comportamento também foi citado em trabalhos desenvolvidos por Oliveira et al. (2017) e Lemos-Filho et al. (2010).

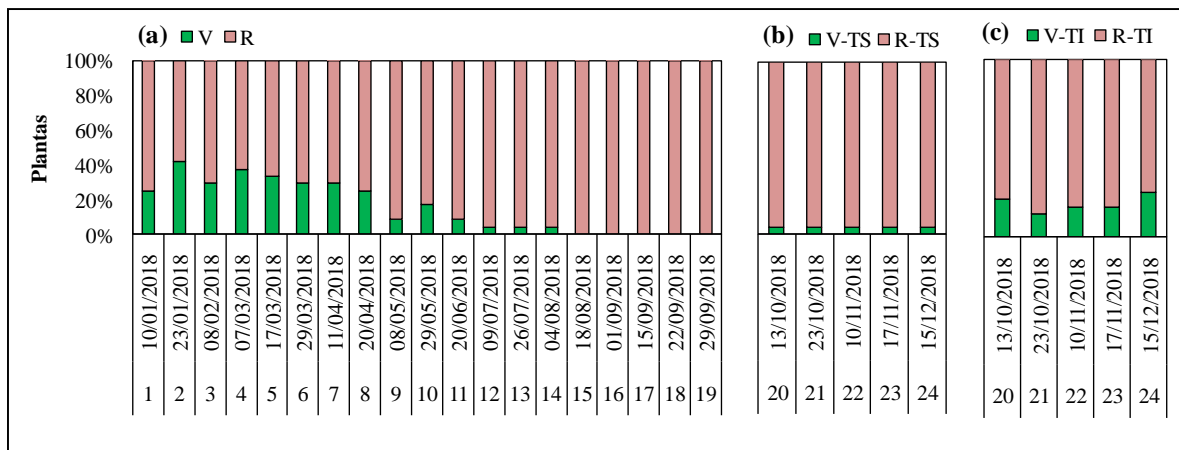
Figura 2. Variabilidade mensal das condições climáticas de um plantio comercial de açaizeiro localizado em Castanhal-PA para o ano de 2018. Em (a) radiação solar global (Rg) e temperatura do ar (Tar); (b) déficit de pressão de vapor (DPV), precipitação pluviométrica (PP) e evapotranspiração de referência (ET0).



Em relação ao aparecimento das fases, percebe-se que há uma variabilidade, sendo março o mês com maior ocorrência da vegetativa. No entanto, a reprodutiva foi a que apresentou maior expressividade durante todo o período avaliado, principalmente no intervalo da 15ª a 19ª observação, caracterizado pela safra do açaizeiro, em que a fase reprodutiva foi predominante (Figura 3 a).

De janeiro a agosto, o comportamento fenológico do açaizeiro não sofreu influência do sistema de irrigação, uma vez que este só foi acionado a partir do mês de setembro. Apesar do acréscimo de disponibilidade hídrica decorrente da irrigação, o mesmo não foi suficiente, inicialmente, para proporcionar modificações consideráveis no aparecimento das fases dos dois tratamentos analisados.

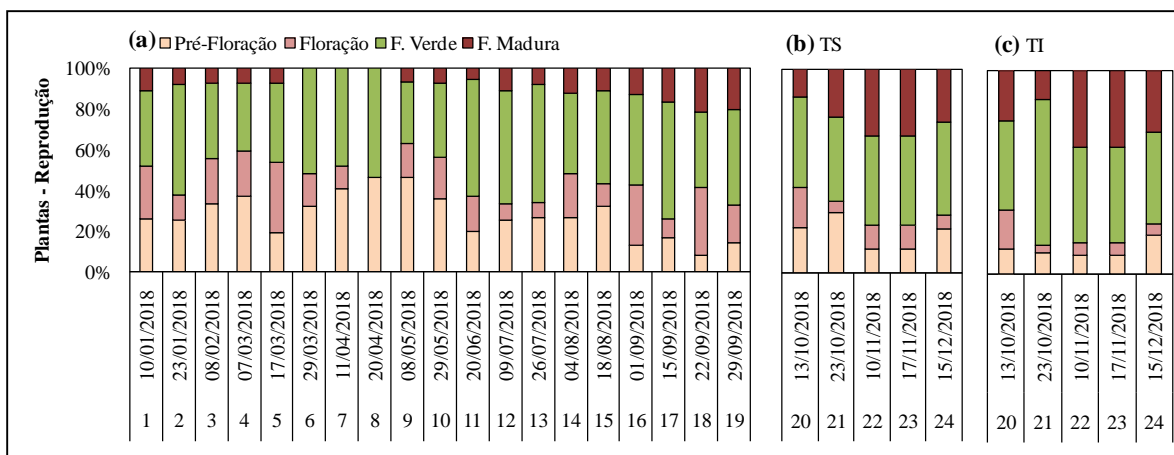
Figura 3. Fenologia de açaizeiro, Castanhal-PA. Em (a) percentual de plantas nas fases vegetativa (V) e reprodutiva (R) em datas anteriores ao efeito dos tratamentos; (b) percentual de plantas nas fases V e R no tratamento sequeiro (TS) em datas posteriores ao efeito dos tratamentos; (c) percentual de plantas nas fases V e R no tratamento irrigado (TI) em datas posteriores ao efeito dos tratamentos.



A partir do mês de outubro, é possível notar que o tratamento sem irrigação (TS) apresentou baixo percentual de plantas na fase vegetativa, sendo a reprodutiva a mais evidente (Figura 3 b). Já de acordo com o tratamento irrigado (TI), embora a fase reprodutiva também seja a mais expressiva, o percentual de plantas na vegetativa foi maior do que no tratamento sem irrigação (Figura 3 c). O maior percentual de plantas na fase reprodutiva no tratamento sequeiro, quando comparado com o irrigado, pode estar relacionado a uma estratégia de sobrevivência da planta, pois a baixa disponibilidade de água no solo induz a antecipação dessa fase, com o intuito de proporcionar a perpetuação da espécie (KAZAN; LYONS, 2015).

Em geral, considerando apenas as plantas na fase reprodutiva, observa-se que os estádios fenológicos de maior expressividade, sem influencia da água proveniente da irrigação, são os de pré-floração e frutificação verde, destacando-se a 8ª análise, onde aproximadamente 50% das plantas estavam no estágio de pré-floração e os outros 50% no estágio de frutificação verde (Figura 4 a).

Figura 4. Em (a) percentual de plantas nos estádios de pré-floração, floração, frutificação verde (F. Verde) e frutificação madura (F. Madura) em datas anteriores ao efeito dos tratamentos; (b) e (c) percentual de plantas nos estádios da fase reprodutiva no tratamento sequeiro (TS) e no tratamento irrigado (TI) em datas posteriores ao efeito dos tratamentos, respectivamente.



Em ambos os tratamentos, a partir do mês de outubro, percebe-se que há um aumento no percentual de plantas no estágio de frutificação madura, quando comparado as avaliações dos meses anteriores (Figura 4 b e 4 c). No entanto, o tratamento irrigado apresentou um menor percentual de plantas nos estádios de pré-floração e floração e um maior percentual para os estádios de frutificação verde e madura, quando comparado ao tratamento sequeiro. Isso pode estar relacionado a maior disponibilidade hídrica no solo do tratamento irrigado, criando condições ideais para o desenvolvimento do açaizeiro, pois permite com que o fluxo de água na planta seja contínuo devido aos processos transpiratórios, contribuindo para a realização da fotossíntese e resultando em uma maior frutificação (COSTA et al., 2017).

Conclusão

1. A disponibilidade hídrica afeta o desenvolvimento fenológico do açaizeiro.
2. O tratamento sequeiro apresenta o maior percentual de plantas na fase reprodutiva do que o tratamento irrigado;
3. Os estádios de frutificação verde e madura são mais expressivos no tratamento irrigado do que no tratamento sequeiro;

Referências

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **FAO**, Roma, v. FAO, p. 300, 1998.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. Disponível em: <http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref>

- EMBRAPA. **Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia**. 2008. Disponível em: <<http://www.inpa.gov.br>>. Acesso em: 13 jan. 2020.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Revista e Ampliada, 2018.
- EMBRAPA. **BRS Pai d'égua**. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1113785/brs-pai-degua>>. Acesso em: 14 jan. 2020.
- FOURNIER, L. A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**, [s. l.], v. 24, p. 422–423, 1974.
- FOURNIER, L. A.; CHARPANTIER, C. El tamaño da amostra y la frecuencia de las observaciones en el estudio de las característica fenologicas de los árboles tropicales. **Turrialba**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 45–48, 1975.
- HOMMA, A. K. O. et al. Açai: novos desafios e tendências. In: **Extrativismo Vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 468.
- IBGE. **Censo Agropecuário**. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 14 jan. 2020.
- OLIVEIRA, N. L. et al. Desenvolvimento Sustentável e Sistemas Agroflorestais na Amazônia matogrossense. **Confins**, [s. l.], n. 10, 2010. Disponível em: <<http://journals.openedition.org/confins/6778>>
- SILVEIRA, T. F. F. et al. White açai juice (*Euterpe oleracea*): Phenolic composition by LC-ESI-MS/MS, antioxidant capacity and inhibition effect on the formation of colorectal cancer related compounds. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 36, p. 215–223, 2017.
- SOUZA, P. J. de O. P. De et al. Trocas Gasosas do Feijao-Caupi Cultivado no Nordeste Paraense em Resposta à Deficiência Hídrica Forçada Durante a Fase Reprodutiva. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 13–22, 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862020000100013&tlng=pt>
- TAVARES, G. dos S. et al. Análise da produção e comercialização de açai no estado do Pará, Brasil. **International Journal of Development Research**, [s. l.], v. 10, p. 35215–35521, 2020.

CAPITULO 2 - PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA DE AÇAIZEIRO IRRIGADO EM MONOCULTIVO E CONSÓRCIO NAS CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL ÚMIDO DO LESTE DA AMAZÔNIA

RESUMO

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma frutífera relevante para socioeconomia da Amazônia, a crescente demanda dos seus frutos incentivou expansão dos cultivos para ambientes que necessitam de irrigação, porém para o uso adequado dessa técnica é necessário estudo sobre interação solo-planta-atmosfera, que são indispensáveis para o desenvolvimento sustentável da espécie nos diferentes manejos utilizados na agricultura. O objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade e eficiência do uso da água sob diferentes disponibilidades hídricas em monocultivo e consórcio no município de Castanhal, nordeste do estado do Pará, Brasil. O experimento foi conduzido em uma área de 0.6ha (1°19'24.48 "S e 47°57'38.20" W) dimensionado inteiramente casualizado em parcelas subdivididas com 8 repetições. A irrigação foi estimada em função da fração da evapotranspiração de referência, sendo os tratamentos: sequeiro (sem irrigação), 50%, 100% e 150% da evapotranspiração de referência, as avaliações foram realizadas em 2018 e 2019, correspondentes a três safras. Os resultados demonstraram que a disponibilidade hídrica afetou significativamente os níveis de produtividade e eficiência do uso da água, sendo que a reposição com 150% da evapotranspiração de referência apresentou melhor desempenho, garantiu ganhos na produtividade entre 43.35% (monocultivo) e 44.04% (consórcio) quando comparado com cultivo sem irrigação. A eficiência do uso da água máxima foi alcançada no tratamento 150%, valor de 3.89 kg ha⁻¹ mm⁻¹, na área de monocultivo, e a mínima de 0.92 kg ha⁻¹ mm⁻¹, no tratamento sequeiro no consórcio, durante a terceira safra. Constatou-se também que a irrigação garante duas safras anuais, destacando-se a safra do primeiro semestre no consórcio. Essas informações são pioneiras para o açaizeiro cultivado em áreas irrigadas e, sobretudo, na comparação entre sistemas de cultivo, sendo que o consórcio é uma prática muito utilizada na Amazônia, demonstrando que os resultados são inovadores para alavancar a agricultura sustentável nessa região.

Palavras-Chave: Amazônia; *Euterpe oleracea*; Irrigação; déficit hídrico; clima.

ABSTRACT

The açai palm (*Euterpe oleracea* Mart.) is a fruit species socioeconomically relevant to the Amazon, whose growing demand has promoted the expansion of plantations to areas that require irrigation. The proper use of water depends on studies about the soil-plant-atmosphere interaction, which may contribute with the sustainable development of the crop in the region. The objective of this study was to evaluate the productivity and water use efficiency of the açai palm under different levels of water availability in monoculture and intercropping in the municipality of Castanhal, northeastern state of Pará, Brazil. The experiment was carried out in area of 0.6 ha (1°19'24.48"S and 47°57'38.20"W), in a completely randomized design, with subdivided plots and 8 replications. Irrigation was based on fractions of the reference evapotranspiration: rainfed (without irrigation), 50%, 100% and 150% of the reference evapotranspiration, evaluated in 2018 and 2019 during three harvests. The results indicated that water availability significantly affected productivity and water use efficiency, with a better

performance in response to the replacement of 150% of the reference evapotranspiration, which ensured yield gains between 43.35% (monoculture) and 44.04% (intercropping) in relation to rainfed. Maximum water use efficiency was achieved by replacing 150% of the reference evapotranspiration in the monoculture, corresponding to $3.89 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, while the minimum was observed in the intercropping without irrigation, equivalent to $0.92 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, during the third harvest. It was observed that irrigation ensures two annual harvests, with emphasis on the first semester harvest in intercropping. This information is pioneering for the cultivation of açai palm under irrigated conditions and, especially in the comparison between cultivation systems. Considering that the intercropping is a widely used practice in the Amazon, such results are innovative and can leverage sustainable agriculture in the region.

KEYWORDS: Amazon; *Euterpe oleracea*; Irrigation; Water deficit; Climate.

Introdução

Euterpe oleracea (Mart.) é uma espécie perene, nativa da Amazônia, pertencente à família Arecaceae e vulgarmente conhecida como açai-de-touceira (**Figura 2.1a**). No Brasil, ocorre nos estados do Pará, Amazonas, Amapá, Maranhão e Mato Grosso, têm como principais produtos os frutos, açai (**Figuras 2.1b e 2.1c**), e o palmito (Bonomo et al. 2014; Yamaguchi et al. 2015). Em condição natural, o açazeiro apresenta maiores populações em solos hidromórficos, ambiente de várzea, em locais de clima quente e úmido, com temperaturas médias anuais variando entre $22,00 \text{ }^\circ\text{C}$ e $31,50 \text{ }^\circ\text{C}$, e com umidade relativa do ar, entre 71% e 91% (Conforto and Contin 2009; Vaz and Nabout 2016).

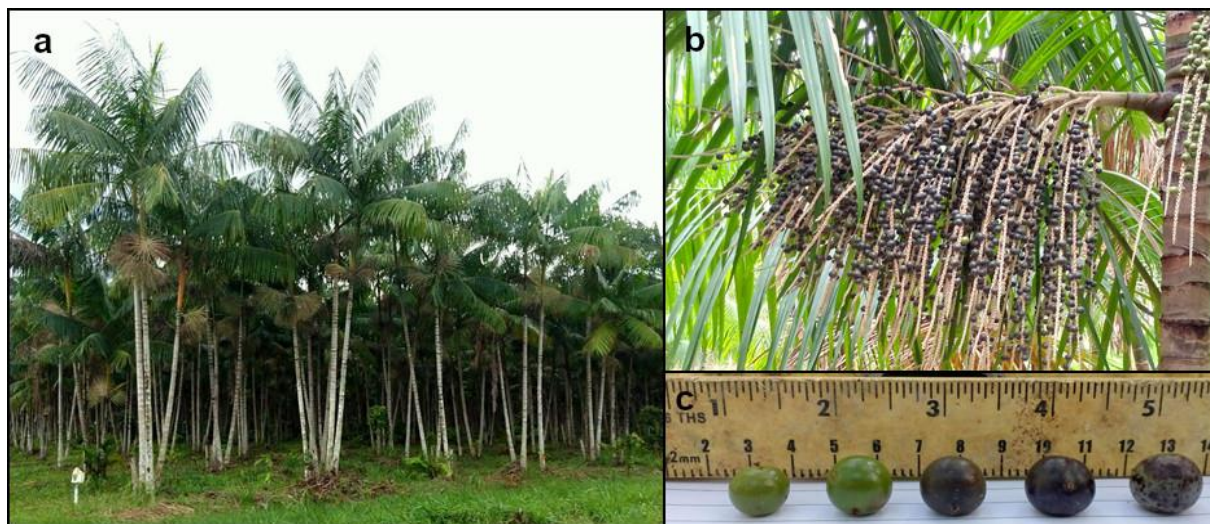


Figura 2. 1. Plantio de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) na Amazônia, em solos de terra firme. **b** Cachos de frutos de açazeiro. **c** frutos – açai em diferentes estádios de maturação.

O açazeiro apresenta relevância socioeconômica para as populações da Amazônia brasileira, gerando renda e trabalho, além de ter vínculo cultural no hábito alimentar da população dessa região (Nogueira et al. 2013). No contexto nacional, o estado do Pará é o maior

produtor, responsável por cerca de 94% do total de rendimento de frutos (IBGE 2019) devido, principalmente, a domesticação da espécie durante a década de 1990, que até então era uma atividade exclusivamente extrativista (Martinot et al. 2017).

Devido ao reconhecimento das propriedades nutricionais da polpa dos frutos (Schauss et al. 2006) houve um aumento no consumo no mercado nacional e internacional, tanto no mercado alimentício como farmacêutico, uma vez que o açaizeiro é fonte de pesquisas no combate de diversas doenças, como neurais e cardiovasculares (Kim et al. 2018; Souza-Monteiro et al. 2019).

Com a expansão do mercado consumidor, surgiu à necessidade de transformar essa planta em uma cultura. Garantindo com que a mesma deixasse de ocorrer somente nas áreas de várzea e pudesse ser cultivada em solos de terra firme (**Figura 2.1**). Atualmente, existem dois materiais genéticos adaptados a cultivos em terra firme para a região, que são: BRS-Pará e BRS-Pai d'égua; cujo desenvolvimento proporcionou maior controle do manejo da planta, como adubação, controle de daninhas, colheita e diferentes dimensionamentos, além dos consórcios com outras espécies frutíferas nativas da Amazônia (EMBRAPA 2008, 2019), em especial as espécies como bananeira, cacaeiro, mamoeiro e cupuaçuzeiro, as quais apresentam produtividade de frutos antes do açaizeiro assegurando renda extra ao produtor além de proporcionar maior ciclagem de nutrientes no solos (Tremblay et al. 2015; Alves et al. 2018; Campbell et al. 2018).

Apesar disso, os cultivos em terra firme representam apenas 30% do total produzido, com grande parte da atividade ainda vinculada ao extrativismo (CONAB 2019). Entre os principais problemas para expansão da atividade estão as lacunas técnicas produtivas, principalmente, relacionadas à demanda hídrica do açaizeiro e compressão da interação dessa planta com variabilidade climática na Amazônia. Por ser originário de área de várzeas, o açaizeiro tem alta demanda hídrica, mesmo diante da domesticação à solos de terra firme, muitos produtores contam com implemento da irrigação para garantir a produtividade, e assim a viabilidade econômica (Homma et al. 2014).

O estado do Pará possui tipos climáticos que apresentam período seco durante o ano, como Am e Aw (Alvares et al. 2014), necessitando do uso de irrigação para que as plantas não experimentem déficit hídrico, e conseqüentemente tenham quebras de produtividade (Souza et al. 2020). Embora muitos agricultores utilizem sistemas de irrigação durante o período de estiagem em cultivos de terra firme, estes não fazem o manejo adequado na aplicação de lâmina de água, visto que o coeficiente de cultura (K_c) do açaizeiro ainda é desconhecido, e o

monitoramento das condições da atmosfera e de água no solo não é uma realidade da agricultura paraense (Homma et al. 2014; Gasparini et al. 2015). Segundo o diagnóstico da Agência Nacional de Águas (2017), da área total de outobacias autorizadas legalmente ao uso para irrigação, apenas 0,5% é utilizado no Pará, sendo que do total de locais de solos que demandam irrigação, apenas 8,3% são irrigados, com classificação básica tecnológica.

A aplicação do conceito de sustentabilidade na utilização dos recursos hídricos fomentou nos últimos anos pesquisas com produção agrícola em irrigação deficitária, as quais objetivam alcançar rendimentos adequados em uma disponibilidade hídrica mínima (Abdelkhalik et al. 2020). O uso adequado da irrigação garante maior produtividade às safras alimentares que os cultivos em sequeiro. Para garantir sustentabilidade da irrigação é indispensável conhecer a eficiência de uso da água (WUE), definida como a quantidade de carbono assimilado como biomassa ou frutos produzido por unidade de água usada pela cultura (Hatfield and Dold 2019), a qual varia de acordo com fatores edafoclimáticos e inerente de diferentes culturas no globo (Ali and Klein 2014; López-López et al. 2015; Zahoor et al. 2015).

Logo, a tomada de decisão sobre quando e quanto irrigar o açaizeiro é praticamente empírica na região, levando a casos de suplementação hídrica abaixo ou muito acima do necessário, com significativas limitações na produtividade (Miranda et al. 2019), gerando gastos desnecessários de energia elétrica e do recurso água (Kahramanoğlu et al. 2020).

Considerando a importância do uso da água e diante da relevância da espécie *Euterpe oleracea* para a sociedade da Amazônia, e os arranjos que os agricultores utilizam, em monocultivo e consórcio com outras frutíferas, é indispensável determinar o rendimento e produtividade da água para solucionar demandas de informações técnicas que aperfeiçoem a produtividade dos frutos de açaí na região. Nesse sentido, a hipótese deste trabalho é que o uso da irrigação aumenta o rendimento de frutos de açaí de forma diferenciada em função do sistema de cultivo utilizado por agricultores nas condições de clima tropical úmido que do leste da Amazônia.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi determinar a produtividade e a eficiência do uso da água do açaizeiro em diferentes disponibilidades de água, cultivado em monocultivo e consorciado com cupuaçuzeiro, no município de Castanhal-PA, Norte do Brasil.

Material e Métodos

Área experimental

O experimento foi conduzido em um plantio comercial de açaizeiro, com área de 0,6 ha, localizado no Município de Castanhal-PA, Norte do Brasil ($1^{\circ}19'24.48''S$ e $47^{\circ}57'38.20''W$) (**Figura 2.2**). O solo da área é do tipo Latossolo Amarelo distrófico de textura franco arenosa (EMBRAPA 2018). Segundo a classificação de Koppen, o clima é do tipo Am, sendo considerado tropical úmido, com temperatura média anual em torno de $26^{\circ}C$ e precipitação pluviométrica anual acima de 2.000 mm (Alvares et al. 2014).

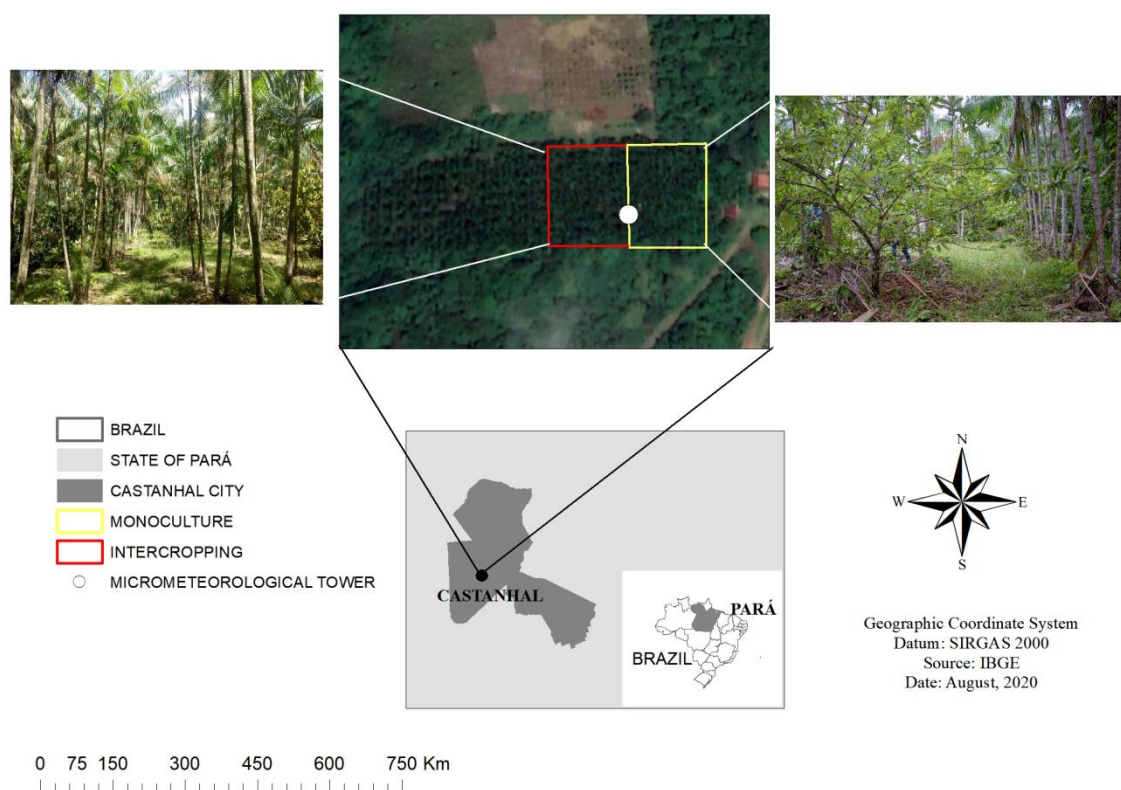


Figura 2. 2. Localização e croqui experimental, Castanhal-PA.

O plantio foi instalado no ano de 2012 em dois sistemas de cultivo, monocultivo (0,3 ha) e consórcio (0,3 ha). Em ambos os sistemas, o solo foi preparado com calagem dolomítica, duas gradagens e uma roçagem. As covas de plantio foram escavadas com dimensões de $0,4m \times 0,4m \times 0,4m$, sendo aplicada adubação fosfatada e nitrogenada. As mudas de açaizeiro, cultivar BRS-Pará, foram conduzidas para a área com idade de 12 meses, com três estipes por touceira. No consórcio, além do açaizeiro, foi cultivado plantas de cupuaçuzeiro, cultivar BRS-Carimbó. Em ambos os sistemas de cultivo, até seis anos de idade foram manejados em sequeiro, sem uso de irrigação. Na área de monocultivo, a densidade de plantio é de $4m \times 4m$,

enquanto que no consórcio as linhas de plantio são alternadas em 4mX4m e 4mX8m de touceiras de açaizeiro intercaladas com plantas de cupuaçuzeiro com densidade de 8mX8m.

As avaliações do presente trabalho ocorreram durante os anos 2018 e 2019, correspondendo às idades de sete e de oito anos, sendo considerado período de plena produção do açaizeiro (Embrapa 2008). A altura média do dossel do açaizeiro nestes anos correspondeu a 12 m, com média de 12 folhas abertas, enquanto que a altura média do dossel do cupuaçuzeiro foi de três m.

Foram realizadas coletas de amostras deformadas e indeformadas para caracterização química e físico-hídrica do solo nas profundidades de 00-20cm e 20-40cm (**Tabela 2.1**), as análises foram realizadas no departamento de solos da Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra).

Tabela 2. 1. Caracterização físico-química e hídrica do solo da área experimental.

<i>Atributos Químicos</i>	Monocultivo		Consórcio	
	00-20cm	20-40cm	00-20cm	20-40cm
pH (H ₂ O)	5,925	5,690	5,32	4,94
Matéria orgânica (%)	1,143	0,905	0,714	0,666
Fósforo (mg dm ⁻³)	11,371	0,953	0,925	6,849
Potássio (cmol _c dm ⁻³)	0,545	0,380	0,25	0,505
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	0,850	0,350	0,295	0,098
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,500	0,100	0,097	0,097
Alumínio cmol _c dm ⁻³	0,400	1,100	0,263	0,789
<i>Atributos Físico-hídrico</i>				
Areia (%)	86,546	74,010	85,564	89,105
Silte (%)	9,37	11,126	9,545	3,079
Argila (%)	4,081	14,864	4,891	7,815
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,545	1,625	1,417	1,893
Capacidade de Campo (m ³ m ⁻³)	0,238	0,318	0,213	0,570
Ponto de murcha permanente (m ³ m ⁻³)	0,066	0,076	0,061	0,234

A adubação utilizada foi do tipo química e orgânica, correspondendo a 2,0 kg/ano/touceira da formulação química 13%N-11%P-21%K + 2%Mg, 0,2%B. Quanto ao uso de orgânico foi utilizado 2,0 kg de esterco de frango kg/ano/touceira. Ambas as adubações foram parceladas em 3 aplicações durante o ano. O controle de plantas daninhas foi realizado trimestralmente por capina física.

Monitoramento das condições meteorológicas

No centro da área experimental foi instrumentada uma torre micrometeorológica automática de 17 m de altura, com programação vinculada a um Datalogger (CR1000, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA), com leituras de 10 em 10 segundos e armazenamento de médias a cada 20 minutos. Os sensores para monitoramento das variáveis meteorológicas foram instalados dois metros acima do dossel das plantas para a medição da

precipitação pluviométrica (TB4, Hydrological Services, Sydney, NSW, AUS), radiação global incidente (CMP6-L, Campbell Scientific, Instrument, Logan, UT, USA), temperatura e umidade relativa do ar (HMP45C, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA) e velocidade e direção do vento (03002, R. M. YOUNG, Traverse City, MI, USA).

Foram instalados verticalmente no solo os sensores de conteúdo volumétrico de água no solo (CS616, C, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA) na profundidade de 30 cm em cada um dos tratamentos. As observações do conteúdo volumétrico de água do solo iniciaram a partir do mês de agosto de 2018, próximo ao início da irrigação. O déficit de pressão de vapor foi estimado pela metodologia de Allen et al. (1998).

Os valores de chuva efetiva foram observados diariamente durante 2018 e 2019, através de monitoramento da precipitação interna e do escoamento do caule. Para determinação da precipitação interna, foram instalados calhas de PVC de área 0.250 m².

E para quantificação dos valores de escoamento do caule foram selecionados nove estipes de açaizeiro e seis árvores de cupuaçuzeiro, que foram envolvidas por um segmento de mangueiras plásticas de $\frac{3}{4}$ de polegadas, cortadas no sentido longitudinal, constituindo-se em recipiente coletoras do montante escoado. Para determinar a área de captação, estimou-se a projeção vertical da copa de cada árvore ao solo, traçando-se pelo menos quatro linhas passando pelo tronco (eixo) até as extremidades da projeção, perpendiculares entre si.

Manejo da irrigação e Tratamentos

Os tratamentos foram estabelecidos em diferentes disponibilidades hídrica, com uso de lâminas de irrigação em função da evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO 56) (Allen et al. 1998), utilizou-se a demanda atmosférica devido a espécie estudada, açaizeiro, não possuir coeficiente de cultivo (kc) definido para as condições climáticas locais, e portanto, não ter como estimar a evapotranspiração da cultura.

As frações de irrigações corresponderam: sequeiro, 50%, 100% e 150% da evapotranspiração de referência diária. Os 4 tratamentos foram aplicados no monocultivo e no consórcio, e cada parcela irrigada tinha dimensões de área de 743.85 m², abrigando 46 touceiras de açaizeiro no monocultivo, enquanto no consórcio, possuíam 36 touceiras de açaizeiro e 10 árvores de cupuaçuzeiro. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, arranjado em parcelas subdividas, sendo que a parcela foi a lâmina de irrigação, e a subparcela foi o sistema de cultivo (monocultivo e consórcio), foram avaliados 8 repetições, as quais corresponderam a uma touceira com três plantas, ocupando área de 16 m².

Os dados para a estimativa de ET₀ foram obtidos da estação meteorológica automática gerenciada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada à 2.6 km da área experimental. A partir dos valores de ET₀, foi estimado a lâmina de irrigação aplicada utilizando a eq. 1.

$$LB = (ET_0 - Ref) * ef$$

Eq.1

Onde: *LB* – Lâmina bruta de irrigação (mm); *Ref* – chuva efetiva (mm); *ef* – Eficiência do sistema de irrigação (%).

O tempo de irrigação de cada tratamento foi estimado pela eq. 2.

$$TI = \frac{LB}{IA}$$

Eq.2

Onde: *TI* – tempo de irrigação (h); *LB* – Lâmina bruta de irrigação (mm); *IA* – Intensidade de aplicação de água (mm h⁻¹).

Utilizou-se um sistema de irrigação localizado por meio de microaspersão, com um emissor por touceira, com pressão de serviço de 5.5 mca e vazão de 34.00 L h⁻¹. A eficiência do sistema de irrigação foi avaliada em 86% e 94%, em 2018 e 2019, respectivamente. As plantas foram irrigadas nos dois anos durante o segundo semestre, correspondendo a menor ocorrência de precipitação no município.

Monitoramento fenológico

Para determinação das safras foi levado em consideração às observações fenológicas realizadas de acordo com adaptação da metodologia de Cifuentes et al. (2013), considerando quatro fenofases reprodutivas, que foram: pré-floração, presença de espatas (brácteas das inflorescências de palmeiras) fechadas; floração, presença da inflorescência, ou seja, a espata aberta; frutificação verde, presença de cachos verdes, a partir do encerramento da polinização; frutificação madura, presença de cachos pretos, que corresponde a maturação dos cachos até a colheita. Foram avaliadas 24 plantas em cada tratamento, o cálculo da média mensal consistiu em dividir o número de ocorrências de cada fenofase, em cada mês para o período estudado, pelo número total de ocorrências, multiplicando-se em seguida por 100.

As avaliações de produtividade e eficiência do uso da água de frutos de açaizeiro foram realizadas durante três safras.

Posterior às avaliações fenológicas foi definido as safras de avaliação adotando entrada de água o somatório da irrigação e da chuva, que foram: primeira safra, cachos de frutos colhidos nos meses de julho a dezembro de 2018, sendo efeito da chuva efetiva e irrigação entre

os meses de janeiro a dezembro de 2018; segunda safra, colhida entre os meses janeiro à maio de 2019, sendo resultado chuva efetiva e irrigação entre os meses junho/2018 à maio/2019; e terceira safra, colheita entre junho à dezembro de 2019, representando a chuva efetiva e irrigação entre os meses de janeiro a dezembro de 2019.

Comprimentos dos cachos, produtividade e eficiência do uso da água

O comprimento do cacho de frutos foi medido por uma régua de 2.00 metros, espaçada em 1.00 mm. Posterior esta medida, foi coletado a massa fresca do cacho por meio de com utilização de uma balança digital com capacidade de 40.00 kg, sensibilidade de 4.00 g e precisão de 5.00 dígitos. Essas avaliações foram realizadas uma vez por mês no período de baixa produtividade, e duas vezes por mês no período de alta produtividade.

A eficiência do uso da água foi obtida de acordo a metodologia proposta por Inman-Bamber and Smith (2005), conforme a eq. 3.

$$WUE=Y/(I+Ref) \quad \text{Eq.3}$$

Where: WUE - Water use efficiency (kg ha⁻¹ mm⁻¹); Y – Yield (kg ha⁻¹); I – Irrigation estimated by reference evapotranspiration (mm d⁻¹); Ref – Effective rain (mm d⁻¹).

Análise estatística

Foi aplicado análise de variância (ANOVA) para as variáveis de comprimento do cacho, produtividade e eficiência do uso da água nas três safras pesquisadas. Aos tratamentos significativos no Teste F, foi aplicado o teste de Student (p<0.05), foi utilizado o software estatístico PAST (Hammer, 2001).

Resultados

Em 2018, a temperatura média diária do ar foi de 27.67 °C (±1.46), com máxima de 32.23 °C (novembro) e mínima de 27.78 °C (fevereiro), e a radiação global incidente média diária foi de 16,95 MJ m⁻² d⁻¹ (±3,73) (**Figura. 2.3a**). A velocidade média diária do vento foi de 0.59 m s⁻¹ (±0.23), e o déficit de pressão de vapor médio diário foi de 0.46 kPa (±0.24) (**Figura. 2.3b**). Fica evidente a sazonalidade nas condições meteorológicas criando um ambiente com maior demanda atmosférica por vapor d'água a partir de junho, quando se tem mais energia (radiação solar e temperatura do ar) e maior déficit de vapor d'água.

Já em 2019, a temperatura do ar média foi de 1.06°C superior que 2018, enquanto a radiação global incidente média foi inferior em 0.085 MJ m⁻² d⁻¹(±3.82) de uma ano para o outro (**Figura 2.3e**). A velocidade do vento média foi inferior em 0.11 m s⁻¹ e o DPV foi

superior de 0.031kPa(**Figura 2. 3f**), ambas variáveis foram máximas no segundo semestre nos dois anos avaliados, e mínimas no primeiro semestre.

No ano de 2018, a chuva abaixo do dossel (chuva efetiva) alcançou um total de 1,070.43 no monocultivo (*Rain ef M*), e de 1,529.59 mm no consórcio (*Rain ef C*). Em 2019, a ET0 total foi de 1,078.44 mm, apresentando PP de 2,867.19 mm, ocorrendo máxima diária de 64.00 mm no mês de março (**Figura 2.3c**), sendo que a *Rain ef M* foi de 1,515.89 mm, enquanto que *Rain ef C* foi de 2,181.95 mm (**Figura 2.3g**). Em ambos os anos houve uma diferença média entre a chuva acima do dossel (*Rain*) e abaixo (effective rain) de 53% e 76% no monocultivo e no consórcio, respectivamente.

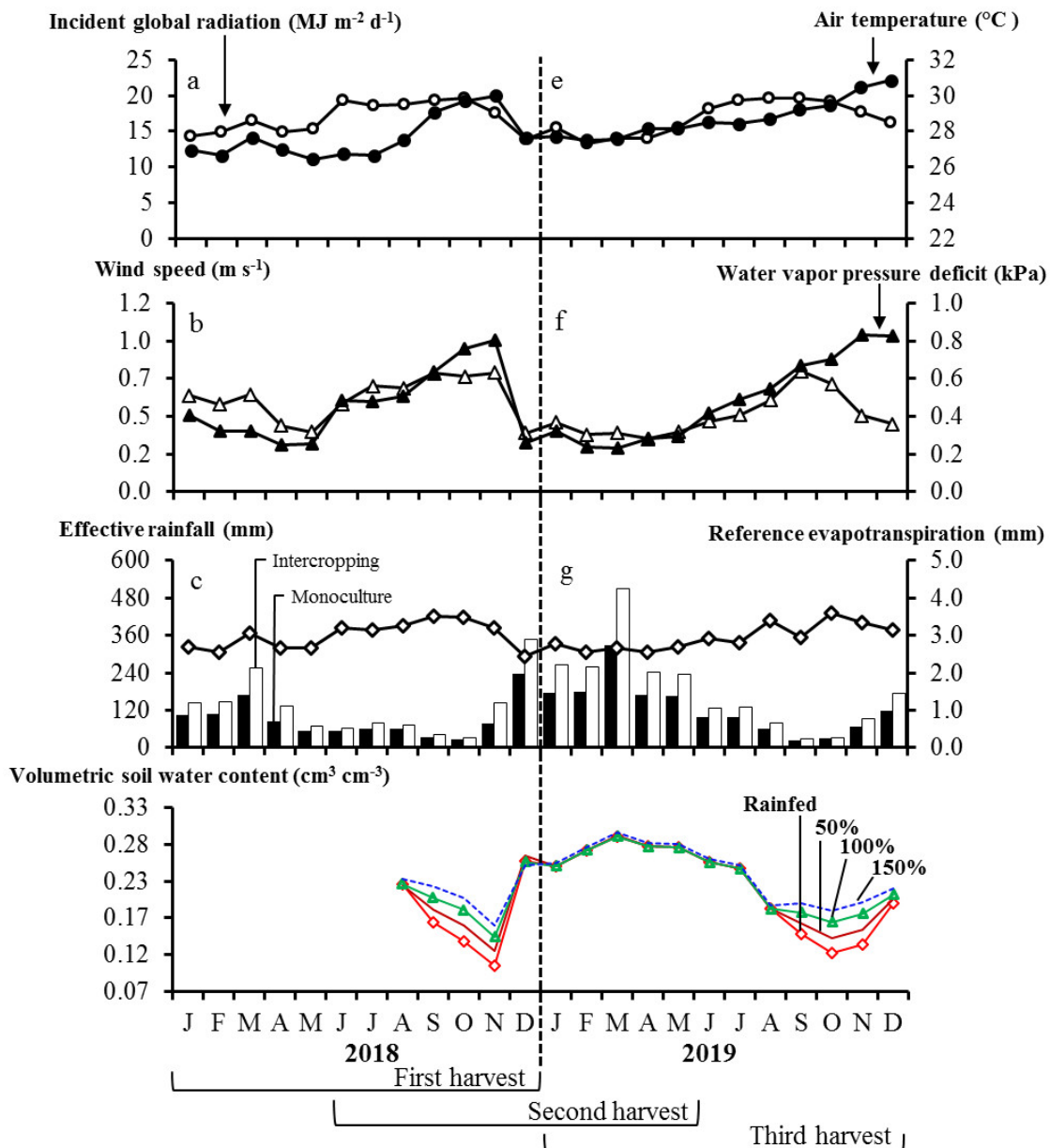


Figura 2. 3. Variabilidade Mensal das condições meteorológicas durante os anos de 2018 e 2019 no plantio comercial de açaizeiro, Castanhal-PA. Em (A) e (E): radiação global incidente e temperature do ar ; (B) e (F): velocidade do vento a 2 metros acima do dossel e deficit de pressão de vapor d'água; (C) e (G): Média da Evapotranspiração de referência e Precipitação pluviométrica efetiva – ocorrida no monocultitvto; e Rainfall – total de chuvas ocorridas no consórcio); (D) e (H): conteúdo volumétrico de água no solo , nos tratamentos: T_R - Rainfed treatment; T_{50%} - 50% fraction of reference evapotranspiration (ET₀); T_{100%} - 100% fraction of ET₀; and T_{150%} - referring to 150% of ET₀.

As observações conteúdo volumétrico de água no solo iniciaram-se a partir do mês de agosto de 2018, próximo ao início da irrigação, e devido a diferenciação dos tratamentos os valores foram menores no tratamento sequeiro, com maiores valores conforme a ordem de

maior irrigação. Próximo do final de novembro de 2018, a irrigação foi suspensa devido ao início do período chuvoso, tornando a umidade do solo semelhante em todos os tratamentos, permanecendo uniforme até setembro de 2019, quando se iniciou a irrigação do presente ano (Figura 2.3d e 2.3h; Figura 2.4).

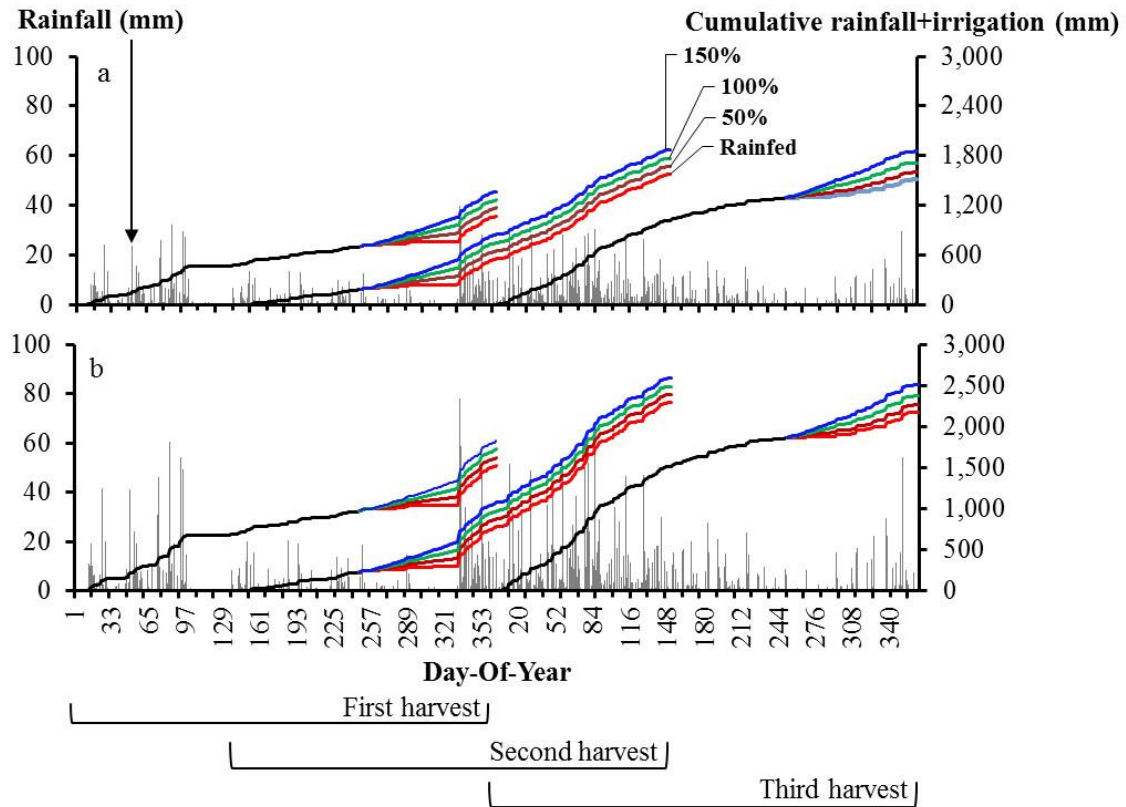


Figura 2. 4. Precipitação e irrigação diária, e precipitação cumulativa e irrigação durante as safras de 2018, 2019.1 e 2019.2 de açaizeiro. (A) monocultivo e (B) consórcio. As setas indicam o início e o final do uso de irrigação.

Os eventos de irrigação de cada tratamento influenciaram nos valores de chuva e irrigação acumulados de cada safra avaliada. Nas três safras avaliadas o TR teve como acumulativo a entrada apenas da precipitação efetiva, enquanto que os demais tratamentos foram crescido das frações de irrigação de cada tratamento. A segunda e terceira safra apresentaram maior acumulativo quando comparado, uma vez que ocorreu maior volume de chuvas no ano de 2019. No consórcio os valores acumulados foram superiores devido que a entrada de chuva efetiva no sistema é maior que no monocultivo (Figura 2.4).

Houve uma maior reposição de água no solo por meio da irrigação em 2018, visto que durante o período de irrigação em 2019 ocorreu 15% a mais de chuva que no ano anterior, mesmo que o sistema de irrigação tenha sido acionado por um período menor em 2018 (Tabela 2.2), devido à maior demanda atmosférica em 2018 durante o período de irrigação (ET₀ total

de 296,54 mm) comparado ao existente em 2019 (ET0 total de 288,73 mm) (**Figura 2.3c e 2.2g**).

Tabela 2. 2. Irrigação e chuva efetiva durante o período de aplicação dos tratamentos no plantio comercial de açaizeiro, Castanhal-PA. Em 2018, os tratamentos foram aplicados durante os meses de setembro a novembro, e em 2019, nos meses de setembro a dezembro.

	2018 (Sep to Nov)		2019 (Sep to Dec)	
	Monocultu re	Intercropi ng	Monocultu re	Intercropi ng
	----- mm -----			
Rainf ed	67.58	79.13	106.29	138.21
50%	80.69	69.14	85.68	75.26
100%	228.96	217.41	199.11	150.52
150%	377.23	365.68	329.09	225.78

Durante a utilização da irrigação em 2018, a lâmina de água utilizada em função da evapotranspiração de referência correspondeu em média à 1,72 mm no tratamento 50%, variando entre 1,09 mm e 2,16mm; à 3,45 mm no tratamento 100%, com mínimo de 2,19 mm e máximo de 4,32 mm; e no tratamento 150%, a média diária foi de 5,17 mm, com amplitude entre 3,28 mm 6,48 mm. Em 2019, a lâmina de irrigação adotada no tratamento 50% foi em média de 1,68 mm, variando entre 0,67 mm e 2,15 mm; no tratamento 100% foi de 3,36 mm, com mínima de 1,35 mm e máxima de 4,29 mm; e no tratamento 150% foi de 5,05 mm, variando entre 2,02 e mm e 6,44 mm.

A determinação das safras foi definida em função de observações dos estádios fenológicos do açaizeiro, baseado no percentual de plantas com cachos prontos para colheita. O açaizeiro apresentou na maioria dos meses a presença de cachos maduros, isso ocorre devido que na fase reprodutiva apresentar todas as subfases na mesma planta, porém existem períodos que essas subfases prevalecem no pomar, conforme as linhas tracejadas da figura 4 demonstram. Quanto, a colheita dos frutos, observou-se que o período no primeiro ano de avaliação (2018) se concentrou nos meses de setembro a dezembro, em ambos os sistemas de cultivo, enquanto que no primeiro semestre o percentual de plantas com cachos maduros foi inferior a 15% (**Figura 2.5**).

Plants with ripe bunches (%)

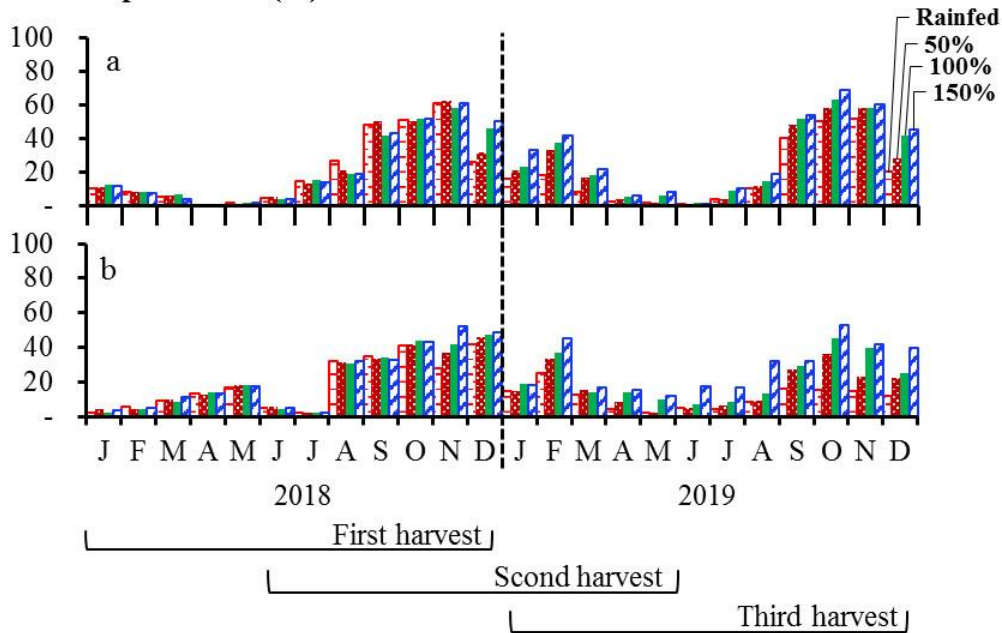


Figura 2. 5. Percentual de plantas de açaizeiro com presença de cachos maduros durante os anos de 2018 e 2019.

Padrão semelhante foi encontrado no experimento de 2019, com maior presença de cachos maduros durante o segundo semestre, e menor ocorrência de cachos maduros no início do ano, sendo, porém superior ao observado no experimento durante o ano 2018, possivelmente como resposta ao efeito da irrigação iniciada no final de 2018. A maturação dos cachos de frutos concentra-se nos meses de menor ocorrência de chuvas, e consequentemente com menor nebulosidade o que coincide com o período de maior radiação global incidente no topo do dossel das plantas, e também com maiores temperaturas, velocidade do vento e déficit de pressão de vapor (**Figura 3. 3**).

Apesar da irrigação ter iniciado em setembro de 2018, somente nos meses seguintes observou-se a diferenciação entre a frequência de plantas com a presença da fase reprodutiva em cachos maduros, visto que se trata de uma cultura de ciclo longo, e os efeitos da irrigação não ocorrem imediatamente.

Essa observação também é válida para o ano de 2019, as plantas apresentaram maior frequência de maturação nos primeiros meses do ano quando comparado ao ano anterior, inclusive no tratamento em sequeiro, sendo resultado conjunto da quantidade água que entrou pela ocorrência de chuvas no segundo semestre de 2018, pelo incremento da irrigação para as parcelas irrigadas (**Figura 2.5**).

A entrada de água durante o segundo semestre (agosto a dezembro), por chuva e irrigação, promoveu a emissão de espigas nesses meses as quais foram os resultados de frutificação posterior à seis meses, ou seja, nos meses de janeiro a junho, gerando então uma safra durante o primeiro semestre do ano. Mesmo com o reinício do período chuvoso os tratamentos se mantiveram diferenciados durante o ano de 2019, na maioria dos meses seguidos, em função do efeito residual dos tratamentos de 2018, e essa observação se intensificou durante o segundo semestre com o retorno do período menos chuvoso e da necessidade da irrigação (**Figura 2.5**). Assim, a condição de sequeiro proporcionou uma safra anual (2018), enquanto que o incremento de irrigação proporcionou duas safras anuais (2019).

Os resultados da avaliação apresentaram interação entre os fatores avaliados (Teste F a 1%) nas três safras avaliadas para os parâmetros de produtividade e eficiência do uso da água. Comprovaram que a quantidade de água e o sistema de cultivo adotado para açaizeiro afetam significativamente os níveis de produtividade dos seus frutos e, conseqüentemente, a sua eficiência do uso da água. Enquanto que o comprimento do cacho não apresentou influência da interação (**Tabela 2. 3**).

Tabela 2. 3. Valores médios de comprimento do cacho, produtividade de frutos de açaizeiro e eficiência do uso da água na área de monocultivo e de consórcio, em diferentes lâminas de irrigação, nas três safras avaliadas, Castanhal-PA.

First harvest									
Treatment	Bunch length (cm)		Yield (kg ha ⁻¹)		WUE (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)				
	Monoculture	Intercropping	Monoculture	Intercropping	Monoculture	Intercropping			
Rainfed	70.38	69.38	3,085.26 dA	1,733.58 dB	2.88 bA	1.13 cB			
50%	70.50	69.13	4,465.09 cA	2,479.63 cB	3.82 aA	1.52 bB			
100%	70.38	70.75	4,948.78 bA	3,056.81 bB	3.90 aA	1.77 aB			
150%	70.50	71.63	5,321.08 aA	3,375.60 aB	3.89 aA	1.85 aB			
Second harvest									
	Monoculture	Intercropping	Monoculture	Intercropping	Monoculture	Intercropping			
Rainfed	71.69	75.13	2,053.49 dB	3,390.61 dA	1.31 cB	1.48 bA			
50%	71.38	81.50	2,802.76 cB	4,218.97 cA	1.83 bA	1.76 aA			
100%	76.38	83.59	3,329.88 bB	4,739.21 bA	1.78 bA	1.83 aA			
150%	73.75	84.75	3,917.90 aB	5,025.75 aA	1.94 aA	1.74 aB			
Third harvest									
	Monoculture	Intercropping	Monoculture	Intercropping	Monoculture	Intercropping			
Rainfed	77.63	73.88	2,389.49 dA	2,007.27 cB	1.58 cA	0.92 cB			
50%	78.25	82.63	2,825.00 cA	2,983.22 bA	1.76 bA	1.32 bB			
100%	78.38	77.17	3,712.63 bA	3,213.75 bB	2.16 aA	1.35 bB			
150%	81.63	78.19	4,011.79 aA	4,091.67 aA	2.23 aA	1.63 aB			
A synopsis of analysis of variances									
Harvest	Bunch length (cm)			Yield (kg ha ⁻¹)			WUE (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)		
	first	second	third	first	second	third	first	second	third
Irrigation	ns	*	ns	**	**	**	**	**	**

Cultivation systems	ns	*	*	**	**	**	**	*	**
Irrigation X Cultivation systems	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**
CV (%) Irrigation	2.49	7.12	5.61	5.59	8.42	8.26	5.23	5.17	9.38
CV (%) Cultivation systems	1.71	7.60	6.78	5.42	8.56	6.72	5.11	5.18	5.80

WUE – water use efficiency; CV – coefficient of variation; ns – non-significant; * significant at 5%; ** significant at 1% by F-test. Means followed by the same letter do not differ statistically. The t-test was applied at 5% probability level; lowercase letters – irrigation depths; uppercase letters – cultivation systems.

De forma geral, nas três safras avaliadas, a produtividade foi menor no tratamento em sequeiro (T_R), demonstrando que a quantidade de água fornecida pela chuva não é suficiente para promover o desenvolvimento pleno da cultura, comparado aos demais tratamentos (**Tabela 2.3 e Figura 2.5**).

Na *primeira safra*, cuja produtividade foi monitorada entre os meses de setembro a dezembro, o uso da irrigação promoveu diferença estatística entre todos os tratamentos e nos dois sistemas de cultivo, sendo o tratamento $T_{150\%}$ que apresentou melhor rendimento, gerando um acréscimo em produtividade de 42% e 49% no monocultivo e no consórcio, respectivamente, quando comparado com o tratamento em sequeiro. Entre sistema de cultivo, todos os tratamentos foram diferentes, com valores superiores no sistema de monocultivo (**Tabela 2.3**).

Já na *segunda safra*, a qual correspondeu à entrada de água entre junho de 2018 a maio de 2019, cujos cachos foram colhidos entre janeiro e maio de 2019, a produtividade também diferiu estatisticamente em todos os tratamentos, em ambas os sistemas de cultivo adotados, com maior valor também no $T_{150\%}$, sendo que houve um incremento de produção de 48% no monocultivo, e de 33% no consórcio, comparado ao T_R (**Tabela 2.3**). Nessa safra, embora a produtividade em todos os tratamentos no monocultivo tenha sido inferior à *primeira safra*, observou-se o inverso no sistema de consórcio.

Ambos os sistemas apresentaram safra maior no segundo semestre que no primeiro no ano de 2018, essa safra do primeiro semestre não foi avaliada no presente estudo por provavelmente apresentar reflexos das condições de manejo e climáticas do ano anterior (2017), o qual não entrou na avaliação deste estudo. No entanto, de acordo com histórico de produção das áreas, as safras neste ano corresponderam à 607 kg ha^{-1} no monocultivo, e a 604.9 kg ha^{-1} no consórcio.

Na *terceira safra*, colhida no segundo semestre de 2019, os menores rendimentos de frutos na área do monocultivo corresponderam ao tratamento T_R e o maior rendimento foi

obtido no tratamento T_{150%}, apresentando, em média, acréscimo de 44% em relação a T_R. No sistema de consórcio, foi observado que o tratamento T_{150%} também apresentou maior rendimento, e o menor ocorrendo no tratamento T_R, cuja diferença correspondeu a 53% (**Tabela 2.3**)

Quanto à WUE, em geral, o T_R foi menos eficiente nas safras avaliadas, sendo que na *safra 2018*, no monocultivo, a WUE foi maior nos tratamentos T_{50%}, T_{100%} e T_{150%}, os quais não diferiram estatisticamente, enquanto que no consórcio, os tratamentos T_{100%} e T_{150%} foram os maiores, quando comparado entre sistemas de cultivo, o monocultivo apresentou os maiores valores (**Tabela 2.3**). Na segunda safra, a WUE, no consórcio, apresentou melhor resultado nos tratamentos 50%, 100% e 150%, enquanto que no monocultivo o melhor desempenho foi no T_{150%}. Entre os dois sistemas de cultivo, observou-se diferença somente entre os tratamento T_R e T_{150%} (**Tabela 2.3**).

Na *terceira safra*, no consórcio, a eficiência do uso da água apresentou melhor resultado no 150% e menor no sequeiro, 50% e 100%, os quais não se diferenciaram estatisticamente, enquanto que no monocultivo, a WUE foi maior no tratamento 100% e 150% e menor no tratamento sequeiro (**Table 3**).

Discussão

O açaizeiro cultivado em terra firme, quando observado em manejo de sequeiro, em outros relatos possui a colheita dos frutos concentrada no período de menor disponibilidade hídrica, corroborando as observações do presente estudo (**Fig. 4 e Fig. 5**), sendo que a disponibilidade de água no ambiente é relevante para o lançamento das estruturas pré-florais, como constatado por Cifuentes et al. 2013 em estudo de fenologia de *E. oleracea*. O mesmo padrão foi observado em cultivos de açaizeiro nativo de áreas de várzeas na Amazônia, que possuem uma safra concentrada no período seco.

Logo, o uso da irrigação promove modificações no ciclo fenológico, em especial no aumento de emissão de espigas, uma vez que ao ser ofertado água no período seco por irrigação ou por chuvas, as plantas de açaizeiro são induzidas a lançamento de preflorações que resultarão em cachos maduros durante o período chuvoso, conforme observado no experimento, no primeiro semestre do ano, representado pela segunda safra (primeiro semestre de 2019), como resultado da disponibilidade hídrica no segundo semestre de 2018. Desataca-se ainda que essa safra do primeiro semestre na região de estudo é de grande relevância para a lucratividade dos produtores, visto que os meses correspondentes a essa safra são denominados período de

vulnerabilidade da cadeia produtiva do açaizeiro (Souza et al. 2013), pois, tanto em áreas de várzea como em cultivos de açaizeiro de terra firme em sequeiro, esses meses apresentam baixos rendimentos de frutos.

Vários estudos demonstraram a importância da água para a fase reprodutiva dos vegetais, sobretudo, testando distintas lâminas de irrigação, como nos experimentos de Rinaldi et al. (2015) e Andrade et al. (2014), os quais avaliaram a produtividade e eficiência do uso da água em espécies frutíferas como tomateiro e figueiras, respectivamente. Nessas culturas, o efeito observado dos tratamentos com irrigação aumentou a produtividade, assim como neste experimento. Destaca-se que plantas hidratadas transpiram em plenitude, e assim, produzem mais fotoassimilados e, conseqüentemente, são mais produtivas (Verbree et al. 2014; Torma et al. 2017). Tal fato explica as diferenças encontradas entre as produtividades do T_S e as demais parcelas irrigadas com maior fração de água aplicada, sobretudo o tratamento 150% da ET₀ (**Tabela 2.2**)

Diferente da produtividade, as observações de WUE (**Table 2.2 e Figura 2.5**) na primeira e segunda safra, em ambos os sistemas de cultivo indicam que as lâminas correspondentes aos tratamentos 100% e 50% são tão eficientes quanto o 150%, demonstrando com base no critério de WUE, que estas frações de evapotranspiração de referência podem ser indicadas ao uso no manejo da irrigação. A viabilidade de irrigação deficitária vem sendo amplamente estudada associada à avaliações de rentabilidade econômica, como no experimento desenvolvido por Wang et al. (2018), onde foram observados valores superiores de WUE em irrigação reduzida em três safras de trigo nas condições climáticas no Norte da China. Atualmente, devido à busca por desenvolvimento sustentável, o uso racional da água é de grande relevância, principalmente, em locais com pouca oferta de água (Nazari et al. 2018).

Em espécies de palmeiras essas avaliações com distintas lâminas de irrigação são mais frequentes em experimentações de plantas jovens em fase vegetativa, quando ainda são cultivadas em viveiro, como no estudo desenvolvido por Silvestre et al. (2017) que concluíram que o açaizeiro possui alta demanda hídrica e não tolera déficit hídrico, assim como no trabalho de Oliveira et al (2002) que encontraram resultados semelhantes para plantas de pupunheira. Por outro lado, plantas de dendezeiro apresentaram híbridos tolerantes a seca, sendo capazes de ajustar sua fisiologia para tanto (Silva, et al., 2017).

Já em fase reprodutiva, Miranda et al. (2019) avaliaram o coqueiro anão no estado do Ceará em duas propriedades de cultivos de coco irrigado com diferente manejo, e assim como

o presente estudo a produtividade e eficiência do uso da água foram diferentes entre as áreas avaliadas.

Para *E. oleracea* em fase reprodutiva, a partir do quarto ano de vida, as avaliações do presente estudo são indispensáveis ao uso adequado da irrigação para fins de aumento da produtividade. Porém, é notória a necessidade de estudos básicos que possam auxiliar pesquisas dessa natureza, tais como a determinação do coeficiente da cultura e avaliação da fenologia em fase reprodutiva nos diferentes climas do país, assim como já foi realizado com outras culturas importantes para agricultura no Brasil (Souza et al. 2014; Sousa et al. 2021), bem como para espécies nativas do ecossistema amazônico, como no estudo de Monteiro et al. (2016) que determinaram os coeficientes de culturas para espécies florestais amazônicas.

A partir dos resultados encontrados neste estudo, é possível verificar que a produtividade elevada associada à fração irrigada do $T_{150\%}$, em ambos os sistemas de cultivo, sugere que o coeficiente de cultivo (K_c) do açaizeiro seja superior a 1.00, caso contrário os rendimentos poderiam ser maiores nas lâminas inferiores, porém essa avaliação muda em função da fenologia das plantas entre outros fatores, como clima e tratamentos culturais. No estudo de Sousa et al. (2021) foi identificado para plantas de açaizeiro, K_c variando entre 0,89 e 1,19, com demanda hídrica de $3,49 \text{ mm d}^{-1}$, inferior ao encontrado neste estudo, cuja lâmina média foi de $5,11 \text{ mm d}^{-1}$.

Quanto a comparação de sistemas de cultivo, destaca-se a *safrá 2018*, onde tanto a produtividade quanto o WUE apresentaram valores superiores no sistema de monocultivo que no de consórcio. No entanto, durante a *safrá 2019.1*, esse padrão inverteu-se, com o sistema de consórcio apresentando produtividade superior em todos os tratamentos, e como já mencionado, gerando maior lucratividade aos produtores, uma vez que esta segunda safra ocorre quando os preços do açaí se elevam, pois a oferta de frutos no mercado é menor que a demanda (IBGE 2019).

Dentre as causas para as diferenças na produtividade de açaí entre os sistemas de cultivo em questão, pode-se citar a ciclagem de água e nutrientes que são distintas nos dois ecossistemas avaliados (Alves et al. 2018). No consórcio, ocorreu maior entrada de água do que no monocultivo (**Figura 2.4**), devido à disposição das estipes de açaizeiro estarem dividindo espaço com cupuaçuzeiro, que são árvores de menor porte (3 m de altura) e formam menor cobertura de dossel comparado com a copa do monocultivo, onde todas as plantas estão em altura de 12 metros. Tal fato gerou promoção de estruturas reprodutivas em maior número que o observado no sistema convencional de monocultivo, visto que em média a quantidade de

espatas emitidas durante as observações fenológicas foram de 30% a mais no consórcio que no monocultivo.

Além do fator chuva efetiva, é importante destacar que a densidade de raízes observadas no consórcio na camada de 00-40, foi 37% superior que no monocultivo na mesma profundidade (**Tabela 2.1**), exatamente onde estão concentradas as raízes efetivas do açaizeiro, conforme observado por Lindolfo et al. (2020), promovendo, portanto, maior assimilação de água e nutrientes.

Pinho et al. (2012), em estudo sobre consórcios arranjos em sistemas agroflorestais na Amazônia, afirmam que os benefícios desse dimensionamento são, principalmente, ligados ao acréscimo de matéria orgânica no solo, e conseqüentemente, no aumento da fertilidade do solo, além do maior estoque de carbono no solo quando comparado a sistemas de monocultivo. Além destes benefícios, destaca-se que os consórcios aliados ao uso de irrigação promovem uma condição de sub-bosque que favorecem a diversidade de microfauna e mesofauna, proporcionando um ambiente atrativo a polinizadores.

Logo, a técnica de uso de consórcio em pomares na Amazônia vai além de ser somente uma prática sociocultural dos habitantes, pois atingem outros pilares do desenvolvimento sustentável, visto que quando bem manejados promovem diversidade ao ecossistema local, consumo e renda em tempos distintos dos mais variados tipos de produtos, como sementes, frutas e madeira, uma vez que as plantas possuem hábitos e tempos de colheita diferentes. Tais benefícios dessa prática podem contribuir a longo prazo para mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

A quantificação da produtividade e da eficiência do uso da água para a cultura do açaizeiro em terra firme, arranjos nos mais diversos sistemas de cultivo, são de grande relevância no desenvolvimento da Amazônia, visto que a cultura possui grande importância socioeconômica e cultural para as comunidades dessa região. Além destas informações, é importante ressaltar a continuidade de estudos que quantifiquem a eficiência econômica da produção de açaizeiro, tanto em distintas lâminas de irrigação, quanto nos variados arranjos de cultivo, uma vez que, as avaliações econômicas são informações chaves para o planejamento dos recursos financeiros e naturais de determinado lugar.

Conclusão

A prática da irrigação garante produtividade elevada de frutos de açaí durante o ano todo nas condições de clima tropical úmido no leste da Amazônia. A produtividade de frutos de

açazeiro, em monocultivo e consórcio, tem melhor desempenho em regas com reposição de 150% da evapotranspiração de referência, em média de 5.11 mm durante os meses de menor ocorrência de chuvas, no segundo semestre do ano, garantindo, em média, ganhos em massa de frutos entre 44% e 45% no monocultivo e consórcio, respectivamente. A diferenciação da produtividade em função das lâminas de irrigação promove melhor desempenho da eficiência do uso da água do açazeiro em monocultivo, sendo a fração de 150% da evapotranspiração de referência mais eficiente. Enquanto que no consórcio, as lâminas de irrigação de 50% e 100% da evapotranspiração de referência garantem eficiência do uso água semelhante a regas de 150% no consórcio. Em ambos os sistemas de cultivo, as condições de manejo sem irrigação, sequeiros, acarreta baixa eficiência do uso da água. Contudo, o açazeiro disposto em consórcio com cupuaçuzeiro destaca-se em safras colhidas durante o período chuvoso, assegurando maior diversidade ecossistêmica e rentabilidade aos produtores da Amazônia.

Referências

ABDELKHALIK, A.; PASCUAL, B.; NÁJERA, I.; et al. Effects of deficit irrigation on the yield and irrigation water use efficiency of drip-irrigated sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under Mediterranean conditions. **Irrigation Science**, v. 38, n. 1, p. 89–104, 2020. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00271-019-00655-1>>.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **FAO**, p. 300, 1998. Roma.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. Disponível em: <http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref>. .

ALVES, R. M.; BASTOS, A. J. R.; CHAVES, S. F. DA S.; FERNANDES, J. R. Q. Spondias mombin and Theobroma grandiflorum in agroforestry system: productivity implications. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 6, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452018000600703&tlng=en>. .

ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília-DF: Agência Nacional de Águas, 2017.

ANDRADE, I. P. DE S.; CARVALHO, D. F. DE; ALMEIDA, W. S. DE; SILVA, J. B. G.; SILVA, L. D. B. DA. Water requirement and yield of fig trees under different drip irrigation management. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 1, p. 17–27, 2014. Jaboticabal. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162014000100003&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 5/2/2020.

BONOMO, L. DE F.; SILVA, D. N.; BOASQUIVIS, P. F.; et al. Açai (Euterpe oleracea Mart.) Modulates Oxidative Stress Resistance in Caenorhabditis elegans by Direct and Indirect Mechanisms. (A. Nazir, Org.) **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, p. e89933, 2014. Public Library of Science. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0089933>>. Acesso em: 12/1/2020.

CEDRIM, P. C. A. S.; BARROS, E. M. A.; NASCIMENTO, T. G. DO. Propriedades antioxidantes do açai (Euterpe oleracea) na síndrome metabólica. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.09217>>. Acesso em: 8/10/2019.

CIFUENTES, L.; MORENO, F.; ARANGO, D. A. Comportamiento fenológico de Euterpe oleracea (Arecaceae) en bosques inundables del Chocó biogeográfico. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 84, n. 2, p. 591–599, 2013. No longer published by Elsevier. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187034531372877X?via%3Dihub>>. Acesso em: 7/10/2018.

EMBRAPA. BRS Pai d'égua. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1113785/brs-pai-degua>>. Acesso em: 14/1/2020.

HATFIELD, J. L.; DOLD, C. Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a Changing Climate. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2019.00103/full>>. .

HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L.; DE MENEZES, A. J. E. A.; DE CARVALHO, J. E. U.; NICOLI, C. M. L. Açai: novos desafios e tendências. **Extrativismo Vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação**. p.468, 2014. Brasília: Embrapa.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v. 92, n. 2–3, p. 185–202, 2005. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429005000304>>. .

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, 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452020000203001&tlng=en>. .

MARTINOT, J. F.; PEREIRA, H. DOS S.; SILVA, S. C. P. DA. Coletar ou Cultivar: as escolhas dos produtores de açai-da-mata (Euterpe precatoria) do Amazonas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 4, p. 751–766, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032017000400751&lng=pt&tlng=pt>. .

MIRANDA, F. R. DE; ROCHA, A. B. S.; GUIMARÃES, V. B.; et al. Eficiência do uso da água na irrigação do coqueiro Anão. **IRRIGA**, v. 24, n. 1, p. 109–124, 2019. Disponível em: <<http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3567>>. .

MONTEIRO, E. B.; SILVA, A. C. DA; SOUZA, A. P.; et al. Water requirements and crop coefficients of tropical forest seedlings in different shading conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 709–715, 2016. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662016000800709&lng=en&tlng=en>. .

NAZARI, B.; LIAGHAT, A.; AKBARI, M. R.; KESHAVARZ, M. Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement. **Agricultural Water Management**, v. 208, n. June, p. 7–18, 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378377418307194>>. .

NG CHEONG, L. R.; TEELUCK, M. The Practice of Green Cane Trash Blanketing in the Irrigated Zone of Mauritius: Effects on Soil Moisture and Water Use Efficiency of Sugarcane. **Sugar Tech**, v. 18, n. 2, p. 124–133, 2016. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s12355-015-0374-1>>. .

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C. DE; GARCIA, W. S. A dinâmica do mercado de açaí fruto no Estado do Pará: de 1994 a 2009. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 324–331, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2013000300004&lng=pt&tlng=pt>. .

RINALDI, M.; GAROFALO, P.; VONELLA, A. V. PRODUCTIVITY AND WATER USE EFFICIENCY IN PROCESSING TOMATO UNDER DEFICIT IRRIGATION IN SOUTHERN ITALY. **Acta Horticulturae**, n. 1081, p. 97–104, 2015. Disponível em: <https://www.actahort.org/books/1081/1081_9.htm>. .

SILVA, P. A.; COSME, V. S.; LEA, M.; REGINALDO, L. C.; BUSELLI, A. F. Drought tolerance in two oil palm hybrids as related to adjustments in carbon metabolism and vegetative growth. **Acta Physiol Plant**, p. 39–58, 2017.

SILVESTRE, W. V. D.; SILVA, P. A.; PALHETA, L. F.; et al. Differential tolerance to water deficit in two açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) plant materials. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, n. 1, p. 4, 2017. Polish Academy of Sciences. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11738-016-2301-9>>. Acesso em: 5/2/2020.

SOUSA, D. DE P.; FERNANDES, T. F. S.; TAVARES, L. B.; et al. Estimation of evapotranspiration and single and dual crop coefficients of acai palm in the Eastern Amazon (Brazil) using the Bowen ratio system. **Irrigation Science**, 2021. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00271-020-00710-2>>. .

SOUZA, P. J. O. P.; RAMOS, T. F.; FIEL, L. DE C. S.; et al. Yield and water use efficiency of cowpea under water deficit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 119–125, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662019000200119&lng=en&tlng=en>. .

SOUZA, R. O. R. DE M.; AMARAL, M. A. C. M. DO; SILVESTRE, W. V. D.; SACRAMENTA, T. M. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO EM POMARES DE AÇAÍ. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 1, p. 54–65, 2013. Fortaleza.

TORMA, P. DO C. M. R.; BRASIL, A. V. S.; CARVALHO, A. V.; et al. Hydroethanolic extracts from different genotypes of açaí (*Euterpe oleracea*) presented antioxidant potential and protected human neuron-like cells (SH-SY5Y). **Food Chemistry**, v. 222, p. 94–104, 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814616320155>>. .

VAZ, Ú. L.; NABOUT, J. C. Using ecological niche models to predict the impact of global climate change on the geographical distribution and productivity of *Euterpe oleracea* Mart. (Arecaceae) in the Amazon. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 2, p. 290–295, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062016000200290&lng=en&tlng=en>. .

XIAO, J.; LIU, T.; LIN, H.; et al. Weather variables and the El Niño Southern Oscillation may drive the epidemics of dengue in Guangdong Province, China. **Science of The Total Environment**, v. 624, p. 926–934, 2018. Elsevier. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717336331?via%3Dihub>>. Acesso em: 23/3/2018.

YAMAGUCHI, K. K. D. L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; DA VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. **Food Chemistry**, v. 179, p. 137–151, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814615000576>>. Acesso em: 13/1/2020.

CAPITULO 3 - PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA DE CUPUAÇUZEIRO IRRIGADO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE CASTANHAL-PA, AMAZÔNIA BRASILEIRA

RESUMO

O cupuaçuzeiro é uma espécie promissora para o desenvolvimento sustentável da agricultura na Amazônia, porém, ainda está no processo de domesticação, sendo necessário estudos fitotécnicos para otimizar a produção de seus frutos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade e eficiência do uso da água (EUA) do cupuaçuzeiro sob diferentes disponibilidades hídricas no município de Castanhal-PA. O experimento foi conduzido entre os anos de 2018 e 2020, representando duas safras, com uso de irrigação por microaspersão em um plantio de 0,3 ha da cultivar BRS-Carimbó. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com 4 tratamentos e 10 repetições, os tratamentos aplicados foram: TS (sem irrigação - sequeiro), T50, T100 e T150, referentes a 50%, 100% e 150% da evapotranspiração de referência, respectivamente. Foi realizada análise de variância, utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$), e análise de regressão. Os resultados demonstraram melhor desempenho no T100, sendo superior em 68% na produção de frutos que o TS, a produtividade e EUA ajustaram-se a modelos de regressão polinomiais. A EUA foi máxima no T100 ($2,615 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) e mínima no TS ($1,105 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Logo, indica-se que a irrigação em pomares de cupuaçuzeiro seja de 100% da evapotranspiração de referência.

Palavras-chave: *Theobroma grandiflorum* (Wild.Ex.Spreng.) Schum, irrigação, rendimento, consórcio, clima.

YIELD AND WATER USE EFFICIENCY OF IRRIGATED CUPUAÇU TREES UNDER THE CLIMATE CONDITIONS OF CASTANHAL-PA, BRAZILIAN AMAZON

ABSTRACT

Cupuaçu tree is a promising species for the sustainable development of Amazonian agriculture. However, it is still in the domestication phase and requires phytotechnical studies to optimize fruit production. The objective of this study was to evaluate the yield and water use efficiency (WUE) of cupuaçu trees under different levels of water availability in the municipality of Castanhal-PA. The experiment was performed between 2018 and 2020 during two harvests, using micro-sprinkler irrigation in a 0.3 ha plantation of the BRS-Carimbó cupuaçu cultivar. The experimental design was completely randomized, with 4 treatments and 10 repetitions. The treatments were: TS (without irrigation - rainfed), T50, T100 and T150, referring to 50%, 100% and 150% of the reference evapotranspiration, respectively. Analysis of variance and comparison of means were performed by the Tukey test ($p < 0.05$), in addition to regression analysis. The results showed better performance in response to T100, which had fruit production 68% higher than TS. The results of yield and WUE were adjusted by polynomial regression, with maximum WUE for T100 ($2.615 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) and minimum for TS ($1.105 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Therefore, irrigation must be 100% of the reference evapotranspiration in cupuaçu plantations.

Keywords: *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K.Schum, irrigation, yield, intercropping, climate.

Introdução

O cupuaçuzeiro [*Theobroma grandiflorum* (Wild.ex.Spreng.) Schum] é uma espécie vegetal de porte arbóreo, de origem tropical, perene e pertencente à família Malvaceae, se destaca pela produção de seus frutos, cupuaçu, que tem grande importância nutricional e socioeconômica (DIAS et al., 2019). Apesar dessa relevância, ainda se encontra em processo de domesticação, e muitas informações técnicas para produção ainda são necessárias. Na Amazônia, o mesmo é cultivado em solos de várzea alta e de terra firme, geralmente é disposto em sistemas de consórcios com outras frutíferas, como cacaueiro, açaizeiro, bananeira ou em sistemas agroflorestais (ALVES et al., 2014; ALVES et al., 2018).

O fruto do cupuaçu é do tipo baga, com formato alongado e extremidades arredondadas, possui uma casca lenhosa, sua polpa é ácida e mucilaginosa de cor amarelada, creme ou branca e apresenta sabor agradável e aroma ativo (SOUZA et al., 2011). A safra dos frutos de cupuaçu ocorre no período de maior precipitação, com produção concentrada no primeiro trimestre do ano (SOUZA et al., 2007).

A espécie é considerada uma das mais importantes para o desenvolvimento da agricultura sustentável na região amazônica, pois apresenta dupla aptidão, fornecendo polpa e sementes, além de adaptar-se em sistemas consorciados (TEIXEIRA et al., 2020). No mercado alimentício, a polpa do cupuaçu é amplamente consumida como suco, geleia e sorvete, e também vem crescendo na composição de licores e cervejas. A amêndoa do fruto é matéria prima para a produção do cupulate, que é o chocolate de cupuaçu (NUNES CLÍMACO et al., 2019). Além do ramo de alimentos, o cupuaçu tem importância na indústria de cosméticos e farmacêutica, entre os principais motivos é a composição de sua polpa, que é rica em fitoquímicos, antioxidantes e vitaminas fundamentais para a saúde, com destaque para o ácido ascórbico (PUGLIESE et al., 2013).

Decorrente dessa importância socioeconômica da espécie, os plantios comerciais de cupuaçuzeiros cresceram nos últimos anos (PEREIRA; ABREU, VIRGÍNIA K.G.; RODRIGUES, 2018). O estado do Pará é um dos principais produtores, contribuindo com 27.510 toneladas de frutos e um rendimento médio de 3.219 kg ha⁻¹, com destaque para os municípios de Acará, Tomé-Açu e Moju, localizados no nordeste paraense (SEDAP, 2020).

O cupuaçuzeiro apresenta tolerância razoável aos períodos curtos de déficit hídrico. Apesar disso, quando submetido a esse tipo de deficiência, pode exibir redução em sua biomassa, altura, área foliar e diâmetro do caule, além de alterações fisiológicas que impactam diretamente em sua produtividade (CUNHA et al., 2018).

O estado do Pará, localizado no leste da Amazônia, apresenta tipos climáticos que caracterizam um período de menor volume de chuvas durante o ano, como os tipos Aw e Am (ALVARES et al., 2014). Além de sofrer os impactos em função da ocorrência de eventos climáticos, como El Niño, que provoca irregularidades da precipitação e na temperatura do ar (DAVIDSON et al., 2012).

Uma solução para este problema é o uso da irrigação em sistemas produtivos no intuito de evitar a ocorrência de déficit hídrico e diminuição de produtividade, sendo este um fator indispensável (SOUZA et al., 2019). A irrigação é imprescindível para garantir o suprimento hídrico e uma produção adequada, principalmente em locais onde as chuvas ocorrem de maneira irregular (TESTEZLAF, 2017; RADIN; SCHÖNHOFEN; TAZZO, 2018). Essa técnica auxilia no bom funcionamento do metabolismo vegetal, através da realização dos processos transpiratórios e fotossintéticos, permitindo ganhos de produtividade às culturas com disponibilidade hídrica que supram as suas necessidades (PALHETA et al., 2018).

No entanto, é necessário que o manejo da irrigação seja feito de forma eficiente e racional, evitando o desperdício de recurso hídrico e financeiro (ALMEIDA et al., 2019). Um dos conhecimentos necessários para o uso adequado da irrigação é a determinação da evapotranspiração da cultura e dos seus coeficientes de cultivos, que ainda não foram definidos para o cupuaçuzeiro. Assim, uma alternativa para os agricultores utilizarem lâmina de água adequada para irrigação é com base na evapotranspiração de referência (BELAY et al. 2019).

O conhecimento da eficiência do uso da água (EUA), que é determinada como a relação entre a produção e as entradas de água no sistema, variando de acordo com fatores edafoclimáticos e da espécie, é fundamental para o uso sustentável dos recursos hídricos (ALI; KLEIN, 2014). Tal conhecimento permite identificar as reais necessidades hídricas das culturas, proporcionando um fornecimento adequado de água, reduzindo as perdas de produtividade e garantindo um uso mais sustentável dos recursos hídricos (OLIVEIRA, et al., 2011).

Portanto, embora o cupuaçuzeiro apresente importância socioeconômica regional e grande potencial de mercado nacional e internacional, não há pesquisas suficientes relacionadas a sua demanda hídrica e as interações solo-planta-atmosfera bem como estudos relacionados as práticas de manejo de cultivo irrigado. Assim, o objetivo do estudo foi determinar a produtividade e a eficiência do uso da água pelo cupuaçuzeiro sob diferentes lâminas de irrigação no município de Castanhal, estado do Pará, Brasil.

Material e Métodos

Área experimental

O experimento foi realizado em um plantio comercial de cupuaçuzeiro, com área de 0,3 ha, localizado no Município de Castanhal-PA, Norte do Brasil ($1^{\circ}19'24.48''\text{S}$ e $47^{\circ}57'38.20''\text{W}$) (**Figura 3.1**). As avaliações foram realizadas durante os anos de 2018, 2019 e 2020, correspondendo a idade de sete, oito e nove anos de plantio respectivamente. O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico, de textura franco arenosa (EMBRAPA 2018). O clima é do tipo Am, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido, com temperatura média anual em torno de 26°C e precipitação pluviométrica anual acima de 2.000 mm (ALVARES et al., 2014).

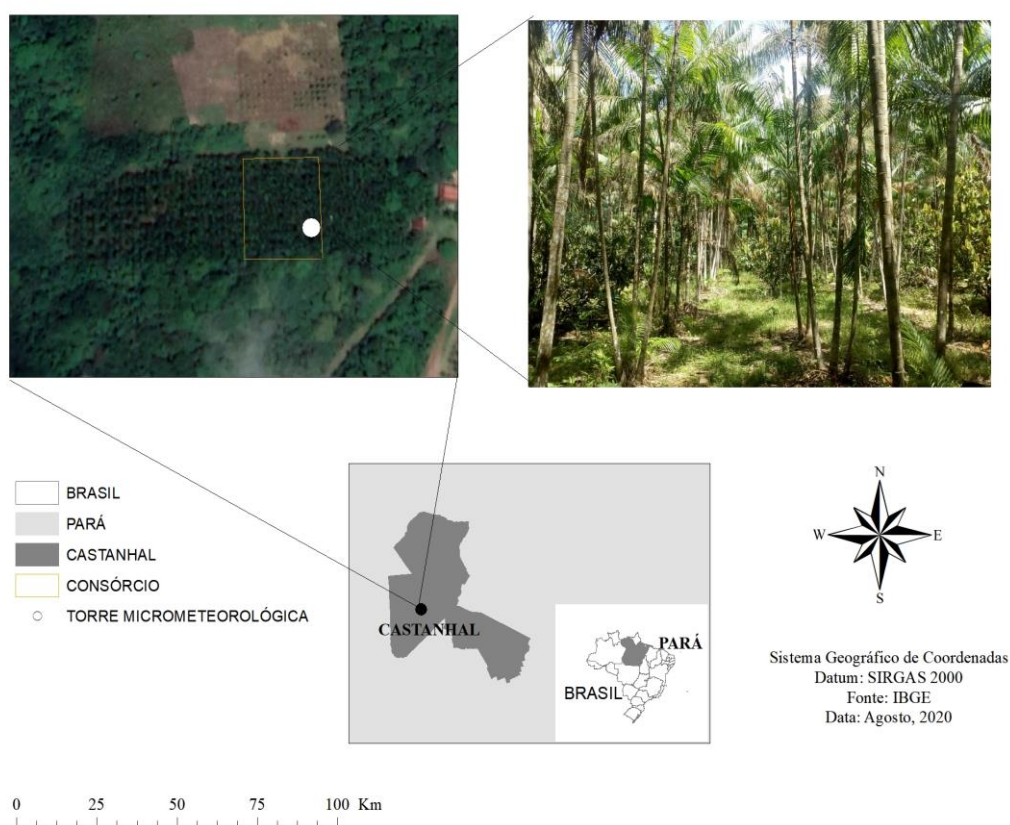


Figura 3. 1. Localização da área experimental. Castanhal, Pará, Brasil.

O plantio foi instalado no ano de 2012, o solo foi preparado com uma roçagem, duas gradagens e uma calagem dolomítica. As covas de plantio foram de dimensões de 0,4 m x 0,4 m x 0,4 m, foram adicionadas adubação fosfatada e nitrogenada. A cultivar utilizada foi a BRS-

Carimbó, com espaçamento de plantio de 8 m x 8 m com fileiras intercaladas em sistema de consórcio com plantas de açaizeiro dispostas com espaçamento de 4 m x 8 m. Até seis anos de idade, o cultivo foi manejado em sequeiro, ou seja, sem uso de irrigação.

No ano de 2018 foram realizadas coletas de amostras deformadas e indeformadas para caracterização química e físico-hídrica do solo nas profundidades de 00-20 cm e 20-40 cm (**Tabela 3.1**). As análises foram realizadas no departamento de solos da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

Tabela 3. 1. Caracterização química e físico-hídricos do solo da área experimental, plantio de cupuaçuzeiro em Castanhal-PA.

<i>Atributos químicos</i>	00-20 cm	20-40cm
pH (H ₂ O)	5,320	4,940
Matéria orgânica (%)	0,714	0,666
Fósforo (mg dm ⁻³)	0,925	6,849
Potássio (cmol _c dm ⁻³)	0,25	0,505
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	0,295	0,098
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,097	0,097
Alumínio cmol _c dm ⁻³	0,263	0,789
<i>Atributos físico-hídrico</i>		
Areia (%)	85,564	89,105
Silte (%)	9,545	3,079
Argila (%)	4,891	7,815
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,417	1,893
Capacidade de campo (m ³ m ⁻³)	0,213	0,570
Ponto de murcha permanente (m ³ m ⁻³)	0,061	0,234

Durante os anos de avaliação experimental, o cultivo de cupuaçuzeiro foi manejado com adubação química correspondendo a 2,0 kg ano⁻¹ p⁻¹ da formulação química 13%N-11%P-21%K + 2%Mg e 0,2%B, e orgânica com aplicação de uma t ha⁻¹ de mamona, ambas adubações parceladas em três aplicações ao longo do ano, nos meses de maio, setembro e dezembro. O controle de plantas daninhas foi realizado trimestralmente por capina física com uso de roçadeira.

Monitoramento das condições meteorológicas

Na área experimental foi montada uma torre micrometeorológica de 17 m de altura, nesta foram instalados sensores a dois metros acima da copa das plantas, para monitoramento da precipitação pluviométrica (TB4, Hydrological Services, Sydney, NSW, AUS), temperatura e umidade relativa do ar (HMP45C, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA), com realização de leituras a cada 10 segundos e armazenamento de médias a cada 20 minutos com

uso de um Datalogger (CR1000, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA). O acompanhamento do conteúdo volumétrico do solo foi monitorado por meio da técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) (CS616, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA), as sondas de TDR foram inseridas no solo na profundidade de 0-0,3 m, verticalmente em cada tratamento, começando o monitoramento do conteúdo volumétrico do solo em agosto de 2018. A precipitação efetiva foi determinada a partir de observações de precipitação interna e escoamento do tronco.

Tratamentos e manejo da irrigação

O experimento foi dimensionado em delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 10 repetições. Cada tratamento tinha área de 743.85 m². Os tratamentos foram aplicados com diferentes disponibilidades hídrica, em função da evapotranspiração de referência (ET₀) diária, estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO 56) (ALLEN et al. 1998), uma vez que não existem informações sobre a evapotranspiração máxima para esta cultura. Os tratamentos foram:

TS – tratamento sequeiro, 0% da ET₀, ou seja, a entrada de água foi somente pela chuva;

T50 – tratamento irrigado com 50% da ET₀;

T100 – tratamento irrigado com 100% da ET₀;

T150 – tratamento irrigado com 150% da ET₀.

Os dados para a estimativa de ET₀ foram obtidos da estação meteorológica automática gerenciada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a 2,6 km da área experimental. A partir dos valores diários de ET₀, foi determinada a lâmina de irrigação, conforme Eq. 1.

$$LB = (ET_0 - P_{ef}) * ef \quad (1)$$

Onde:

LB – Lâmina de bruta de irrigação (mm);

P_{ef} – precipitação efetiva (mm);

ef – eficiência do sistema de irrigação (%).

O tempo de irrigação de cada tratamento foi estimado pela Eq. 2.

$$TI = \frac{LB}{IA} \quad (2)$$

Onde:

TI – tempo de irrigação (h);

LB – Lâmina bruta de irrigação (mm);

IA – Intensidade de aplicação de água (mm h⁻¹).

As plantas foram irrigadas diariamente durante os anos de 2018 e 2019, durante o segundo semestre do ano, que correspondeu a menor ocorrência de precipitação pluviométrica no local. Utilizou-se sistema de irrigação localizado por microaspersão, sendo posicionado um emissor por planta, com pressão de serviço de 5,5 mca e vazão de 34,00 L h⁻¹. A eficiência do sistema de irrigação foi de 86% e 94%, em 2018 e 2019, respectivamente.

Produtividade e eficiência do uso da água

A produtividade foi mensurada por meio de coleta da massa dos frutos, com utilização de balança digital, capacidade de 40,00 kg, sensibilidade de 4,00 g e precisão de 5 dígitos.

Foram avaliadas duas safras:

- 1^a avaliação: Safra 2018/2019 – frutos colhidos em janeiro, fevereiro e março de 2019, que são frutos resultantes da fenologia e da influência ambiental de abril de 2018 a março de 2019;

- 2^a avaliação: Safra 2019/2020 – frutos colhidos em janeiro, fevereiro e março de 2020, referente à influência dos meses de abril de 2019 a março de 2020.

A eficiência do uso da água foi obtida de acordo a metodologia proposta por Inman-Bamber and Smith (2005), conforme a Eq. 3.

$$EUA = \frac{P}{I+P_{ef}} \quad (3)$$

Onde:

EUA- eficiência do uso da água (kg ha⁻¹ mm⁻¹);

P – produtividade dos frutos (kg ha⁻¹);

I – irrigação estimada por evapotranspiração de referência (mm d⁻¹);

Pef – precipitação pluviométrica efetiva (mm d^{-1}).

Para o cálculo de EUA, foi considerado os somatórios de entradas de água de precipitação efetiva e irrigação de abril de 2018 a março de 2019 para safra 2018/2019, e de abril de 2019 a março de 2020 para a safra 2019/2020.

Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), foi aplicado teste de Tukey ($p < 0,05$). As respostas significativas foram avaliadas quantitativamente por regressões. Utilizou-se do software estatístico PAST (HAMMER, 2001) para as análises estatísticas.

Resultados e Discussão

A temperatura média do ar (Tar) durante todo período experimental foi de $28,41^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1,23$). Na primeira safra, 2018/2019, a Tar apresentou valor médio de $27,79^{\circ}\text{C}$, enquanto que na segunda safra, 2019/2020, foi de $28,98^{\circ}\text{C}$, os valores máximos ocorrem no segundo semestre do ano, em destaque aos meses de setembro, outubro e novembro. Já a precipitação pluviométrica efetiva (Pef) total durante o experimento correspondeu a $3.476,89$ mm, sendo $2.020,14$ mm na primeira safra, e $1.873,92$ mm na segunda safra. A chuva no município de Castanhal apresenta má distribuição ao longo do ano, sendo mais concentradas nos meses de dezembro a março (**Figura 3.2A**).

A evapotranspiração de referência (ET₀) totalizou nas duas safras o valor de $1.921,24$ mm, com média de $2,97$ mm d^{-1} , os maiores valores foram durante os meses de setembro a novembro, com média de $3,33$ mm d^{-1} . Em 2018, observou-se que o conteúdo volumétrico de água do solo (US) se diferenciou em função das lâminas de irrigação aplicadas, voltando a apresentar valores semelhantes à medida que as chuvas se intensificam, no final de novembro de 2018, período de encerramento da irrigação. A US voltou a diferenciar em setembro de 2019, período em que a irrigação foi novamente aplicada (**Figura 3.2B**).

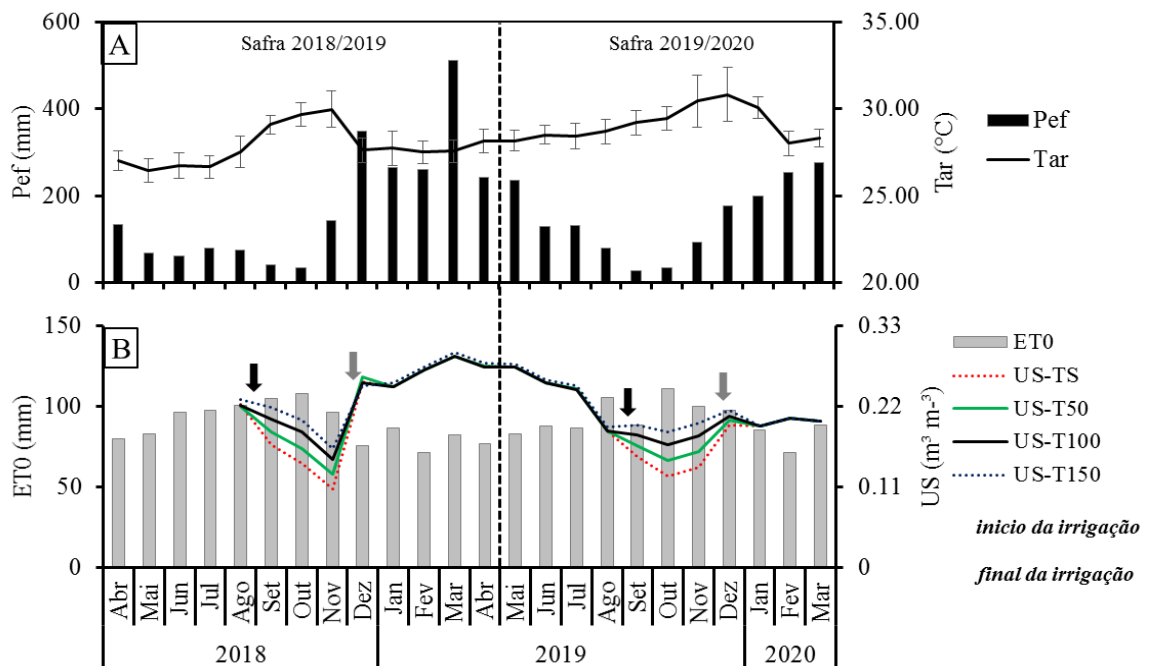


Figura 3. 2. Variáveis ambientais entre o período de abril de 2018 à março de 2020, área experimental com cultivo de cupuaçuzeiro, Castanhal, Pará, Brasil. **A.** Precipitação efetiva (Pef) e temperatura do ar (Tar). **B.** Evapotranspiração de referência (ET0) e umidade volumétrica do solo (US) dos tratamentos TS – sequeiro; T50 – fração de 50% da ET0; T100 – fração de 100% da ET0; T150 – fração de 150% da ET0.

O total irrigado em 2018 foi de 69,14 mm no tratamento T50; de 217,41 mm no T100 e de 365,68 mm no T150. Durante o período de irrigação observou-se Pef de 79,13 mm, o qual foi considerado como a única lâmina de água no tratamento TS. Em média a lâmina de irrigação aplicada durante 2018 foi de 1,72 mm d⁻¹ no T50, 3,45 mm d⁻¹ no T100 e de 5,17 mm d⁻¹ no T150.

Em 2019, durante o período de irrigação (setembro a início de dezembro) ocorreu chuva efetiva de 138,21 mm, e aplicou-se irrigação de 75,26 mm no T50, com média 1,68 mm d⁻¹; enquanto que no T100 foram aplicados 150,52mm, com média diária de 3,36 mm d⁻¹, e 225,78 mm no T150, com média neste tratamento de 5,05 mm d⁻¹.

Os resultados das duas safras demonstraram que o uso da irrigação no período reprodutivo influenciou positivamente no rendimento dos frutos de cupuaçuzeiro e, consequentemente, na eficiência do uso da água (EUA) (**Tabela 3.2**).

Tabela 3. 2. Lâmina de água aplicada, valores médios da produtividade e eficiência do uso da água do cupuaçuzeiro, nas safras de 2018/2019 e 2019/2020, município de Castanhal-PA.

Safras	LA (mm)		P kg ha ⁻¹		EUA kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	
	2018/2019	2019/2020	2018/2019	2019/2020	2018/2019	2019/2020
TS	2.020,14	1.873,92	1.856,75c	2.267,27c	0,91c	1,30d
T50	2.118,90	1.959,60	4.001,68b	5.095,05b	1,89b	2,60b
T100	2.316,42	2.158,71	4.948,82a	6.215,08a	2,23a	3,00a
T150	2.612,70	2.487,47	4.234,15b	4.965,76b	1,83b	2,25c
ANOVA						
	P-valor		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	CV (%)		8,26	7,43	8,08	7,23

Obs: LA – Lâmina de água aplicada, P – produtividade, EUA - eficiência do Uso da Água, CV – Coeficiente de Variação. As médias seguidas de mesmas letras não diferem significativamente entre si ao nível de $p < 0,05$ com base no teste de Tukey.

A lâmina de 100% da ET₀ apresentou melhor desempenho, tanto para produtividade, quanto para a EUA nas duas safras avaliadas, enquanto que o TS apresentou menores valores. A EUA variou, em média, entre 1,105 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (TS) e 2,615 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (T100). Na safra de 2018/2019, houve diferença entre o TS e T100 de 73% para produtividade e de 41% para EUA. Na colheita de 2019/2020, essa diferença foi de 63% e 56% para produtividade e EUA, respectivamente (Tabela 2).

Em contrapartida, os resultados permitiram perceber que a utilização da lâmina de 150% da ET₀ não diferiu estatisticamente do tratamento com regas de 50% da ET₀, e ainda promoveu diminuição da produtividade e da eficiência do uso da água (Tabela 2). Assim, o uso dessa lâmina, que em média, foi de 5,55 mm d⁻¹, ocasionou o desperdício de recursos hídricos e econômicos, e portanto não deveria ser indicada para o manejo de irrigação do cupuaçuzeiro nas condições do experimento.

Quanto às funções de respostas de produtividade e EUA, as mesmas ajustaram-se ao modelo polinomial de segunda ordem, com coeficiente de determinação acima de 90% (**Figura 3.3**). A produtividade máxima estimada pelas equações foi de 4.650,893 kg ha⁻¹ na safra de 2018/2019 e 6.169,284 kg ha⁻¹ na safra de 2019/2020.

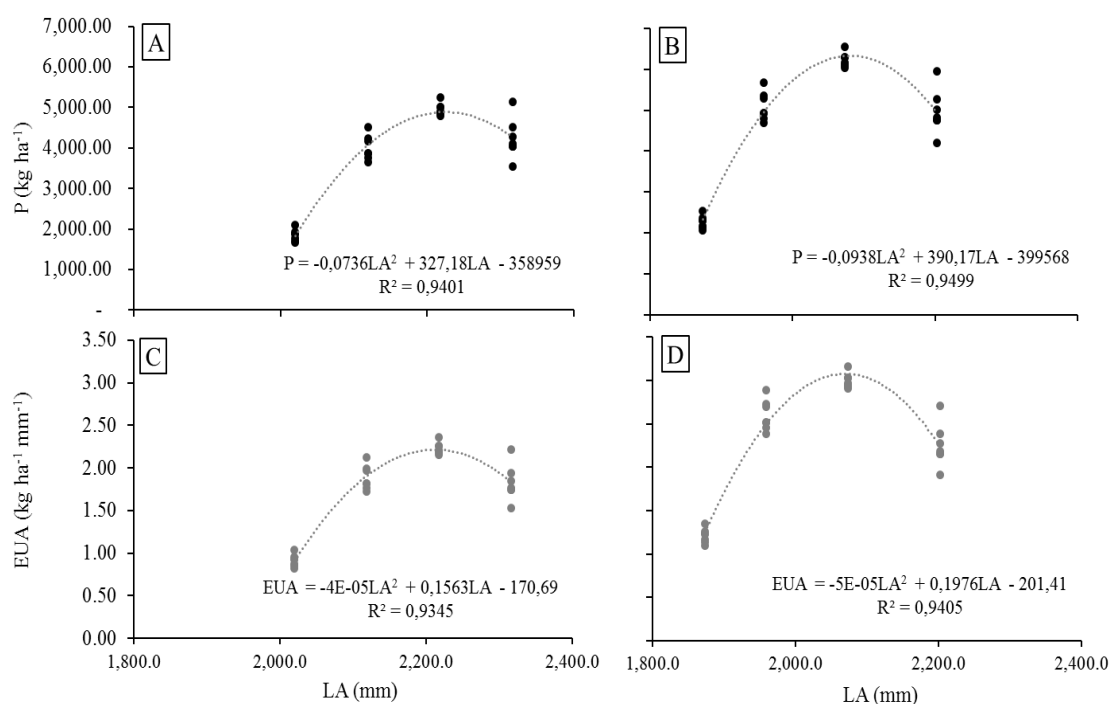


Figura 3. 3. Funções de respostas da produtividade e eficiência do uso da água do cupuaçuzeiro sob diferentes disponibilidades hídricas (Lâmina de água aplicada - LA), município de Castanhal-PA. **A** e **B** - produtividade (P) nas safras de 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente; **C** e **D** - eficiência do uso da água (EUA) nas safras de 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente.

A produtividade observada neste estudo foi inferior a potencial descrita na circular técnica da cultivar BRS-Carimbó, que é estimada no valor de 11 t ha⁻¹, no entanto, esse valor não tem registro de observações em campo. Por outro lado, a produtividade real, que é relatada nas médias municipais do estado do Pará, corresponde à 3,5 t ha⁻¹ (SEDAP, 2019; ALVES, 2012). Esses cultivos, em geral, na região amazônica não possuem irrigação, e são consorciados com outras frutíferas, conforme descrito nas pesquisas de Guimarães e Durigan (2018), e Pinho et al. (2012), uma vez que os agricultores da região culturalmente utilizam o dimensionamento agregando diversidade de outras plantas agrícolas nos seus cultivos, até mesmo de espécies florestais, caracterizando como sistema de agroflorestal (SAF's) (ALVES et al. (2018).

Sendo assim, embora a espécie em questão ainda esteja em processo de domesticação, e apresente uma variação de produção, os valores de produtividade real são subestimados à produtividade potencial (ALVES et al., 2014). Os resultados alcançados nos tratamentos irrigados deste estudo demonstram que a irrigação é fundamental para aumentar a produção de

frutos de cupuaçu, uma vez que os tratamentos irrigados apresentaram produtividade atingível superior à média estadual da produtividade real (Tabela 2 e Figura 3A e 3B).

Verifica-se que há uma grande necessidade de observações em plantas adultas de cupuaçuzeiro, as quais estão em plena produção, pois no que diz respeito às pesquisas com uso de irrigação para esta espécie, as mesmas são direcionadas para plantas em viveiro, ou seja, plantas jovens (mudas), como no estudo de Palheta et al. (2018), que estudaram mudas de cupuaçuzeiro irrigado e avaliaram seu desempenho por meio de variáveis fisiológicas, e Lozano e Fonseca (2016), que avaliaram plantas em fase de viveiro de *Theobroma cacao* (mesmo gênero do cupuaçuzeiro) em diferentes disponibilidades hídrica nas condições meteorológicas da Bahia.

Quanto ao melhor desempenho de produtividade e EUA encontrado para o tratamento T100, alguns estudos afirmam que durante o período de floração, nos pomares de frutífera, deve-se cessar a irrigação com objetivo de estimular a emissão floral (SANTOS et al., 2019). Essa é uma informação bastante difundida na agricultura paraense, sendo até uma justificativa para os cultivos em sequeiro.

Entretanto, apesar da fundamentação científica do estresse na fase de floração, essa deficiência hídrica não deve ser contínua, uma vez que posterior a emissão de flores o vegetal necessita de condições ambientais favoráveis a manter essas estruturas reprodutivas até a colheita (frutos), logo, as plantas necessitam de hidratação para desempenharem de forma eficiente seus processos metabólicos e fisiológicos, tais como fotossíntese e transpiração (YADAV et al., 2020), conforme o que foi observado neste estudo, já que tratamentos irrigados, sobretudo o T100, que atendeu a 100% da demanda atmosférica, proporcionaram maior produtividade e EUA.

Os resultados do presente estudo são relevantes, pioneiros e inovadores para o uso de irrigação para os cultivos de cupuaçuzeiro no leste da Amazônia, e sobretudo para agricultura que utiliza o sistema de cultivo em consórcio. Destaca-se que outras informações necessitam de pesquisa, principalmente a avaliação econômica das lâminas de irrigação utilizada neste estudo, em especial às lâminas aplicadas nos tratamentos 50 e 100, bem como a determinação dos coeficientes de cultivo para espécie e avaliação da polpa dos frutos em função de distintas lâminas de irrigação.

Conclusão

A irrigação promove aumento de produtividade e de eficiência do uso da água em plantas adultas de cupuaçuzeiro nas condições climáticas de Castanhal-PA, Amazônia brasileira. A lâmina de irrigação com base em 100% da ET₀ aumenta em 68% a produtividade de frutos de cupuaçuzeiro de sete a nove anos de idade quando comparado com cultivos sem irrigação. A eficiência do uso da água é maior em plantas irrigadas na lâmina de 100% da ET₀, em média, chega ao valor de 2,615 kg ha⁻¹ mm⁻¹, enquanto que em condições sem irrigação é de 1,105 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Portanto, indica-se a lâmina 100% da ET₀ para irrigação em pomares de cupuaçuzeiro.

Referências

- ALI, M. K.; KLEIN, K. K. Water Use Efficiency and Productivity of the Irrigation Districts in Southern Alberta. **Water Resources Management**, [s. l.], v. 28, n. 10, p. 2751–2766, 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11269-014-0634-y>>
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **FAO**, Roma, v. FAO, p. 300, 1998.
- ALMEIDA, M. J. . et al. Reposição deficitária de água e adubação com organomineral no crescimento e produção de tomateiro industrial. **Irriga**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 69–85, 2019.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. Disponível em: <http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref>
- ALVES, R. M. et al. Canopy replacement used in the evaluation of cupuassu tree genotypes in the state of Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 42, n. 4, 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452020000401003&tlng=en>
- ALVES, R. M. . et al. Spondias mombin and Theobroma grandiflorum in agroforestry system: productivity implications. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 40, n. 6, 2018.
- ALVES, R. M. .; FILGUEIRAS, G. C. .; HOMMA, A. K. O. Aspectos socioeconômicos do cupuaçuzeiro na Amazônia: do extrativismo a domesticação. In: **Mercado, cadeias produtivas e desenvolvimento rural na Amazônia**. 1. ed. Belém, PA. p. 197–223.
- BELAY, S. A. et al. Conservation Agriculture Saves Irrigation Water in the Dry Monsoon Phase in the Ethiopian Highlands. **Water**, [s. l.], v. 11, n. 10, p. 2103, 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4441/11/10/2103>>
- CUNHA, R. L. M. Da et al. ECOFISIOLOGIA DE PROGENIE DE CUPUAÇUZEIRO SUBMETIDA A DÉFICIT HÍDRICO E REIDRATAÇÃO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 2500–2509, 2018. Disponível em: <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/766/pdf_460>
- DAVIDSON, E. A. et al. The Amazon basin in transition. **Nature**, [s. l.], v. 481, n. 7381, p. 321–328, 2012. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/nature10717>>

DIAS, J. D. M. et al. DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS E DA ACEITAÇÃO SENSORIAL DE DOCE EM MASSA DE CUPUAÇU. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, [s. l.], v. 36, n. 1, 2019. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/45137>>

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Revista e Ampliada, 2018.

GUIMARÃES, P. V. P. ; DURIGAN, M. F. B. CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE FRUTOS DE CUPUAÇUZEIROS EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO ESTADO DE RORAIMA, BRASIL. **Revista Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, [s. l.], v. 11, n. 1, 2018.

HAMMER, H. **PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis**, Palaeontologia Electronica, 2001.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, [s. l.], v. 92, n. 2–3, p. 185–202, 2005. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429005000304>>

LOZANO, J. G.; FONSECA, L. P. M. Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. **Acta Agronómica**, [s. l.], v. 65, n. 1, 2015. Disponível em: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/48161>

NUNES CLÍMACO, G. et al. Mixed Nectar of Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) and Green Tea and the Effect of Preservatives and Storage on Nutritional and Sensorial Characteristics. **Journal of Food and Nutrition Research**, [s. l.], v. 7, n. 5, p. 361–369, 2019. Disponível em: <<http://pubs.sciepub.com/jfnr/7/5/5/index.html>>

OLIVEIRA, E. C. A. De et al. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 45, n. 6, p. 617–625, 2011.

PALHETA, J. G. et al. Physiological Study of Cupuaçu [*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex. Spreng.) Schum.] Tree Progenies Subjected to Water Deficiency. **Journal of Experimental Agriculture International**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 1–10, 2018. Disponível em: <<http://www.sciencedomain.org/abstract/27235>>

PEREIRA, A. L. F. ; ABREU, VIRGÍNIA K.G.; RODRIGUES, S. Cupuassu - *Theobroma grandiflorum*. **Exotic Fruits**, [s. l.], p. 159- 162., 2018.

PINHO, R. C.; MILLER, R. P.; ALFAIA, S. S. Agroforestry and the Improvement of Soil Fertility: A View from Amazonia. **Applied and Environmental Soil Science**, [s. l.], v. 2012, p. 1–11, 2012. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/aess/2012/616383/>>

PUGLIESE, A. G. et al. Flavonoids, Proanthocyanidins, Vitamin C, and Antioxidant Activity of *Theobroma grandiflorum* (Cupuassu) Pulp and Seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 61, n. 11, p. 2720–2728, 2013. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf304349u>>

RADIN, B.; SCHÖNHOFEN, A.; TAZZO, I. F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. **Agrometeoros**, [s. l.], v. 25, n. 1, 2018. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/26263>>

SANTOS, I. C. Dos et al. Physiological, biochemical and molecular responses to drought conditions in

field-grown grafted and ungrafted citrus plants. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 162, p. 406–420, 2019. Disponível em:
<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098847218319488>>

SEDAP. **Cupuaçu**. 2019. Disponível em: <<http://www.sedap.pa.gov.br/content/cupuaçu>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

SOUZA, A. . et al. Boas práticas na colheita e pós-colheita do cupuaçu. **Embrapa Amazônia Ocidental-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, [s. l.], 2011.

SOUZA, A. G. C. . et al. **Boas práticas agrícolas da cultura do cupuaçuzeiro**. Manaus, AM.: Embrapa Amazônia Ocidental., 2007. Disponível em:
<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/679234>>

SOUZA, P. J. O. P. et al. Yield and water use efficiency of cowpea under water deficit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 119–125, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662019000200119&tlng=en>

TEIXEIRA, E. de O. et al. RENDIMENTO DE POLPA DE CUPUAÇU EM DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE CASTANHAL-PA. In: **As Vicissitudes da Pesquisa e da Teoria nas Ciências Agrárias 2**. [s.l.] : Atena Editora, 2020. p. 24–33.

TESTEZLAF, R. Irrigação: métodos, sistemas e aplicações. **Campinas: FEAGRI**, [s. l.], p. 215, 2017.

YADAV, A. et al. Transcriptome analysis of flowering genes in mango (*Mangifera indica* L.) in relation to floral malformation. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 193–212, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13562-019-00541-z>>

CAPÍTULO 4 - VIABILIDADE ECONÔMICA DE AÇAIZEIRO IRRIGADO EM MONOCULTIVO E CONSÓRCIO, LESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

RESUMO

Os frutos de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) tem grande relevância socioeconômica para as populações da Amazônia, aliado ao uso de sistemas de consórcio com outras frutíferas nativas, torna-se fundamental para o desenvolvimento da agricultura sustentável na região. Apesar dessa importância, persistem lacunas de informações técnicas e científicas que viabilizem investimentos em sistemas de produção com essa espécie em ecossistemas de terra firme e com uso de irrigação. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade econômica do açaizeiro, em monocultivo e consórcio, sob diferentes disponibilidades hídricas, no leste da Amazônia brasileira. O experimento foi realizado durante os anos de 2018 e 2019 em um plantio comercial de açaizeiro de área de 0.6ha, dividida em sistema de monocultivo e consorciado com cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*). Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, distribuídos em 4 tratamentos com 8 repetições, referentes ao manejo de irrigação diariamente por microaspersão em função da evapotranspiração de referência, os tratamentos foram as frações 0% (TS – sequeiro), 50% (T50), 100% (T100) e 150% (T150). A irrigação ocorreu no segundo semestre do ano, a produtividade dos frutos foi monitorada em 8 repetições de plantas de açaizeiro e 10 repetições em plantas de cupuaçuzeiro. Foram gerados o VPL, a TIR, relação B/C e o PN. Os resultados demonstraram que todos os tratamentos, em ambos os sistemas de cultivos, são viáveis economicamente, no entanto, os tratamentos irrigados apresentaram melhores desempenhos, com destaque ao tratamento com reposição de 100% da evapotranspiração de referência no consórcio, que teve VPL de US\$9,952.80, TIR de 44.35% e relação B/C de 1.95. Em contrapartida o tratamento com menores indicadores foi o sequeiro, em destaque ao sistema de monocultivo, que apresentou VPL de US\$1,696.24, TIR de 21.35% e relação B/C de 1.19. Portanto, o açaizeiro cultivado em consorcio com cupuaçuzeiro, manejado com irrigação a 100% da evapotranspiração de referência promove maior lucratividade ao agricultores.

Palavras-chave: *Euterpe oleracea*; *Theobroma grandiflorum*; rentabilidade; gestão hídrica; indicadores financeiros; microclima.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate economic feasibility of irrigation use in the açaizeiro crop in two cultivation systems in the municipality of Castanhal-PA. Evaluations were carried out during 2018 and 2019 evaluations in a commercial plantation of cv. BRS-Para (açai) and BRS-Carimbó (cupuaçu), the total study area was 0.6 ha, the same being divided into monoculture consortium. The irrigation was carried out by microaspersion, and the management of the regas was estimated by reference evapotranspiration (ET₀), the treatments were 0%ET₀, corresponding to dryse cultivation (TS), 50%ET₀ - T50, 100%ET₀- T100 and 150%ET₀-T150. In the economic evaluation, 12 years of life of crops was considered, considering the implementation of irrigation from the 7th year. Economic profitability was assessed through effective and total operating costs (COE and COT), cash flow was updated with a rate of 12%p.a. The net present value (NPV), the internal rate of return (IRR), the cost benefit ratio (RB/C) and leveling point (PN) was evaluated. The main results found that the cost of the irrigation depth ranged from R\$1.22 mm⁻¹ (T150-monoculture) to R\$ 3.22 mm⁻¹ (T50-consortium). The TOC was R\$ 2.27 kg⁻¹, in the initial years of productivity, while the lowest was verified of R\$ 1.00 kg⁻¹ in the T150. In the consortium, the COT was R\$ 4.64 kg⁻¹ in ts during the 7th year of production and lower R\$ 0.98 in T150 in the 8th year. VPL was positive

in all treatments evaluated, IRR compensated for investments, ranging from 26.07% (TS) to 57.23% (T100). RB/C was higher than 1.00, highlighting the consortium system with higher values. All treatments have economic viability, however, dry cultivation presents higher risk and lower productivity. Therefore, the use of irrigation is an economically viable technology, especially the management of 150% of atmospheric demand.

Keyword: *Euterpe oleracea*; *Theobroma grandiflorum*; yield; water management; financial indicators; microclimate.

Introdução

O açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma espécie vegetal nativa dos estuários de várzea da Amazônia brasileira, considerada a Arecacea mais importante do seu gênero botânico. O fruto, utilizado na produção do tradicional do suco de açaí, constitui o produto principal, mas ao final da vida útil das plantas, extrai-se o palmito que possui boa aceitação no mercado consumidor (Homma et al., 2014; Peris et al., 2018). A polpa extraída dos frutos de açaí destaca-se pelas propriedades nutricionais, possui cerca de 13% de proteína, 48% de lipídios, 1,5% de açúcar total e vários outros nutrientes, ligninas, fibras alimentares e polifenóis, principalmente as antocianinas (Cedrim et al., 2018).

Essas características conferem relevância no mercado alimentício, pois o suco de açaí é consumido diariamente pela população amazônica, além de ser matéria prima para a indústria de sorvetes, geleias, cervejas e licores, com uso também em sistemas de produção agrícola na recomposição de áreas degradadas, no paisagismo e na confecção de biojóias (Mourão, 2010; Tavares et al., 2020). As propriedades nutraceuticas da polpa do fruto são objeto de pesquisa no mercado farmacêutico, pela presença de substâncias ativas que atuam no combate de doenças neurais e vasculares (Silveira et al., 2019; Souza-Monteiro et al., 2019).

O estado do Pará, Amazônia brasileira, é o maior produtor mundial de açaí, o qual é obtido em áreas de extrativismo vegetal e também de sistemas de cultivo que tem evoluído substancialmente ao longo dessa segunda década do século XXI. Em 2019, produziu cerca de 1,3 bilhões de toneladas de frutos frescos, com área plantada de 188 mil ha, e rendimento médio de 7 t ha⁻¹. Cerca de 60% da produção é destinada para o mercado interno, 30% é exportado para outras regiões do Brasil, e 10% exportados para o mercado internacional, em especial para Estados Unidos e Japão (Moraes et al., 2020; Tavares et al., 2020).

A produção de frutos em áreas de cultivo se intensificou a partir do lançamento da primeira cultivar, BRS-PA (2004), que permitiu o manejo de açazeiro em solos de terra firme. Essa cultivar difere do açazeiro nativo das várzeas, pois seu porte menor facilitou o processo

de colheita. Atualmente, os agricultores têm à sua disposição mais uma cultivar adaptada às condições de terra firme, BRS-Pai d'égua (Embrapa, 2019, 2008). A adoção dessas cultivares em cultivos manejados também permitiu o uso de sistemas consorciados com outras frutíferas de importância econômica como cacau (*Theobroma cacao*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), mamão (*Carica papaya*), dentre outras (Tremblay et al., 2015).

O sistema de cultivo consorciado é uma prática amplamente utilizada pelos agricultores familiares na Amazônia, o que permite diversificação de fontes de renda ao longo do ano. No nordeste do estado do Pará, comumente, se consorcia açaizeiro com cupuaçuzeiro, outra espécie nativa da Amazônia brasileira, cujo fruto gera dois produtos comercializáveis (polpa e amêndoas das sementes). A polpa é utilizada como matéria prima de vários derivados alimentícios, como sucos e compotas, e também tem importância no mercado de cosméticos, das amêndoas deriva o cupulate ou chocolate de cupuaçu. Para esta espécie, a cultivar BRS-Carimbó é vastamente utilizada por apresentar resistência a doenças fitossanitárias e apresentar ganhos produtivos (Alves et al., 2018).

Além da importância econômica para os agricultores e toda a população amazônica, o sistema de consórcio é relevante por viabilizar a estruturação de agroecossistemas com maior nível de diversificação produtiva e, diferente de monocultivos, o consórcio permite que o ciclo de água e nutrientes no ambiente seja mais eficiente, além de atrair diversidade de polinizadores, gerando um ambiente mais equilibrado e biodiverso (Campbell et al., 2018).

Apesar da relevância dessas espécies agrícolas para a região, ainda persistem muitas lacunas de informações técnicas necessárias para estimular a implantação desses sistemas de cultivo e oferecer indicadores, respaldados em pesquisa científica, que orientem as decisões de empreendedores interessados em realizar investimentos. Uma dessas lacunas de conhecimento está associada ao uso adequado da água em sistemas de irrigação e sua viabilidade econômica (Alves et al., 2018; Homma et al., 2014).

Essa demanda de pesquisa científica ocorre porque o açaizeiro melhorado geneticamente para áreas de terra firme, em monocultivo ou consórcio, tem sido cultivado em áreas com tipo climático Am e Aw, os quais possuem elevados valores anuais de precipitação pluviométrica, porém mal distribuídos, concentrando maiores volumes em alguns meses do início do ano, restando para o segundo semestre chuvas mensais inferiores a 60 mm, o qual impõe aos agricultores a necessidade do uso de sistemas de irrigação. No entanto, o manejo da irrigação nessa região ocorre de forma incipiente e sem embasamento sobre a dinâmica da água no solo e nem de indicadores de evapotranspiração da cultura e de referência, o que implica em

desperdício de recursos hídricos e perdas econômicas (Alvares et al., 2014; Homma et al., 2014).

Diante dessa problemática em relação à irrigação, e à importância socioeconômica dessas espécies para a agricultura regional emergem as seguintes questões: O uso da irrigação é economicamente viável para o cultivo de açaizeiros em sistemas de monocultivo ou consorciados com cupuaçuzeiros? Havendo viabilidade econômica do uso de irrigação, qual seria a lâmina de irrigação deficitária com potencial de utilização em sistemas de cultivo comerciais?

As respostas a estas perguntas disponibilizam informações estratégicas para aferir o retorno econômico gerado em sistemas de produção de açaizeiros irrigados em monocultivo ou consorciados com cupuaçu. Além de contribuírem para o avanço do conhecimento científico sobre esses sistemas produtivos no contexto amazônico, oferecem elementos fundamentais aos empreendedores interessados em investir em projetos de agricultura sustentável (Abu-Nowar, 2020; Gittinger, 1985).

O objetivo deste estudo foi analisar a viabilidade econômica do cultivo de açaizeiro, em monocultivo e em consórcio com cupuaçuzeiro, sob diferentes lâminas de irrigação em um plantio comercial no município de Castanhal, estado do Pará, Amazônia Brasileira.

Material e Métodos

Área experimental

As avaliações experimentais foram realizadas em um plantio comercial de área total de 0,6 ha, dividida com cultivos de açaizeiro em monocultivo e consorciado com cupuaçuzeiro (1°19'24.48"S e 47°57'38.20"W), localizado no município de Castanhal-PA (**Figura 1**). O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo distrófico, textura franco arenosa (Embrapa, 2018). Segundo classificação de Köppen, o clima do município é Am, com temperatura do ar média de 26°C e ocorrências de precipitações acima de 2.000 mm (Alvares et al., 2014).

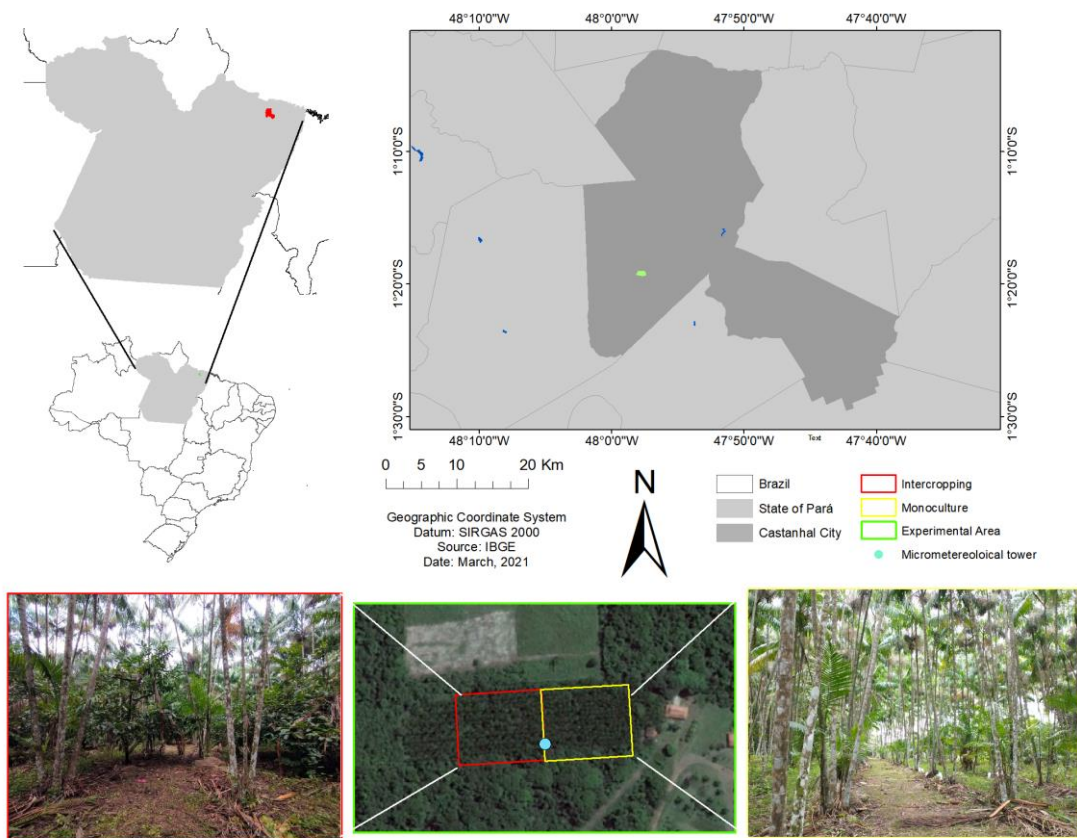


Figura 4. 1. Localização da área experimental, plantio comercial de açazeiro em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.

O plantio foi instalado no ano de 2012, o solo foi preparado com uma roçagem, duas gradagens e uma calagem dolomítica. As covas de plantio foram de dimensões de 0,4 m x 0,4 m x 0,4 m, foram adicionadas adubação fosfatada e nitrogenada. O material genético avaliado foram as cultivares BRS-Pará (açazeiro) e BRS-Carimbó (cupuaçuzeiro), com espaçamento de plantio 4 m x 4 m na área do monocultivo, e no consórcio, o cupuaçuzeiro foi espaçado de 8 m x 8 m com fileiras intercaladas em sistema de consórcio com plantas de açazeiro dispostas com espaçamento de 4 m x 8 m.

Até seis anos de idade, o cultivo foi manejado em sequeiro, ou seja, sem uso de irrigação. As avaliações experimentais ocorreram durante os anos de 2018 e 2019 o que corresponde à sete e oito anos de idade de plantio, respectivamente, para ambos os sistemas de cultivo. No início do experimento foi amostrado solo nas profundidades de 00-20 e 20-40 para caracterização química e físico-hídrica (**Tabela 4.1**), as análises foram realizadas no Laboratório de solos da Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra).

Tabela 4. 1. Características química e físico-hídrico do solo da área experimental, plantio comercial de açaizeiro em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.

Chemical attributes							
	pH	Organic matter	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺
	(H ₂ O)	%	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----			
Monoculture							
00-20 cm	5.925	1.143	11.371	0.545	0.850	0.500	0.400
20-40 cm	5.690	0.905	0.953	0.380	0.350	0.100	1.100
Intercropping							
00-20 cm	5.320	0.714	0.925	0.250	0.295	0.097	0.263
20-40 cm	4.940	0.666	6.849	0.505	0.098	0.097	0.789
Physical-hydric attributes							
	Sand	Silt	Clay	Soil density	Field capacity	Permanent wilting point	Root density
	-----%-----			g cm ⁻³	-----m ³ m ⁻³ -----		g dm ⁻³
Monoculture							
00-20 cm	86,546	9,37	4,081	1,545	0,238	0,066	55.550
20-40 cm	74,010	11,126	14,864	1,625	0,318	0,076	21.400
Intercropping							
00-20 cm	85,564	9,545	4,891	1,417	0,213	0,061	58.360
20-40 cm	89,105	3,079	7,815	1,893	0,570	0,234	34.370

Durante o período de avaliação as plantas daninhas foram controladas por roçagem física, e o cultivo foi adubado por composição química 13%N-11%P-21%K + 2%Mg, 0.2%B e orgânica (cama de aviário), com quantidade de 2.0 kg por touceira de açaizeiro e árvore de cupuaçuzeiro, parceladas em três vezes ao longo do ano.

Na área experimental foi instrumentada uma torre micrometeorológica de 17 m de altura, com sensores a dois metros acima da copa das plantas, para monitoramento da precipitação pluviométrica (TB4, Hydrological Services, Sydney, NSW, AUS), temperatura e umidade relativa do ar (HMP45C, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA), com realização de leituras a cada 10 segundos e armazenamento de médias a cada 20 minutos com uso de um Datalogger (CR1000, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA).

Os valores de chuva efetiva foram observados diariamente durante 2018 e 2019, através de monitoramento da precipitação interna e do escoamento do caule. Para determinação da precipitação interna, foram instalados calhas de PVC de área 0.250 m².

E para quantificação dos valores de escoamento do caule foram selecionados nove estipes de açaizeiro e seis árvores de cupuaçuzeiro, que foram envolvidas por um segmento de mangueiras plásticas de ¾ de polegadas, cortadas no sentido longitudinal, constituindo-se em recipiente coletoras do montante escoado. De posse do volume de precipitação armazenado,

determinou-se a lâmina média escoada pelo tronco através da relação entre o volume total escoado e o somatório das áreas de captação. Para determinar a área de captação, estimou-se a projeção vertical da copa de cada árvore ao solo, traçando-se pelo menos quatro linhas passando pelo tronco (eixo) até as extremidades da projeção, perpendiculares entre si.

Tratamento

Os tratamentos ocorreram em 2018 e 2019, foram estabelecidas 4 proporções em função das lâminas de irrigação: 0%, sequeiro (TS), 50%; 100% e 150% da evapotranspiração de referência (ET₀), cada tratamento tinha área de 0.0752 ha, o experimento foi desenvolvido seguindo um delineamento inteiramente casualizado. Para o açaizeiro, foram avaliadas 8 repetições, já para o cupuaçuzeiro, foram avaliados 10 repetições (árvores).

O manejo da irrigação foi realizado pela estimativa diária da ET₀ pelo método de Penman-Monteith (FAO 56) (Allen et al., 1998), sendo aplicada a lâmina do dia anterior, e os dados utilizados nestas estimativas foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), distante 2.6 km da área experimental. Devido a inexistência de estudos sobre o consumo hídrico do açaizeiro como também para sistemas consorciados com cupuaçuzeiro, o estudo considerou como variável de controle da saída de água apenas a demanda atmosférica em função do clima (evapotranspiração de referência). O primeiro estudo com metodologia adequada para medição da evapotranspiração real do açaizeiro de terra firme irrigado foi desenvolvido por Sousa et al., (2021), posterior à realização do experimento. Foi adotado sistema de irrigação por microaspersão sendo um emissor por touceira de açaizeiro e árvore de cupuaçuzeiro.

O sistema de irrigação teve eficiência de 86% e 94% em 2018 e 2019, respectivamente. As regas foram realizadas durante o segundo semestre, entre os meses de setembro a novembro em 2018, e de setembro a dezembro em 2019. Foram considerados os eventos de chuva efetiva (*P_{ef}*), coletadas nos dois sistemas de cultivo.

A produtividade foi monitorada através de pesagem dos frutos com auxílio de uma balança digital com capacidade de 40.00 kg, sensibilidade de 4.00 g e precisão de 5.00 dígitos. A eficiência do uso da água (WUE) foi determinada pela metodologia de Inman-Bamber and Smith (2005). Utilizou-se o teste t de Student a 5% para os parâmetros de produtividade e WUE.

Análise econômica

Para análise econômica considerou-se um horizonte de planejamento de 12 anos de cultivo e as estimativas de custos, receitas e fluxo de caixa de cada tratamento consideraram 1 ha de cultivo. As produtividades monitoradas em 2018 e 2019 foram inseridas nas avaliações

do 7º e 8º ano. As informações dos anos anteriores foram fornecidas pelo empreendedor do cultivo comercial, que possui registro de produtividade e de insumos utilizados no cultivo. A partir do 9º ano utilizou-se a média dos dois anos experimentais para custos, produtividade e receitas. A adoção desse procedimento se justifica pelo fato de que essas culturas atingem relativa estabilidade produtiva nas idades em que foram avaliadas. Os valores monetários em real foram convertidos para dólar, sendo considerado a taxa de câmbio de US\$4.0301, referente a dezembro de 2019.

Os itens que compõe os custos de produção foram agrupados da seguinte forma:

- A- Irrigação: projeto de irrigação e energia elétrica;
- B- Implantação: mudas, limpeza do solo, calagem, abertura de covas e plantio;
- C- Manejo nutricional: adubos, calcário e os serviços operacionais de aplicação dos insumos;
- D- Tratos culturais: manejo de plantas daninhas, controle de perfilhos do açaizeiro e, para o sistema de cultivo de consórcio, as podas fitossanitárias nas árvores de cupuaçuzeiro;
- E- Colheita: sacarias, fios, recipientes plásticos e mão-de-obra;
- F - Outros custos: correspondendo a 1,5% do serviço técnico e 4,0% de taxas e impostos (CONAB, 2010).

O custo da lâmina de irrigação foi estimado pelo somatório do custo do projeto de irrigação mais o consumo de energia elétrica para aplicação da lâmina. No projeto, foi considerado o valor de uma motobomba submersa de 3 cv mais as tubulações hidráulicas necessárias para o funcionamento da sucção de irrigação, com depreciação de 20 anos, manutenção do sistema a uma taxa de 1% (CONAB, 2010), e uso do sistema por 4 meses ao ano, correspondendo ao uso da irrigação em consonância às condições climáticas.

O custo da energia elétrica foi estimado pela metodologia de Santos et al. (2001) (Eq. 1), o qual considera o tempo em que o sistema de irrigação ficou em funcionamento, para cada tratamento, e o preço da tarifa adotado foi o aplicado em imóveis rurais (US\$ 0.104/ kWh).

$$CE = V(kWh) * T * \frac{736 * Pot}{1000 * \eta} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

CE: custo de energia (US\$);

V (kWh): valor do kWh (US\$);

T: tempo total de funcionamento do sistema de irrigação (h), variável para cada tratamento;

Pot: potência do conjunto motobomba (cv);

η : rendimento do conjunto motobomba (decimal).

O levantamento dos custos de produção foi realizado conforme estrutura utilizada pelo Instituto de Economia Agrícola (Matsunaga et al., 1976). Neste método, obtém-se o Custo Operacional Total (COT), que é dado pela soma do Custo Operacional Efetivo (COE) mais o item “Outros custos” (referente ao grupo F (4.5%) sobre o valor do COE).

O fluxo de caixa anual (CF) foi obtido a partir da diferença entre receitas e custos totais (COT) para cada tratamento, descontados a uma taxa de juros de 12% ao ano. As receitas foram estimadas a partir da multiplicação da produtividade pelo preço médio anual, considerado o valor de US\$ 0.84 kg⁻¹ de frutos de açaí, e US\$ 1.117 por unidade de fruto do cupuaçu. Estes preços corresponderam aos valores de mercado praticados no município de Castanhal-PA.

Para avaliação da viabilidade econômica foram estimados a partir do fluxo de caixa, com horizonte de planejamento de 12 anos, o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), relação benefício-custo (B/C) e o ponto de nivelamento (PN). O VPL (**Eq. 2**) de um projeto de investimento é obtido a partir da soma dos valores descontados do fluxo de caixa do empreendimento. A regra de decisão quanto à viabilidade econômica do projeto consiste em aceitá-lo se o VPL > 0. Esse resultado indica que a soma dos fluxos de caixa descontados supera o valor do investimento no ano inicial. Na comparação entre os múltiplos tratamentos avaliados nesse artigo, o melhor será aquele com maior VPL.

$$NPV = -I + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + K)^t} \quad (Eq. 2)$$

Em que:

NPV- valor presente líquido;

CF- fluxo de caixa no t-ésimo período;

I- investimento inicial;

K- taxa de desconto ou custo do capital;

n = horizonte de planejamento ou vida útil.

A taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de desconto que faz com que o valor atribuído a receitas futuras iguale o custo do investimento, isto é, a taxa que anula o valor atual do projeto. A TIR é um indicador importante para a tomada de decisão, pois permite inferir se a rentabilidade de um investimento é inferior, igual ou superior ao custo do capital que será utilizado para financiar o empreendimento. Na comparação entre os múltiplos tratamentos avaliados nesse artigo, o melhor será aquele que exibir maior TIR (**Eq. 3**).

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_j}{(1 + IRR)^t} = 0 \quad Eq. 3$$

Em que:

IRR: Taxa interna de retorno;

CF_j: Fluxo de caixa líquido no momento i;

n: horizonte de planejamento ou vida útil.

A relação B/C consiste em determinar a relação entre o valor descontado das receitas e o valor descontado dos custos totais (COT), ou seja, é quanto se espera obter de retorno econômico para cada unidade de capital investido, se a relação B/C for maior que 1 o projeto é considerado viável, resultados iguais a 1 são considerados de risco elevado e não são recomendáveis, se a relação B/C for menor que 1 o projeto não é viável e, portanto, não recomendável.

Também foi determinado o ponto de nivelamento para cada tratamento, com o objetivo de estimar os níveis mínimos de produtividade de cada sistema que permitem cobrir os custos totais (COT) de produção. Para este cálculo considerou-se a divisão do custo total pelo preço médio dos produtos.

Resultados

Na região de implantação do experimento, em 2018, as condições meteorológicas observadas indicaram temperatura média do ar de 27.67 °C, umidade relativa do ar de 87.86 %, e evapotranspiração de referência total de 1,092.46 mm. O total de chuva efetiva registrada na área do monocultivo foi de 1,070.43 mm e de 1,529.59 mm na área do consórcio. No ano de 2019, tanto a temperatura média como a umidade relativa do ar foram superiores ao ano anterior (28.73°C e 88.07, respectivamente), e a evapotranspiração de referência foi 14.03 mm menor (**Tabela 2**).

A chuva efetiva medida em 2019 foi superior que em 2018 tanto no monocultivo (445.46 mm a mais) como no consorcio (652.36 mm a mais). Em ambos os casos, a chuva se concentrou, principalmente, entre os meses de dezembro à maio, com destaque para o mês de março, considerado o mês mais chuvoso. Por outro lado, os meses de menores índices pluviométricos foram setembro, outubro e novembro, que correspondeu ao período em que se utilizou o sistema de irrigação nos dois anos avaliados em cada tratamento e sistema de cultivo. No tratamento sequeiro, a entrada de água correspondeu a chuva efetiva do período, e nos demais tratamentos foram consideradas a soma da chuva efetiva à lâmina de irrigação (**Tabela 2**).

Tabela 4. 2. Condições meteorológicas e irrigação nos anos experimentais, 2018 e 2019, plantio comercial de açaizeiro em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.

	2018	2019
Temperatura do ar (°C)	27.67 ±1.46	28.73 ±1.36
Umidade relativa do ar (%)	87.86 ±5.49	88,07 ±5.97
Evapotranspiração de referência (mm)	1,092.46	1,078.43
Chuva efetiva (mm)	1,070.43	1,515.89
Monocultivo		
Chuva efetiva (mm)	1,529.59	2,181.95
Consórcio		
Lâmina de água (mm)		
Monocultivo		
TS (<i>P_{ef}</i>)	67.58	106,29
T50	80.69	85,68
T100	228.96	199,11
T150	377.23	329,09
Consórcio		
TS (<i>P_{ef}</i>)	79.13	138.21
T50	69.14	75.26
T100	217.41	150.52
T150	365.68	225.78

WUE – eficiência do uso da água, valores seguidos de mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Student ($p < 0.05$).

A lâmina de irrigação utilizada diariamente durante os meses do segundo semestre dos anos experimentais correspondeu, em média à 1,70 mm no tratamento 50%, à 3,41 mm no tratamento 100%, e à 5,11 mm no tratamento 150%.

Entre os diferentes grupos que compõem o custo operacional efetivo, a despesa com insumos foi o que apresentou maior participação percentual, para ambos os sistemas de cultivo, seguido pelas operações de implantação. Já o menor custo, nos tratamentos irrigados, correspondeu ao grupo das despesas referentes ao manejo de irrigação. No sistema de monocultivo, os custos com insumos foi em média de 34.93%, os custos de implantação correspondeu a 32.53%, os de colheita à 16.14%, os de tratos culturais à 14.26% e os de irrigação à 2.85% (**Tabela 4.3**).

Tabela 4. 3. Descrição dos custos operacionais efetivos (COE) agrupados em irrigação, implantação, insumos, tratos culturais, colheita e outros custos de taxas, 1 ha, de plantio de açaizeiro em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.

Descrição	Monocultivo				Consórcio			
	TS	T50	T100	T150	TS	T50	T100	T150
A- Irrigação								
Projeto (US\$3,101.19)	-	41.76	41.76	41.76	-	41.76	41.76	41.76
Energia (US\$0.104 kWh ⁻¹)	-	15.51	85.78	72.52	-	13.29	41.79	70.30
Lâmina de água (US\$ mm ⁻¹)	-	0.71	0.37	0.30	-	0.80	0.38	0.31
Subtotal	-	57.27	85.78	114.28	-	55.05	83.56	112.06

2019 Ano 8	Energia (US\$0.104 kWh ⁻¹)	-	16.47	80.04	63.26	-	14.47	28.93	43.40
	Lâmina de água (US\$ mm ⁻¹)	-	0.68	0.40	0.32	-	0.75	0.47	0.38
	Subtotal	-	58.23	80.04	105.02	-	56.23	70.70	85.16
	²B- Implantação	928.60	928.60	928.60	928.60	1,220.50	1,220.50	1,220.50	1,220.50
³C- Insumos	997.17	997.17	997.17	997.17	1,258.90	1,258.90	1,258.90	1,258.90	
³D- Tratos culturais	406.94	406.94	406.94	406.94	426.79	426.79	426.79	426.79	
³E- Colheita	360.47	474.10	492.35	525.34	627.23	787.13	853.66	970.89	
³F- Outros custos:	1,5% Assistência Técnica; 3% Impostos e Taxas.								

¹Anos de observações experimentais; ² referente ao ano 0; ³ média entre os anos de plantio.

O cultivo em consórcio possui composição de custos diferente do monocultivo, devido ao manejo do cupuaçuzeiro juntamente com açaizeiro. Em função disso se observa uma participação maior de itens como insumo (35.13%), implantação (34.06%) e colheita (17.33%), comparativamente ao monocultivo.

Quanto ao custo da lâmina de irrigação, em ambos os sistemas de cultivo, a medida que aumentou a quantidade de água aplicada, o valor é reduzido, sendo assim, os maiores custos estão presentes nas lâminas de 50% da ET₀ e menor no tratamento 150% da ET₀, isso se deve ao fato de que os custos referentes ao rendimento da bomba são fixos e, portanto, são diluídos com o aumento da lâmina d'água (**Tabela 4.4**).

Tabela 4. 4. Custo operacional total (COT) em 1 ha, kg de fruto de açaí e unidade de fruto de cupuaçu, em plantio comercial de açaizeiro em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.

Ano	Monocultivo		Consórcio		
	US\$ ha ⁻¹	US\$ kg ⁻¹	US\$ ha ⁻¹	Açaí (US\$ kg ⁻¹)	Cupuaçu (US\$ fruto ⁻¹)
1	1,281.55	-	1,518.26	-	-
2 e 3	946.78	-	917.62	-	1,56
4, 5 e 6	1,518.48	0.64	1,457.22	0.66	1,25
¹⁷ (2018)					
TS	1,855.90	0.50	2,180.36	0.86	1.77
T50	2,043.53	0.40	2,307.26	0.69	0.92
T100	2,118.11	0.38	2,390.49	0.61	0.87
T150	2,182.37	0.30	2,449.80	0.57	1.25
¹⁸ (2019)					
TS	1,925.42	0.43	2,463.68	0.43	1.62
T50	2,044.53	0.37	2,689.53	0.35	0.87
T100	2,249.79	0.32	2,774.18	0.33	0.76
T150	2,358.06	0.30	2,911.79	0.30	1.15
² A partir do 9					
TS	1,890.66	0.46	2,322.02	0.43	1.62
T50	2,069.76	0.39	2,498.39	0.35	0.80
T100	2,183.95	0.35	2,780.89	0.47	0.76
T150	2,270.21	0.33	2,925.84	0.30	1.16

¹Anos experimentais com lâminas de irrigação; ²Valores dos tratamentos com irrigação foram estimados pela média das regas dos anos experimentais (2018 e 2019).

O custo operacional total foi acrescido com a implantação da irrigação, assim os tratamentos irrigados apresentam maiores custos, com maior valor observado no T150, com destaque ao sistema consorciado. Porém, o custo por unidade produzida, nesse caso, o custo por kg de fruto de açaí e por unidade de fruto de cupuaçu, reduz à medida que se aumenta a lâmina d'água em função dos ganhos de produtividade proporcionados pelo sistema de irrigação. O sistema mais oneroso foi o TS tanto no monocultivo como nos sistemas consorciados, mas, o menor custo unitário do fruto de cupuaçu foi observado no T100.

Verifica-se que a receita obtida no monocultivo é observada a partir do quarto ano de cultivo, quando o açaizeiro inicia a produção de frutos. Nos anos experimentais as receitas foram proporcionais à quantidade de água que cada tratamento recebeu, com efeito direto sobre a produtividade, assim o T150 apresentou maior produtividade, e maior receita, enquanto que no TS ocorreram as menores produtividade e receita (**Tabela 4.5**).

Tabela 4. 5. Produtividade e receita líquida, 1 ha, de açaizeiro em monocultivo, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.

Ano	Produtividade t ha ⁻¹	WUE (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	Receita Líquida	
			US\$ ha ⁻¹	US\$ kg ⁻¹
1	-	-	-1,518.26	-
2 e 3	-	-	-917.62	-
4, 5 e 6	2.31	-	1,076.79	0.33
¹⁷ (2018)				
TS	3.69d	2.88b	1,252.67	0.34
T50	5.07c	3.82a	2,226.74	0.44
T100	5.56b	3.90a	2,559.38	0.46
T150	5.93a	3.89a	2,808.57	0.47
¹⁸ (2019)				
TS	4.44d	1.44d	1,815.19	0.41
T50	5.63c	1.80c	2,642.10	0.47
T100	7.04b	1.97b	3,679.40	0.52
T150	7.93a	2.09a	4,318.06	0.54
² A partir do 9				
TS	4.07	-	1,533.93	0.38
T50	5.35	-	2,434.42	0.45
T100	6.30	-	3,119.39	0.49
T150	6.93	-	3,563.32	0.51

¹Anos experimentais com lâminas de irrigação; ²Valores de produtividade e receita foram estimados pela média das regas dos anos experimentais (2018 e 2019). WUE – eficiência do uso da água. Valores de produtividade nos anos experimentais seguidos de mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Student ($p < 0.05$).

As receitas dos sistemas consorciados foram superiores ao do monocultivo, devido ao somatório das produções de cupuaçuzeiro e açaizeiro. Outra diferença importante nesse sistema de cultivo é que já é possível se obter receitas a partir do terceiro ano de cultivo, pois o cupuaçuzeiro é mais precoce que o açaizeiro. Isso viabiliza uma opção de comercialização e renda comparativamente ao monocultivo (**Tabela 4.6**).

Tabela 4. 6. Produtividade e receita líquida, 1 ha, de açaizeiro consorciado com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.

Ano	Produtividade		WUE		Receita		
	Açaí t ha ⁻¹	Cupuaçu nf ha ⁻¹	Açaí (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	Cupuaçu (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	US\$ ha ⁻¹	Açaí US\$ kg ⁻¹	Cupuaçu US\$ fruto ⁻¹
1	-	-	-	-	-1,518.26	-	-
2	-	-	-	-	-917.62	-	-
3	-	536.00	-	-	-319.12	-	-0.45
4, 5 e 6 17 (2018)	1.7	938.00	-	-	1,239.16	0.16	-0.20
<i>TS</i>	2.34d	1,072.00d	1.13b	0.91c	1,968.80	-0.02	-0.65
<i>T50</i>	3.09c	2,114.00b	1.52b	1.89b	2,652.67	0.15	0.19
<i>T100</i>	3.66b	2,278.00a	1.77b	2.23a	3,238.49	0.24	0.24
<i>T150</i>	3.98a	1,608.00c	1.85a	1.83b	2,699.46	0.27	-0.14
18 (2019)							
<i>TS</i>	5.40d	1,179.20d	1.20c	1.30d	4,544.56	0.42	-0.50
<i>T50</i>	7.20c	2,278.00b	1.54b	2.60b	5,917.71	0.49	0.25
<i>T100</i>	7.95b	2,619.70a	1.59b	3.00a	6,846.69	0.51	0.36
<i>T150</i>	9.28a	1,752.72c	1.69a	2.25c	6,854.68	0.55	-0.03
² A partir do 9							
<i>TS</i>	3.87	1,125.60	-	-	3,256.68	0.29	-0.57
<i>T50</i>	5.14	2,196.00	-	-	4,285.19	0.39	0.22
<i>T100</i>	5.81	2,448.85	-	-	5,042.59	0.43	0.30
<i>T150</i>	6.63	1,680.36	-	-	4,777.07	0.46	-0.08

¹Anos experimentais com lâminas de irrigação; ²Valores de produtividade e receita foram estimados pela média das regas dos anos experimentais (2018 e 2019). WUE – eficiência do uso da água. Valores de produtividade nos anos experimentais seguidos de mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Student ($p < 0.05$).

Na análise da produtividade e da receita líquida, verifica-se que no sistema de consorciado, o melhor tratamento para o açaizeiro foi o T150, que proporcionou maiores produtividades para o e conseqüentemente as maiores receitas. Em contrapartida, neste mesmo sistema, os menores rendimentos para o açaizeiro foram observados no TS. No entanto, para produção de cupuaçuzeiro, a melhor lâmina de irrigação correspondeu ao tratamento T100, com um significativo ($p < 0.05$) prejuízo na produção de frutos de cupuaçu com a lâmina de 150% da ET0 (T150) (**Table 6**).

Os indicadores econômicos, de forma geral, demonstram que o sistema de consórcio é mais lucrativo que o de monocultivo, em destaque aos tratamentos irrigados. Em todos os tratamentos avaliados o VPL foi positivo, a TIR foi superior a taxa mínima de atratividade, e a relação B/C foi superior a 1, logo, todos os tratamentos se mostram viáveis (**Table 7**). No monocultivo, o T150 teve melhor desempenho econômico, e o menor desempenho foi observado no TS, embora este tratamento seja viável, apresentou os menores indicadores quando comparado aos cultivos irrigados. As diferenças entre TS e T150 nesse sistema de cultivo foram de \$4,204.19 no VPL, 12.67% na TIR, a relação B/C teve saldo de 0.19 no TS e 0.60 no T150 (**Tabela7**).

Tabela 4. 7. Indicadores econômicos, por ha, de açaizeiro cultivado em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro, município de Castanhal, estado do Pará, Leste da Amazônia brasileira.

	Monocultivo			
	TS	T50	T100	T150
VPL (US\$)	1,696.24	3,575.50	4,985.19	5,900.43
TIR (%)	21.35	28.07	31.84	33.97
RB/C	1.19	1.38	1.51	1.60
PN (Pf - t ha ⁻¹)	2.20	2.43	2.52	2.59
	Consórcio			
	TS	T50	T100	T150
VPL (US\$)	4,043.07	8,383.47	9,952.80	9,386.47
TIR (%)	32.07	41.74	44.35	43.36
RB/C	1.41	1.81	1.95	1.88
PN Açaí (Pf - t ha ⁻¹)	2.39	2.54	2.64	2.71
PN Cupuaçu (nf)	1.695,98	1.750,17	1.778,91	1.806,72

Os resultados do ponto de nivelamento no sistema de monocultivo, os quais indicam a quantidade de frutos de açaí necessária para cobrir os custos de produção, indicaram uma proporcionalidade à quantidade de água. Isso ocorre porque, aumentam também os custos com manejo de irrigação, como energia elétrica nos tratamentos com maior aplicação de água, e os custos relacionados à colheita, uma vez que os tratamentos irrigados geram maiores quantidades de frutos, o que demanda maior quantidade de mão de obra para colheita (**Table 7**).

Os sistemas de cultivo consorciados também foram viáveis economicamente, tendo menores valores dos indicadores no TS, no entanto, diferente do sistema de monocultivo, apresentou destaque quanto aos maiores indicadores na lâmina de 100% da ET0, T100. A diferença entre estes tratamentos foi de US\$5,909.73 no VPL, 12.28% na TIR, e teve lucro de \$0.41 no TS e 0.95 no T100 a cada 1.00 investido. O ponto de nivelamento, para o consórcio, foi gerado para cada espécie cultivada, onde se observou maior quantidade produzida para compensar os custos no T150 e menor no TS.

Discussão

Os resultados indicam que todos os tratamentos se apresentam viáveis economicamente, com níveis de rentabilidade que permitem aos potenciais investidores nesses sistemas de produção a tomada de empréstimos de recursos financeiros junto às instituições de desenvolvimento regional que financiam projetos de agricultura sustentável, como o Banco da Amazônia por meio do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (BASA, 2021).

Os tratamentos irrigados apresentaram maior lucratividade por conta dos benefícios que a técnica promove aos vegetais, pois plantas hidratadas desempenham de forma mais eficiente as funções ecofisiológicas como transpiração, condutância estomática e fotossíntese e,

consequentemente, promove maior acúmulo de fotoassimilados, que reflete na produtividade dos frutos. Por outro lado, as plantas submetidas às condições de sequeiro ficam suscetíveis ao estresse hídrico, bem como dependem da variação das condições de tempo, uma vez que a única entrada de água é por meio da chuva (Munitz et al., 2020; Silva et al., 2017). Soma-se a isso o fato dos vegetais sob condições de sequeiro estarem sujeitos a outros eventos, como El Niño-Oscilação Sul que afetam o leste da Amazônia, e podem promover outros estresses além do hídrico, como estresse térmico ataques de doenças e insetos (Grimm and Aceituno, 2015).

Esse desempenho apresentado pelos tratamentos irrigados reflete na gestão dos recursos financeiros, maior geração de frutos e maior receita, no entanto aumenta também os custos, como o tempo de irrigação, custo com eletricidade, manutenção dos sistemas de irrigação, assistência técnica, e também os custos com mão de obra para colheita dos frutos, uma vez que as espécies de açaizeiro e cupuaçuzeiro necessitam de colheita manual (Embrapa, 2012; Martinot et al., 2017). Porém mesmo com o aumento dos custos, a irrigação compensa, pois gera receitas maiores e torna a técnica viável economicamente (**Tables 2, 5 and 6**).

Em ambos os sistemas de cultivo, o açaizeiro teve melhor desempenho quando submetido à maior lâmina de irrigação avaliada (T150). Enquanto, que no consórcio, a produtividade do cupuaçuzeiro foi superior com regas referentes à 100% da ET₀ com o tratamento superior (150% da ET₀) prejudicando a produção dos frutos dessa espécie (**Tables 5 and 6**). Entre os motivos de queda de produtividade no tratamento com maior aplicação de água estão que o excesso de água no solo pode gerar hipóxia, e assim prejudicar a respiração das raízes e absorção de nutriente, por seguinte o desenvolvimento do vegetal (Zhou et al., 2020). O excesso de água pode gerar também influência na emissão de flores, conforme observado em outras frutíferas, havendo a recomendação de redução das regas na fase de floração para aumentar a emissão floral (Sulistiawati et al. 2014).

Portanto, ainda que a lâmina de 150% da ET₀ tenha promovido maior lucratividade para o açaizeiro, o uso do consórcio promoveu maior retorno econômico com irrigação a 100% da ET₀, além de minimizar o uso de recurso hídricos, diferente do monocultivo, que para atingir maior produtividade é necessário uso de 150% da ET₀. Corroborando os dados de produtividade, observou-se que a eficiência do uso da água teve melhor desempenho na lâmina de 100% da ET₀ para o cupuaçuzeiro, já para o açaizeiro na maioria das observações foram constatados ainda melhor desempenho no T150 (**Table 6**).

A produtividade de açaí deste estudo foi superior aos resultados encontrados por Viana et al. (2020), porém, a VPL, TIR e relação B/C foram inferiores. As diferenças observadas nos

indicadores de viabilidade econômica em relação ao trabalho de Viana et al. (2020) podem estar associadas à subestimação de itens que compõem os custos de produção no sistema avaliado por aqueles autores e também em função de terem adotado um horizonte de planejamento de cultivo de 20 anos, superior em 8 anos ao adotado nesta pesquisa, além do fato dos autores terem avaliado apenas um tratamento de irrigação, sem descrever o embasamento da prática de manejo de regas.

A melhor eficiência do sistema de consórcio, que gerou maior produtividade, e conseqüentemente maior lucratividade, sobretudo na lâmina de 100% da ET₀, pode ser explicado pelo fato do sistema consorciado dinamizar as entradas financeiras em função de ter maior quantidade de produtos comercializáveis, nesse caso, além dos frutos de açaí que possuem outra época de colheita e modo de vendas, tem o fruto de cupuaçu, que possui safra concentrada nos primeiros meses do ano (Alves et al., 2018), coincidindo com a safra de menor quantidade de frutos de açaí.

Outros efeitos dos sistemas consorciados que perpassam a esfera da viabilidade econômica, mas que influenciam positivamente a produtividade em longo prazo deve-se ao fato de promoverem melhor desempenho na ciclagem de nutrientes e da água, que refletiu na densidade de raízes no solo (**Table 1**), a qual foi observada na profundidade de 00-40 cm de solo como sendo em média 37% superior no consórcio em comparação monocultivo. Isso se deve porque o sub-bosque, promovido pelas demais plantas, incentivam a maior cobertura do solo por folhas e demais estruturas vegetais que eventualmente entram em senescência, as quais geram matéria orgânica para o solo, promovendo melhorias na conservação do solo, como proteção contra erosão, maior quantidade microorganismo, aumento de nutrientes e conservação da água (Demestilhas et al., 2017; Ripoche et al., 2011).

Adicionalmente, o sistema de consórcio incentiva a atração e ampliação da biodiversidade de polinizadores, principalmente de insetos, como as abelhas (Ladurner et al., 2004). E para o açaizeiro, é notório que às vantagens em ganhos produtivos foram acentuados, uma vez que a produtividade do açaizeiro foi maior no consórcio que no monocultivo (**Table 5, 6 and 7**).

A Amazônia possui uma grande quantidade de espécies vegetais de hábito perene, algumas já bem domesticadas, outras ainda em domesticação, como o caso das espécies desse estudo, que são utilizadas nos sistemas de consórcio, e muitos casos mais enriquecidos com biodiversidade de sistema agrofloretais (Tremblay et al., 2015), que consorciavam espécies florestais e agrícolas.

Esse tipo de agricultura deve ser incentivada, uma vez que garante diversidade de renda, promove manutenção da biodiversidade e assegura a ancestralidade da técnica cultural desse tipo de agricultura. Essas questões ainda podem ser valoradas, principalmente, quando esses cultivos são associados as comunidades tradicionais da região, que necessitam desse tipo de estudo para fortalecer o uso e ocupação da terra por meio de agricultura sustentável.

Conclusão

O uso da irrigação em açaizeiro manejado em terra firme é viável economicamente e, garantindo maior rentabilidade que os cultivos da espécie em condições de sequeiro. O monocultivo, embora se mostre viável, apresenta desempenho inferior ao consórcio de açaizeiro e cupuaçuzeiro, que assegura maior rentabilidade, além de fornecer melhores indicadores econômico-financeiros em uma lâmina de irrigação menor que a observada no monocultivo. Os resultados sugerem que em sistemas irrigados de cultivo consorciado de açaizeiro com cupuaçuzeiros deve-se utilizar a lâmina de 100% da evapotranspiração de referência, pois se mostrou a alternativa mais viável economicamente, diante das condições ambientais e mercadológicas vigentes à época da pesquisa.

Referências

ABU-NOWAR, L. M. Economic and Financial Assessment of Solar-Powered Irrigation.

Journal of Agricultural Science, v. 12, n. 4, p. 185, 2020. Disponível em:

<<http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/42217>>. .

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **FAO**, p. 300, 1998. Roma.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.;

SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische**

Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. Disponível em:

<http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref>. .

ALVES, R. M.; BASTOS, A. J. R.; CHAVES, S. F. DA S.; FERNANDES, J. R. Q. Spondias mombin and Theobroma grandiflorum in agroforestry system: productivity implications.

Revista Brasileira de Fruticultura, v. 40, n. 6, 2018. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452018000600703&tlng=en>. .

BASA. **Financiando o Desenvolvimento no Norte do País**. Brasil: Banco da Amazônia, 2021.

CAMPBELL, A. J.; CARVALHEIRO, L. G.; MAUÉS, M. M.; et al. Anthropogenic disturbance of tropical forests threatens pollination services to açai palm in the Amazon river

delta. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 4, p. 1725–1736, 2018. Blackwell Publishing Ltd.

CEDRIM, P. C. A. S.; BARROS, E. M. A.; NASCIMENTO, T. G. DO. Propriedades antioxidantes do açaí (*Euterpe oleracea*) na síndrome metabólica. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.09217>>. Acesso em: 8/10/2019.

CONAB. **Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB**. Brasília: CONAB, 2010.

DEMESTIHAS, C.; PLÉNET, D.; GÉNARD, M.; RAYNAL, C.; LESCOURET, F. Ecosystem services in orchards. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 2, p. 12, 2017. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s13593-017-0422-1>>. .

EMBRAPA. Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia. Disponível em: <<http://www.inpa.gov.br>>. Acesso em: 13/1/2020.

EMBRAPA. **Implantação de um pomar de cupuaçuzeiro com a cultivar BRS Carimbó**. Brasília: Embrapa, 2012.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5º ed. Brasília, DF: Revista e Ampliada, 2018.

EMBRAPA. BRS Pai d'égua. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1113785/brs-pai-degua>>. Acesso em: 14/1/2020.

GITTINGER, J. P. **Economic analysis of agricultural projects**. 2º ed. Washington, D.C: World Bank Group., 1985.

GRIMM, A. M.; ACEITUNO, P. El niño, novamente! **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 351–357, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862015000400351&lng=pt&tlng=pt>. .

HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L.; DE MENEZES, A. J. E. A.; DE CARVALHO, J. E. U.; NICOLI, C. M. L. Açaí: novos desafios e tendências. **Extrativismo Vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação**. p.468, 2014. Brasília: Embrapa.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v. 92, n. 2–3, p. 185–202, 2005. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429005000304>>. .

LADURNER, E.; RECLA, L.; WOLF, M.; ZELGER, R.; BURGIO, G. *Osmia cornuta* (Hymenoptera Megachilidae) densities required for apple pollination: a cage study. **Journal of Apicultural Research**, v. 43, n. 3, p. 118–122, 2004. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00218839.2004.11101121>>. .

MARTINOT, J. F.; PEREIRA, H. DOS S.; SILVA, S. C. P. DA. Coletar ou Cultivar: as escolhas dos produtores de açaí-da-mata (*Euterpe precatoria*) do Amazonas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 4, p. 751–766, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032017000400751&lng=pt&tlng=pt>. .

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P. E. N. DE; et al. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, v. 23, p. 123–139, 1976.

São Paulo.

MORAES, J. R.; SOUZA ROLIM, G. DE; MARTORANO, L. G.; et al. Agrometeorological models to forecast açai (*Euterpe oleracea* Mart.) yield in the Eastern Amazon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 4, p. 1558–1569, 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.10164>>. .

MOURÃO, L. HISTÓRIA E NATUREZA: DO AÇAÍ AO PALMITO. **Revista Territórios e Fronteiras**, v. 3, p. 74–96, 2010.

MUNITZ, S.; SCHWARTZ, A.; NETZER, Y. Effect of timing of irrigation initiation on vegetative growth, physiology and yield parameters in Cabernet Sauvignon grapevines. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 26, n. 3, p. 220–232, 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ajgw.12435>>. .

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C. DE. Benefícios socioeconômicos da adoção de novas tecnologias no cultivo do açai no Estado do Pará. **Revista Ceres**, v. 63, n. 1, p. 1–7, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2016000100001&lng=pt&tlng=pt>. .

PERIS, C. S.; CAIADO, R. R.; SOUZA LIMA-FILHO, A. A.; et al. Analysis of Anthocyanins Extracted from the Acai Fruit (*Euterpe oleracea*): A Potential Novel Vital Dye for Chromovitrectomy. **Journal of Ophthalmology**, v. 2018, p. 1–9, 2018. Hindawi Limited. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/joph/2018/6830835/>>. Acesso em: 14/1/2020.

RIPOCHE, A.; RELIER, J.-P.; MARTIN-CLOUAIRE, R.; et al. Modelling adaptive management of intercropping in vineyards to satisfy agronomic and environmental performances under Mediterranean climate. **Environmental Modelling & Software**, v. 26, n. 12, p. 1467–1480, 2011. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815211001861>>. .

SANTOS, C. . **Irrigação da cafeicultura no cerrado**. Uberlândia: UFU, 2001.

SILVA, P. A.; COSME, V. S.; LEA, M.; REGINALDO, L. C.; BUSELLI, A. F. Drought tolerance in two oil palm hybrids as related to adjustments in carbon metabolism and vegetative growth. **Acta Physiol Plant**, p. 39–58, 2017.

SILVEIRA, T. F. F.; CRISTIANINI, M.; KUHNLE, G. G.; et al. Anthocyanins, non-anthocyanin phenolics, tocopherols and antioxidant capacity of açai juice (*Euterpe oleracea*) as affected by high pressure processing and thermal pasteurization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 55, 2019.

SOUSA, D. DE P.; FERNANDES, T. F. S.; TAVARES, L. B.; et al. Estimation of evapotranspiration and single and dual crop coefficients of acai palm in the Eastern Amazon (Brazil) using the Bowen ratio system. **Irrigation Science**, 2021. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00271-020-00710-2>>. .

SOUZA-MONTEIRO, J. R.; ARRIFANO, G. P. F.; QUEIROZ, A. I. D. G.; et al. Antidepressant and Antiaging Effects of Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) in Mice. **Oxidative medicine and cellular longevity**, v. 2019, 2019.

SULISTIAWATI, N. P. .; RAI, I. N. .; SANTOSA, I. G. N. .; ASTARINI, I. A. Phenophyology Studies in Efforts Produced Off Season Citrus (*Citrus nobilis* var, microcarpa). **International Journal on Advanced Science Engineering Informativo**

Technology, v. 4, n. 6, p. 56–61, 2014.

TAVARES, G. DOS S.; HOMMA, A. K. O.; MENEZES, A. J. E. A. DE; PALHETA, M. P. Análise da produção e comercialização de açaí no estado do Pará, Brasil. **International Journal of Development Research**, v. 10, p. 35215–35521, 2020.

TREMBLAY, S.; LUCOTTE, M.; REVÉRET, J. P.; et al. Agroforestry systems as a profitable alternative to slash and burn practices in small-scale agriculture of the Brazilian Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 89, n. 2, p. 193–204, 2015. Kluwer Academic Publishers.

VIANA, L. F.; HOMMA, A. K. O.; MENEZES NETO, A. J. E. A. DE; SANTOS, J. C. DOS; FARIAS, J. T. Viabilidade econômica do cultivo de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) Irrigado no Nordeste paraense. **International Journal of Development Research**, v. 10, n. 08, p. 39177–39182, 2020.

ZHOU, Y.; TAN, W. J.; XIE, L. J.; et al. Polyunsaturated linolenoyl-CoA modulates ERF-VII-mediated hypoxia signaling in Arabidopsis. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 62, n. 3, 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstra que a irrigação não influencia a presença das fenofases reprodutivas do açaizeiro, mas influencia positivamente na quantidade e na massa dos cachos dessa frutífera. Logo, o uso da técnica promove ganhos na produção de frutos de açaizeiro, com destaque a fração de 150% da evapotranspiração de referência diariamente durante os meses de menor precipitação pluviométrica. Enquanto que o cupuaçuzeiro têm melhor desempenho agrotécnico na lâmina de irrigação de 100% da evapotranspiração de referência. Do ponto de vista econômico, a produção de açaizeiro no monocultivo e no consórcio, tanto em sequeiro quanto irrigado são viáveis. Porém, os cultivos em sequeiro apresentam maior risco de prejuízos. A análise conjunta de todas as sessões da pesquisa da tese conclui que o açaizeiro irrigado é viável, indica-se a lâmina de 100% da evapotranspiração de referência e cultivo em consórcio, uma vez que assegura agricultura sustentável na Amazônia.

