



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
CURSO DE AGRONOMIA**

**MATHEUS LIMA RUA  
STEFANY PORCINA PENICHE LISBÔA**

**EVAPORAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM FRUTÍFERAS DE IMPORTÂNCIA  
ECONÔMICA NA AMAZÔNIA ORIENTAL.**

**BELÉM-PA  
2023**

**MATHEUS LIMA RUA  
STEFANY PORCINA PENICHE LISBÔA**

**EVAPORAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM FRUTÍFERAS DE IMPORTÂNCIA  
ECONÔMICA NA AMAZÔNIA ORIENTAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal Rural da Amazônia na área de Agrometeorologia, como requisito para a obtenção dos títulos de Bacharel em Agronomia.

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

Coorientador: Msc. Gabriel Siqueira Tavares Fernandes.

**BELÉM-PA  
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- R894e Rua, Matheus Lima  
Evaporação de água no solo em frutíferas de importância econômica na Amazônia oriental / Matheus Lima Rua, Stefany Porcina Peniche Lisbôa. - 2023.  
63 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Agronomia, Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2023.  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza  
Coorientador: Prof. Me. Gabriel Siqueira Tavares Fernandes.
1. Microlisímetro. 2. Irrigação. 3. Umidade do solo. I. Souza, Paulo Jorge de Oliveira Ponte de, *orient.*  
II. Título
-

**MATHEUS LIMA RUA  
STEFANY PORCINA PENICHE LISBÔA**


**EVAPORAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM FRUTÍFERAS DE IMPORTÂNCIA  
ECONÔMICA NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

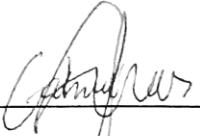
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal Rural da Amazônia na  
área de Agrometeorologia.

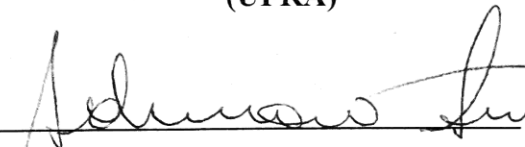
12 de abril de 2023

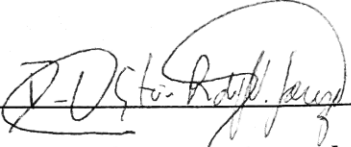
**Data de Aprovação**

**Banca Examinadora:**

  
Orientador  
**(Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Pontes de Souza)**  
**(ISARH/UFRA)**

  
Coorientador  
**(MSc. Gabriel Siqueira Tavares Fernandes)**  
**(UFRA)**

  
Membro 1  
**(Prof. Dr. Adriano Marlisom Leão de Sousa)**  
**(ISARH/UFRA)**

  
Membro 2  
**(Prof. Dr. Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza)**  
**(ICA/UFRA)**

*Para minha família por todo esforço carinho, incentivo, suporte e criação ao longo da minha caminhada.*

*Dedico a minha avó Deuzarina por todo cuidado, ensinamento e por ter sempre buscado e torcido pelo melhor de mim, está conquista será em seu nome pois sempre desejou me ver em uma universidade, assim como alcançando bons feitos;*

DEDICO (Matheus)

*Aos meus pais, Ajax da Silva Lisbôa e Cléia Guimarães Peniche, pela criação, carinho, por todo apoio e incentivo ao longo da caminhada; aos meus irmãos, que são preciosidades em minha vida.*

*Ao meu namorado Francisco Souza, por todo amor, companheirismo e apoio; Ao meu filho João Guilherme que é minha força, motivação e luz em minha vida.*

*Aos meus Sogros Antônio de Souza e Eliana de Souza, por todo apoio, carinho e cuidado.*

DEDICO (Stefany)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tudo que me concedeu em minha vida até este momento, pela minha família, meus amigos e pela oportunidade de entrar em uma universidade pública e conseguido ter forças suficiente pra enfrentar toda a caminhada até o fim do curso;

Agradeço imensamente a minha família que é minha maior base e exemplo de vida, em especial aos meus pais, Raimundo Odmar Lima Rua e Maria de Nazaré Lima de Castro, por toda minha criação, por serem minha base e apoio na minha caminhada e por sempre buscarem proporcionarem o melhor pra mim, assim como para minhas irmãs, Maria Rafaela Lima Rua, Kassia Lima Rua e Gabriela Lima Rua, por também fazerem parte de toda minha vida;

Aos meus tios e tias, Fatima Queiros, Regina Rua, Freedman Rua, Rose Castro, Remy Aquino, Dinamara Rua e Eloedes por todos os momentos, conselhos e ensinamentos, em especial a minha tia e madrinha Fernanda Rua, por também ser meu exemplo de vida, por estar sempre me aconselhando, me indicando as melhores escolhas e por sempre está torcendo por mim;

As minhas Avós, Deuzarina Lima (*in memoriam*) e Ludovina Castro, por serem acima de tudo a base de toda a família, que sempre buscaram e buscam o melhor para todos da família. Deixando um agradecimento em especial para minha avó Deuzarina por todo cuidado, ensinamento e por ter sempre buscado e torcido pelo melhor de mim, está conquista será em seu nome pois sempre desejou me ver em uma universidade, assim como alcançando bons feitos;

Aos meus primos e primas, Rana Rua, Caio Rua, Camila Rua, Nathali Castro, Jhon Lennon, Murilo Rua, Fredy Rua, Lucas e Wagner, por todo companheirismo, amizade e bons momentos;

Deixo meus agradecimentos a todos os demais familiares por fazerem parte da minha vida;

Aos meus amigos e companheiros de grupo de estudos, Maria Ribeiro, Stefany Lisboa e Mateus Augusto Santana, que me acompanharam desde o início do curso, no qual enfrentamos de tudo um pouco, mas sempre superando tudo graças a boa amizade entre nós;

Aos meus amigos da graduação, Marcos Pantoja, Keila Teixeira, João Vitor de Oliveira, David Negrão, João Pedro Serão e Renan Antônio por todo companheirismo e por deixar as dificuldades da graduação mais leves;

Aos demais amigos e colegas da turma 2 de agronomia do ano de 2018, por toda a caminhada juntos ao longo do curso;

Ao Grupo de Pesquisa Interação Solo Planta Atmosfera na Amazônia – ISPAAm, por todo aprendizado e suporte ao longo da graduação, que me fizeram chegar até onde estou. Agradecimento aos amigos que esse grupo me presenteou, Carmen Martins, Matheus Yan, Adrielle Monteiro, Denilson Barreto, Maria de Lurdes Velame, João Nóvoa, Hildo Garcia, Vitor Ferreira, Henderson Junior, Luis Trindade, Wendel Vieira, Leandro Navarro, Kaio Pereira, Breno Rodrigues, Mateus Aguiar e Maiara Soares, por todo companheirismo, por compartilhar diversas missões em campo e por todos os bons momentos no laboratório, deixando todo trabalho mais leve e divertido;

Aos meus chefes na pesquisa, inicialmente agradeço a Dr. Deborah Pires, por todo seu ensinamento quando entrei no laboratório e por ser alguém que me acompanha e apoia bastante até hoje; A Erika Teixeira por todas as conversas, conselhos e bons momentos compartilhados ao longo de sua passagem pelo laboratório; Ao Igor Vieira por todos os conselhos e dicas; Ao Gabriel Tavares por toda a orientação desde que entrou no laboratório, me ajudando de todas as formas no meio da pesquisa e sendo fundamental na elaboração deste TCC e Ao Belfort por toda confiança e torcida nestes últimos momentos da graduação.

Ao meu Orientador, Professor Dr. Paulo Jorge O. P. de Souza, por me proporcionar todas as oportunidades, orientação, reconhecimento e confiança ao longo da minha passagem no grupo ISPAAm.

À Universidade Federal Rural da Amazônia por todo apoio ao longo da graduação; A Fazenda Reunidas Sococo por todo suporte para o desenvolvimento deste estudo, assim como a sua equipe de colaboradores; A Fazenda Escola de Castanhal – UFRA, pelo também apoio no desenvolvimento deste estudo e ao CNPq pela concessão de bolsa e apoio a esta pesquisa.

Matheus Lima Rua

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pela força, paz e segurança durante esses anos. Por guiar meus caminhos, concedendo-me conforto e sabedoria ao longo da vida. E também por me proporcionar conhecer pessoas maravilhosas, com as quais eu sempre posso contar.

Aos meus pais, Cléia Guimarães Peniche e Ajax da Silva Lisboa, que são meus maiores exemplos, por nunca me deixarem desistir dos sonhos, pelo apoio, amor, acolhimento em forma de abraços e palavras em momentos difíceis, e todo suporte ao longo minha vida. Agradeço muito a criação repleta de respeito, além de toda dedicação em me proporcionar tudo o que estava no alcance, e o suficiente pra que eu pudesse prosseguir até aqui, na humildade e força, como sempre em seus ensinamentos pontuavam. Muito obrigada, por me ajudarem a crescer, por cuidarem tão bem do meu filho, com o amor imensurável de avós nessa reta final do curso, pra que eu pudesse seguir firme na vida acadêmica e finalizar um ciclo. Vocês são meu porto seguro. Aos meus irmãos Álvaro Raul e Emanuel Nazareno, pela parceria, brincadeiras e acolhimento, vocês são minhas preciosidades. Amo vocês!

Ao meu namorado Francisco Souza por estar comigo em todos os momentos de minha caminhada, pelo incentivo, compreensão, por todo apoio, amor e ajuda dadas a mim e principalmente por acreditar nos meus sonhos, você é incrível! Ao meu filho João Guilherme, por ser minha luz, meu amor, por fazer meus dias mais felizes, e também por me fazer buscar e batalhar pelos meus sonhos, até que eles se tornem realidade. Amo muito vocês, minha família minhas preciosidades!

Aos meus sogros Eliana Emim e Antônio de Souza, por todo cuidado e amor que tiveram comigo e com o meu filho. Pelo suporte, principalmente no finalzinho do curso! Sou extremamente grata a vocês, Jóias raras que entraram na minha vida. Também agradeço aos meus cunhados Evelyn Fátima e Felipe Souza por também me ajudarem muito, mesmo com tantos afazeres do dia, e preocupações.

Aos meus familiares, em especial aos meus avós Martinha Guimarães, Maria Lisbôa e Pedro Sodré. Aos meus tios, Márcia Peniche, Cláudia Furtado, Rosiane Lisboa, Eliete Lisboa, Márcio dos Santos, Cleidson Peniche e Raimundo Lisboa. As minhas primas do coração, Mayra Peniche, Amanda Peniche e Raíssa Lisboa. A todos vocês o meu agradecimento por estarem sempre presentes comigo, e principalmente pelos momentos de apoio que deram no decorrer da minha graduação, vocês foram essenciais nesse processo, e são especiais em minha vida. Amo a todos.

Não podia deixar de expressar a minha gratidão ao meu grupo de estudos e amigos do coração Maria Ribeiro, Mateus Augusto e Matheus Rua, por fazerem tudo isso acontecer até aqui, por todo apoio e cuidado que tiveram. pelo esforço em todos os trabalhos nesses 5 anos. Pelo incentivo em momentos difíceis. Obrigada por tudo, principalmente pelo companheirismo e parceria que firmamos. Com vocês tudo foi um pouco mais leve e divertido. Amo vocês!

Um agradecimento especial para a minha amiga de infância e graduação Maria Ribeiro que sempre esteve comigo em todos os momentos. Obrigada por tudo, principalmente pelas conversas, ajuda, conselhos, e ombro amigo, você é minha irmã, amiga e agora comadre. Amo muito você!

Agradeço imensamente aos amigos que a universidade me deu e que eu guardo no coração, a vocês, Lucas Noronha, Elyzandra Almeida, Juliana Tavares, Vanessa Freitas, Lenis Lima, meu agradecimento por todo apoio, ajuda, carinho, cuidado que me foi transmitido, pela tranquilidade em momentos de aflição e pela motivação em nunca desistir. Saibam que eu amo vocês.

Ao grupo de pesquisa Interação Solo Planta Atmosfera na Amazônia – ISPAAm, por todo acolhimento, apoio, cuidado, motivação e ajuda. Em especial, ao Gabriel Tavares, João Nóvoa, Hildo Garcia, Belford, Adrielle Carvalho, Denilson Barreto, Maria de Lourdes, Igor Christian. Vocês são especiais. Vou sentir muitas saudades!

A você mãe na pesquisa e parceira para todas as horas Dr. Eng. Agro. Deborah L. Pires C., por todos os momentos maravilhosos que compartilhamos juntas, por milhares de conselhos, abraços, apoio, incentivo e auxílios que me destes. Pelas risadas, histórias e ensinamentos que irei levar para a vida, saiba que estás em meu coração e que eu amo você!

A você Erika Teixeira, deixo todo o meu agradecimento pelas inúmeras ajudas dadas, conselhos, abraços e palavras de motivação. Obrigada por me ensinar tantas coisas, não só de cunho acadêmico, mas exemplos pessoais que com certeza levarei para a vida. És uma pessoa de luz. Tens minha admiração, amo você!

Ao Orientador, Professor Dr. Paulo Jorge O. P. de Souza, pela oportunidade de fazer parte do grupo de pesquisa, por todo acolhimento que recebi, pela oportunidade de ser monitora da disciplina de agrometeorologia, pois através disso vivenciei experiências, aprendi diversas coisas da vida acadêmica que me ajudaram, sem sombra de dúvidas.

Aos professores que contribuíram em minha formação e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

Stefany Porcina Peniche Lisbôa

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”*

José de Alencar

## RESUMO

Um dos limitantes de produtividade em frutíferas é a deficiência hídrica no solo, sendo assim a caracterização da evaporação é essencial por viabilizar informações das demandas atmosféricas e perdas de água do solo, onde posteriormente poderá ser disponibilizada para as plantas de forma equilibrada por meio da irrigação, sem que haja desperdício. O presente estudo teve o objetivo de caracterizar e quantificar a evaporação da água no solo em cultivos de açaizeiro em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro e, na cultura do coqueiro, ambos em áreas irrigada e não irrigada, no Nordeste Paraense. O experimento em Castanhal foi conduzido entre maio de 2019 e dezembro do mesmo ano, já em Santa Izabel ocorreu entre maio de 2021 e outubro de 2022. Em ambos os locais, foram instaladas torres micrometeorológicas com sensores de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar global incidente, velocidade do vento, umidade do solo e precipitação pluviométrica, também foi adicionado instrumentos no solo como tensiômetros e microlisímetros nas áreas de monocultivo e consórcio do açaizeiro, e na área do coqueiro. O delineamento experimental para ambos os experimentos foi inteiramente casualizado (DIC), com dois tratamentos (irrigado e sequeiro), e as repetições consistiram nos dados pontuais diários. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), tendo como fatores, cultivo, tratamento e local, para os dados do coqueiro foi aplicado o fatorial duplo, enquanto para os dados do açaizeiro foi o fatorial triplo. Aos resultados significativos ( $p < 0,05$ ) procedeu-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do software R 4.2.1. Os resultados da área experimental do açaí apontaram que a água não foi o principal fator condicionante na EAS, e que a variável que mais influenciou foi a radiação solar, pois, independente do período (chuvoso e menos chuvoso), houve fornecimento de água para toda a área, deixando o teor de água no solo acima capacidade de campo em todos os sistemas de cultivo e tratamento. Para a área experimental do coqueiro, os resultados indicaram entre os tratamentos (Sequeiro e irrigado) que houve maior EAS no sequeiro, e esse resultado pode estar associado ao DPV desse cultivo em sequeiro em relação ao irrigado, enquanto nos locais a maior EAS foi observada na linha, em decorrência do menor IAF do coqueiro. Portanto, a radiação solar incidente foi a variável condicionante na evaporação da água do solo, tendo interferência mediante a dinâmica de água no solo e o índice de área foliar. Sendo assim, a interceptação da radiação solar conciliada com o sombreamento causado principalmente pelas folhas das plantas, influenciaram diretamente nos resultados de evaporação.

**Palavras-chave:** Microlisímetro, Irrigação, Umidade do solo.

## ABSTRACT

One of the limiting factors of productivity in fruit trees is water deficiency in the soil, so the characterization of evaporation is essential because it enables information on atmospheric demands and soil water losses, which can later be made available to plants in a balanced way through irrigation, without any waste. The present study aimed to characterize and quantify the evaporation of water in the soil in açai crops in monoculture and in intercropping with cupuassu and, in the coconut crop, both in irrigated and non-irrigated areas, in Northeast Paraense. The experiment in Castanhal was conducted between May 2019 and December of the same year, while in Santa Izabel it took place between May 2021 and October 2022. In both locations, micrometeorological towers were installed with sensors of air temperature, relative humidity, radiation incident global solar radiation, wind speed, soil moisture, and rainfall, soil instruments such as tensiometers and microlysimeters were also added in the areas of monoculture and açai consortium, and in the coconut area. The experimental design for both experiments was completely randomized (DIC), with two treatments (irrigated and rainfed), and the repetitions consisted of daily punctual data. The data were submitted to analysis of variance (ANOVA), having as factors, cultivation, treatment, and location, for the data of the coconut tree the double factorial was applied, while for the data of the açai tree, it was the triple factorial. For significant results ( $p < 0.05$ ), Tukey's test was performed at a 5% probability level, with the aid of the R 4.2.1 software. The results of the açai experimental area showed that water was not the main conditioning factor in the EAS and that the variable that most influenced was solar radiation, because, regardless of the period (rainy or less rainy), there was water supply for the entire population. the area, leaving soil water content above field capacity in all cropping and treatment systems. For the coconut experimental area, the results indicated between the treatments (fed and irrigated) that there was a higher EAS in the rainfed, and this result may be associated with the DPV of this crop in the rainfed compared to the irrigated, while in the places the highest EAS was observed in the row, as a result of the lower LAI of the coconut tree. Therefore, the incident solar radiation was the conditioning variable in the evaporation of water from the soil, having interference through the dynamics of water in the soil and the Leaf Area Index. Therefore, the interception of solar radiation reconciled with the shading caused mainly by the leaves of the plants, directly influenced the results of evaporation.

**Keywords:** microlysimeter, Irrigation, Soil moisture.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Localização da área experimental, Castanhal-PA.....	29
<b>Figura 2-</b> Ilustração da torre micrometeorológica e da disposição das calhas coletoras de captação na linha e entrelinha de plantio.....	32
<b>Figura 3-</b> Mensuração dos tensiômetro na área experimental de açaizeiro, Castanhal-PA.....	33
<b>Figura 4-</b> Localização da área experimental e das torres micrometeorológicas da área irrigada (I) e sequeiro (S), Santa Isabel do Pará - PA.....	34
<b>Figura 5-</b> Componentes de um sistema de microlisímetros, instalados nas áreas experimentais. ....	39
<b>Figura 6-</b> Valores médios semanais de temperatura média do ar (Tar) (A), umidade relativa do ar (UR) (A), velocidade do vento (U) (B), radiação solar global (Rg) (B), déficit de pressão de vapor (DPV) (C) e evapotranspiração de referência (ET0) (C), na área experimental com açaizeiro. Área sombreada é referente ao período menos chuvoso. ....	41
<b>Figura 7-</b> Precipitação Efetiva (Pef) e Pluviométrica (PP) mensal nos sistemas de cultivo na linha (L) e entrelinha (E). Área sombreada é referente ao período menos chuvoso. ....	42
<b>Figura 8-</b> Valores médios semanais de teor de umidade de água do solo ( $\theta$ ) no monocultivo (A) e consórcio (B), nos tratamentos irrigado (I) e sequeiro (S) da linha de plantio. Capacidade de campo (CC). Área sombreada é referente ao período menos chuvoso.....	43
<b>Figura 9-</b> Valores médios semanais de Evaporação da Água do Solo (EAS), do monocultivo irrigado (A) e sequeiro (C) e do consórcio irrigado (B) e sequeiro (D), na linha (L) e entrelinha (E). Área sombreada é referente ao período menos chuvoso. ....	44
<b>Figura 10-</b> Valores médios semanais da área irrigada de temperatura média do ar (Tar) (A), umidade relativa do ar (UR) (A), velocidade do vento (U) (C), radiação solar global (Rg) (C), déficit de pressão de vapor (DPV) (E) e evapotranspiração de referencia (ET0) (E). Valores médios semanais da área sequeiro Tar (B), UR (B), U (D), Rg (D), DPV (F) e ET0 (F) do experimento com coqueiro. Área sombreada é referente ao período menos chuvoso.....	46
<b>Figura 11-</b> Precipitação Pluviométrica (PP) mensal nas áreas irrigado e sequeiro do experimento com coqueiro. Área sombreada é referente ao período menos chuvoso.....	49
<b>Figura 12-</b> Valores médios semanais de teor de umidade de água do solo ( $\theta$ ), nas áreas irrigado (A) e sequeiro (B) na linha (L) e entrelinha (E) do experimento com coqueiro. Capacidade de Campo (CC). Ponto de Mucha Permanente (PMP). Área sombreada é referente ao período menos chuvoso. ....	50

**Figura 13-** Valores médios semanais da Evaporação da Água do Solo (EAS) nas áreas irrigado (A) e sequeiro (B) da linha (L) e entrelinha (E) do experimento com coqueiro. Área sombreada é referente ao período menos chuvoso. .... 51

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b> Atributos químicos e físicos do solo, em um plantio comercial de açazeiro, Castanhal-PA.....	30
<b>Tabela 2-</b> Sensores da torre micrometeorológica, em um plantio comercial de açazeiro, Castanhal-PA.....	31
<b>Tabela 3-</b> Atributos químicos e físicos do solo, em um plantio comercial de coqueiro, Santa Izabel do Pará - PA.....	35
<b>Tabela 4-</b> Sensores para cada torre micrometeorológica instalada em cada tratamento, em um plantio comercial de coqueiro, Santa Izabel do Pará - PA. ....	36
<b>Tabela 5-</b> Resultados estatísticos (Tukey $p < 0,05$ ) das interações entre os fatores analisados: cultivo, tratamento e local, na área experimental com açazeiro, durante o período chuvoso. ....	45
<b>Tabela 6-</b> Resultados estatísticos (Tukey $p < 0,05$ ) das interações entre os fatores analisados: cultivo, tratamento e local, na área experimental com açazeiro, durante o período menos chuvoso.....	45
<b>Tabela 7-</b> Resultados estatísticos (Tukey $p < 0,05$ ) das interações entre os fatores analisados: tratamento (irrigado e sequeiro) e local (linha e entrelinha), na área experimental com coqueiro, durante os períodos analisados. ....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- % - Porcentagem;
- °C - Graus Celsius;
- AD –Área do Disco;
- AF – Área Foliar;
- B – Boro;
- CAP - Elemento utilizado para executar a vedação das extremidades de tubos (Tampão).
- cca – Centímetros de Coluna D'água;
- cm – Centímetros;
- DPV – Déficit de Pressão de Vapor;
- ea - Pressão de Vapor de Água;
- EAS – Evaporação da Água do Solo;
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
- es – Pressão de Saturação de Vapor de Água;
- ET0 – Evapotranspiração de Referência;
- FEC – Fazenda Escola de Castanhal;
- h – Hora;
- ha – Hectare;
- IAF – Índice de Área Foliar;
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- K – Potássio;
- Kg – Quilogramas;
- kpa – Quilopascal;
- L – Litro;
- m – Metros;
- m<sup>2</sup> - Metros Quadrado;
- mca – Metros de Coluna D'água;
- Mg – Magnésio;
- Mj – Megajoule;
- mm – Milímetros;
- N – Nitrogênio;
- NPK – Nitrogênio, Fosforo e Potássio;
- P – Fosforo;
- PA – Pará;
- P<sub>ef</sub> – Precipitação Efetiva;

PP – Precipitação Pluviométrica;

PVC - Policloreto de Vinila;

Rg – Radiação Solar Global Incidente;

SEDAP - Secretaria de Estado de Desenvolvimento Agropecuária e da Pesca;

Tar – Temperatura Média do Ar;

U – Velocidade do Vento;

UFRA – Universidade Federal da Amazônia;

UR – Umidade Relativa do Ar;

$\theta$  – Teor de água no Solo;

$\Upsilon$  – Constante Psicrométrica.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Açaizeiro .....</b>	<b>19</b>
2.1.1	Origem e Classificação Botânica .....	19
2.1.2	Exigências Climáticas.....	19
2.1.3	Importância Socioeconômica .....	20
<b>2.2</b>	<b>Cupuaçuzeiro .....</b>	<b>21</b>
2.2.1	Origem e Classificação Botânica.....	21
2.2.2	Exigências Climáticas.....	21
2.2.3	Importância econômica.....	22
<b>2.3</b>	<b>Coqueiro Anão Verde.....</b>	<b>23</b>
2.3.1	Origem e Classificação Botânica.....	23
2.3.2	Exigências Climáticas.....	23
2.3.3	Importância Socioeconômica .....	24
<b>2.4</b>	<b>Água no Solo.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5</b>	<b>Evaporação da Água no Solo .....</b>	<b>25</b>
<b>2.6</b>	<b>Métodos de Quantificação de Evaporação da água no solo .....</b>	<b>26</b>
<b>2.7</b>	<b>Variáveis associadas ao Solo-Planta-atmosfera .....</b>	<b>27</b>
2.7.1	Radiação Solar .....	27
2.7.2	Solo.....	28
2.7.3	Índice de área foliar (IAF).....	28
<b>3</b>	<b>Material e Métodos .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Área Experimental do Açaizeiro .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Precipitação efetiva: Açaizeiro .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3</b>	<b>Teor de umidade de água do solo: Açaizeiro.....</b>	<b>32</b>
<b>3.4</b>	<b>Área experimental do Coqueiro .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5</b>	<b>Índice de área foliar: Puerária .....</b>	<b>36</b>

<b>3.6</b>	<b>Índice de área foliar: Coqueiro.....</b>	<b>37</b>
<b>3.7</b>	<b>Déficit de pressão de vapor .....</b>	<b>37</b>
<b>3.8</b>	<b>Evapotranspiração de referência .....</b>	<b>37</b>
<b>3.9</b>	<b>Evaporação da água do solo.....</b>	<b>38</b>
<b>3.10</b>	<b>Análise Estatística .....</b>	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia detém grande diversidade de frutas comerciais de relevância econômica e social, por sua longa extensão territorial e suas condições climáticas. Assim, uma dessas frutíferas é o açaizeiro (*Euterpe Oleracea* Mart.), originário da região Amazônica, apresenta ampla distribuição ao longo da América Latina devido a sua adaptabilidade, sendo o Brasil o maior produtor de fruto em escala mundial (SILVA et al., 2020). Nos últimos anos, a busca por hábitos alimentares saudáveis por grande parte da população intensificou o consumo do fruto em âmbito nacional e internacional, tendo em vista que o açaí contém ótimas propriedades nutricionais, é rico em lipídios, fenóis e antocianinas, um poderoso antioxidante, além de conter um sabor agradável ao paladar (CEDRIM et al., 2018). Esse aumento no consumo proporcionou ao fruto grande destaque em cenário regional e nacional, dentro dos campos econômico, ambiental e social (CONFORTO; CONTIN, 2009).

Desse modo, as características adaptativas e econômicas advindas da popularização do fruto do açaizeiro, despertaram o interesse dos produtores da mesorregião do Nordeste Paraense, a maior região produtora de fruto do estado (IBGE, 2020), que levaram e implementaram no campo mais técnicas e tratos culturais visando aumentar a produtividade na safra e entressafra (HOMMA et al., 2014; VIANA et al., 2021). Dentre as diversas técnicas utilizadas, destaca-se o uso de sistemas de irrigação e, cultivo em consórcio com outras culturas como a do cupuaçuzeiro, pois tem sido uma boa alternativa para as propriedades rurais, possibilitando a redução de custos e o aumento da eficiência do sistema produtivo, garantindo ao produtor maior competitividade no mercado (NESPOLI et al., 2017; ALMEIDA et al., 2018).

Do mesmo modo, outra frutífera de grande importância econômica para a Amazônia e para o Brasil é o coqueiro (*cocos nucifera*), originário do sudeste asiático, a palmeira também apresenta ampla distribuição por seu potencial adaptativo, principalmente em locais de clima quente (CASTRO, 2021) Sua importância econômica está atrelada a capacidade de ser fonte de renda, alimentação, e por gerar empregabilidade. Dentro desse contexto socioeconômico, o Brasil se destaca no mercado da cocoicultura como um dos maiores produtores no mundo, com destaque para a região Nordeste, maior produtora do País, especialmente da variedade anã-verde, devido a sua alta precocidade e grande produção de frutos por planta. Dessa forma, a cocoicultura representa grande relevância, pelas multifuncionalidades de exploração, fins artesanais, nutricionais e agroindustriais (RODRIGUES, 2020).

Devido à alta demanda comercial das frutíferas açazeiro e coqueiro, surge a preocupação com os fatores edáficos, climáticos, térmicos e hídricos, que desempenham papel fundamental e interferem ativamente no desenvolvimento das plantas, além de melhorar o incremento na produção, conseqüentemente na produtividade (SANTOS, 2018). Dentre as preocupações, salienta-se os diversos usos da água, tendo em vista que ela age em processos físicos, químicos e biológicos da terra e está em constantes transformações dos seus estados sólido, líquido e gasoso, sendo assim, seu uso deve ser feito de forma correta, sem que haja desperdícios (ALVES, 2013).

Diante do sistema solo e atmosfera, a contabilização das entradas de água (precipitação, irrigação, nível do mar) e saídas (evaporação e transpiração, escoamento e percolação profunda) são de extrema importância para a implantação de sistemas de irrigação, visando devolver a água que foi perdida do solo, especialmente no processo de EAS, e assim suprir a necessidade hídricas das frutíferas, além de manter a umidade do solo (MARTORANO, 2007; FERNANDES, 2019; MELO, 2020).

A variável evaporação da água do solo (EAS) é um processo físico, sendo descrito como a passagem de água do estado líquido para o gasoso, tendo a radiação solar como a principal fonte de energia nesse processo. A sua quantificação é crucial para manejos de irrigação, principalmente em locais de baixos níveis de precipitação e altas temperaturas, ocasionando elevadas perdas de água do solo, assim prejudicando o desenvolvimento de culturas (SINCLAIR et al., 1990; LIBARDI, 1995; ALLEN et al., 1998; HOLANDA et al., 2016).

As condições para ocorrência do processo de EAS estão relacionadas às condições da atmosfera, sendo influenciadas constantemente pelas variáveis meteorológicas radiação solar, umidade relativa do ar, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento, além do suprimento hídrico contínuo do interior do à superfície do solo (HILLEL, 1973; ALLEN et al., 1998). Vale pontuar que as características físicas do solo também influenciam de forma direta na taxa de evaporação, mais especificamente, a densidade e a porosidade, as quais interferem na retenção de água (GORDIYENKO; KOSTOGRYZ, 1990).

Apesar da grande relevância destas culturas para diversas regiões do Brasil, em especial ao Norte e Nordeste, e o elevado interesse em seus produtos, principalmente em relação ao mercado externo, ainda há poucos estudos que se referem à interação com a atmosfera. Cabe pontuar que atualmente os conhecimentos acerca das variáveis meteorológicas são importantes, para definir os acontecimentos e funcionamentos do planeta no ramo da agricultura. Com isso, tem-se a necessidade de entender a influência das variáveis meteorológicas nos processos de

distribuição e retirada de água no solo, visando à melhoria do manejo do sistema de irrigação, principalmente quando há um aumento da perda de água por evaporação.

O presente estudo teve o objetivo de caracterizar e quantificar a evaporação da água no solo em cultivos de açaizeiro em monocultivo e consórcio com cupuaçuzeiro e, na cultura do coqueiro, ambos em áreas irrigada e não irrigada, no Nordeste Paraense.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Açaizeiro**

#### **2.1.1 Origem e Classificação Botânica**

Nativo da Amazônia, o açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) pertence à família Arecaceae, é uma planta monocotiledônea perene que representa grande valor socioeconômico para a região. Sua ocorrência se dá de forma natural em áreas de várzea, possui caule do tipo estipe, apresenta perfilho e forma touceira. Essa espécie é conhecida popularmente por açaí, açaí-do-pará, açaí-de-touceira, juçara, açaí-verdadeiro, açaí-do-Baixo-Amazonas e açaí-de-planta (EMBRAPA, 2008). Sendo que a principal condição que diferencia as demais palmeiras do mesmo gênero é o perfilhamento, tendo em vista que a *Euterpe precatória* e a *Euterpe edulis* também chamadas de açaí ou juçara são espécies solteiras que não perfilham (LIZ, 2020).

Quando adultas, os estipes podem chegar de 3 a 20 metros de altura e 7 a 18 cm de diâmetro, apresentam sistema radicular fasciculado, folhas compostas, inflorescência do tipo cacho e fruto é denominado como drupa globosa, apresentando coloração do epicarpo roxo ou até verde. A semente apresenta na maturação um endosperma sólido do tipo ruminado e um embrião pequeno, mas desenvolvido (EMBRAPA, 2008).

#### **2.1.2 Exigências Climáticas**

O desenvolvimento ideal da frutífera é desencadeado quando plantada em climas tropicais, sem ocorrência de elevadas amplitudes térmicas, com temperatura média por volta de 26 °C, com máximas em média de 31,5 °C, precipitação total anual de chuvas superior a 2.000 mm e umidade relativa variando entre 71% e 91%. Cabe pontuar que apesar de ser típica de clima tropical, o açaizeiro apresenta sensibilidade a temperaturas superiores a 31 °C, pois essa condição ocasiona estresse térmico, um dos principais fatores que limitam a produtividade, ou até mesmo causar danos irreversíveis ao crescimento e desenvolvimento das frutíferas (SANTOS, 2021).

Para obter o bom desenvolvimento da cultura do açaizeiro, é importante que não haja déficit hídrico no solo, pois a palmeira é exigente em água. Dessa maneira, a redução de água disponível no solo ocasionada por condições climáticas, como elevadas temperaturas por longo

período, associadas ao déficit de pressão por vapor, acarretam desregulação processos metabólicos, induzindo ao fechamento estomático, redução da fotossíntese e transpiração, designando a planta ao declínio da taxa de crescimento e consequentemente reduzindo a produtividade (SCALON et al., 2011; MATOS et al., 2020).

Com isso, a temperatura do ar é um elemento de importante compreensão acerca da adaptabilidade de uma, assim como conhecer as necessidades térmicas do açazeiro por meio do método de graus dias em função das temperaturas basais, tendo em vista o bom funcionamento fisiológico da planta e a sua capacidade de produzir em condição diferente do seu natural. Com isso, o estudo conduzido por SOUSA (2020) mostrou que para o açazeiro em terra firme, a necessidade térmica total varia entre 4.355,13 e 4.724,73 °C dia<sup>-1</sup>, com necessidade térmica média de 1.069,44 °C dia<sup>-1</sup> para o estágio de pré-floração, de 395,69 °C dia<sup>-1</sup> para a floração, de 1.901,87 °C dia<sup>-1</sup>. Para o estágio de fruto verde, de 913,04 °C dia<sup>-1</sup> para o estágio de fruto preto e de 265,94 °C dia<sup>-1</sup> para a maturação.

### 2.1.3 Importância Socioeconômica

A Amazônia apresenta uma grande variedade de espécies de frutas com potencial de exploração econômica, dentre eles o açazeiro. Nos últimos anos a frutífera ganhou grande destaque pela forte demanda do mercado interno e externo, devido ao aumento do consumo do suco advindo da polpa extraída e comercializada, além de possuir propriedades nutritivas e qualidade energética (NOGUEIRA; SANTANA, 2016). Para mais, o fruto apresenta elevado teor calórico, alto teor de antocianina, antioxidante natural que representa uma característica pedida pelo mercado internacional de polpa, provocando uma crescente importância econômica, social e ambiental para as regiões produtoras, tendo em vista que a conquista de novos mercados garante emprego e renda (OLIVEIRA; FARIAS NETO; QUEIROZ, 2014; D'ARACE et al., 2019; SIQUEIRA et al., 2020).

Essa procura de produtos proveniente dos açazeiros contribuiu para o avanço de pesquisas, com o intuito de aumentar a produção e buscar alternativas de maximizar a produtividade, e assim atender as expectativas atuais e futuras do mercado (NOGUEIRA et al., 2016). Desse modo, o açazeiro foi domesticado, tendo o seu cultivo explanado em solos de terra firme, porém, ainda assim, as maiores concentrações de produção continuam sendo em áreas de várzea (FURLANETO; SOARES; FURLANETO, 2020).

Nesse contexto, as áreas destinadas à plantação, colheita do açáí pelo Brasil cresceram, só a região Norte teve a produção de 1.471,025 toneladas em 2021, e cerca de 208.301 hectares destinados aos açazeiros, sendo considerada principal responsável por maior parte produção

(IBGE, 2021). No Amazonas, e no Pará, o açaí representa importância social, econômica e ambiental, pois é o símbolo da tradição alimentar (MELO et al., 2021). Com relação à 2020 e 2021, o estado do Pará se destaca em cenário nacional como o maior produtor de açaí com 1.389,941 e 1.388,116 toneladas (IBGE, 2020; IBGE, 2021). Esse aumento é decorrente aos avanços tecnológicos, e saída de um sistema totalmente extrativista para um mais amplo, com manejo adequado da frutífera por meio de irrigação e condições nutricionais boas advindas da adubação, mantendo um rendimento da cultura. Além disso, a espécie é nativa da região onde o clima é propício para suas concentrações. (SILVA et al., 2020).

## 2.2 Cupuaçuzeiro

### 2.2.1 Origem e Classificação Botânica

O cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum.) também é originário da Amazônia, pertence à família Malvaceae, em condições naturais pode atingir até 30 m de altura. A frutíferas se destaca na Amazônia como uma das mais atrativas pelas características de seu fruto, como sabor, aroma e polpa (FERREIRA; SANTOS; BRAGADO, 2021). Assim, representa grande importância socioeconômica para a região Norte, devido a sua boa produtividade, em razão da quantidade de massa e principalmente a destinação para o consumo no mercado de polpas (SILVA et al., 2016; SILVA et al., 2020).

A espécie pode ser encontrada em vários tipos de solos, com predominância nos de baixa fertilidade natural, além disso, desenvolve-se bem em condições de sombreamento, sendo utilizada fortemente em consórcios com açaizeiros, pupunheiras e outras frutíferas (SILVA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021; SOUZA, 2021).

O cupuaçuzeiro é uma palmeira tropical perene, pertencente ao gênero *Theobroma* e a família Malvaceae, possui porte arbóreo, com altura variando entre 15 a 20m com ramificações. Possui sistema radicular pivotante, folhas simples, e flores hermafroditas. Seu fruto é conhecido como cupuaçu, é do tipo baga, apresentando formato alongado e arredondado nas extremidades, casca lenhosa, polpa ácida e mucilagínosa de cor branca ou amarelada (CARVALHO et al., 2004; DIAS et al., 2019).

### 2.2.2 Exigências Climáticas

O cupuaçuzeiro se desenvolve bem em clima tropical, sendo seu cultivo bem sucedido em diversas regiões do Brasil. Desse modo, a frutífera tem melhor desempenho em condições de temperatura média anual de 21,6 °C a 27,5 °C, com umidade relativa do ar entre 77 % a 88 % e regime pluviométrico entre 1.900 mm e 3.100 mm, característica presente principalmente na região Norte (EMBRAPA, 2008). De modo geral, as frutíferas amazônicas necessitam de

um suprimento hídrico elevado. Dessa forma, o cultivo de cupuaçu é favorecido em locais com um suprimento alto de precipitação, ou que disponham de irrigação para repor a água ao solo. Sendo assim, elevados índices de temperatura somados a poucos índices pluviométricos ocasionam deficiência hídrica no solo que prejudicam o desenvolvimento da cultura do cupuaçu (TEIXEIRA et al., 2020).

Além disso, outra variável de importante compreensão para o cultivo de cupuaçu é a temperatura, pois possibilita entender as exigências térmicas da cultura, já que todas as plantas apresentam temperaturas basais superiores e inferiores, revelando diferentes valores para cada fase fenológica. Desse modo, no cultivo de cupuaçuzeiro em estágio de floração, a temperatura basal inferior é de 10,50 °C e 8 °C para a frutificação. Já na temperatura basal superior foi visto com 34 °C para floração e 36 °C para a frutificação (CUNHA; TAVARES, 2020)

### 2.2.3 Importância econômica

O cupuaçuzeiro é considerado uma das espécies nativas mais relevantes para a região Amazônica, sendo designada em maio de 2008 como fruta nacional pela Lei 11.675, isso dá, devido à dupla aptidão no mercado de polpa e sementes, mas o grande destaque advém, principalmente, do destino da polpa para o uso na indústria alimentícia, na fabricação de sorvetes, doces, sobremesas, chocolate e artesanatos (NUNES et al., 2019; TEIXEIRA et al., 2020).

Para o Norte, compõem a fonte de renda e a frutífera influência diretamente na alimentação local, por isso tem mercado prosperante. Em 2022 a área destinada a produção foi expressiva, o Estado do Pará, por exemplo, produziu 28.818 toneladas de cupuaçu (SEDAP, 2022). Justificado em decorrência da importância socioeconômica e da boa aceitação pelo País, tendo assim, os plantios comerciais cada vez mais expandidos em mercado nacional, destinado ao uso do fruto para o processamento da polpa. Além de tudo, a frutífera é ótima no sistema consorciado, tolera o sombreamento e gera retorno relativamente rápido com produtos apreciados (COSTA et al., 2022; MATA et al., 2022).

A grande relevância do mercado na região Norte, dá a frutífera o alto potencial de ser cada vez mais disseminado para outros estados devido a suas características produtivas. Uma vez que o fruto denominado cupuaçu apresenta ótima palatabilidade, boa qualidade e alto rendimento, sendo estas as principais características para seu aproveitamento na culinária, principalmente de doces e sucos, além de ser fonte de vitaminas (FREITAS et al., 2018).

## 2.3 Coqueiro Anão Verde

### 2.3.1 Origem e Classificação Botânica

Uma hipótese da origem do coqueiro é que ele tenha sido originado do Sudeste Asiático, principalmente nas ilhas entre os oceanos Índico e Pacífico (LODY, 2019). No Brasil, a frutífera é distribuída em várias regiões, concentrando-se principalmente no Nordeste, local onde esta foi introduzida a primeira vez durante a colonização, tornando-se um dos principais produtos para a cultura Brasileira (BIAGOLINI, 2017).

É uma planta de ampla distribuição geográfica, ciclo precoce onde o início da produção. Desse modo, por se desenvolver bem, apresentar características boas para o setor produtivo e ter valorização dos seus subprodutos, o cultivo da planta no Brasil foi amplamente cultivado (BENASSI et al., 2007).

O coqueiro-anão-verde (*Cocos nucifera* L.) é uma monocotiledônea pertencente à família Arecaceae, uma das mais importantes para a economia, cresce entre 10 a 15 metros (CARVALHO et al., 2008). Possui sistema radicular fasciculado, constituído por raízes primárias com pouca capacidade de absorção, originando assim as raízes secundárias, terciárias e as radículas que apresentam a função principal de absorção de água e nutrientes (SOBRAL, 2009). Apresenta folha penada, sua inflorescência é uma panícula formada por pedúnculo e espigas protegida por uma bráctea, formando a espata. O caule é do tipo estipe, desenvolvido e resistente, seu fruto é denominado de drupa, agrupados em cachos. (BENASSI et al., 2014).

### 2.3.2 Exigências Climáticas

Esta palmeira é altamente adaptada a climas quentes, típicos de regiões tropicais com média anual entre 22°C a 34°C, requer pouca variação de temperatura, sabendo que as inferiores comprometem o desenvolvimento e produção dos frutos da cultura, justamente por ocasionar desordem fisiológica. Além disso, para obter um bom desenvolvimento vegetativo e boa produtividade, são necessárias precipitações de 1.500 mm anuais, com médias mensais acima de 130 mm (GALVÃO, 2000).

A planta se adapta ao clima de quase todas as regiões do Brasil, com limitações na maior parte da região Sul e em outros locais onde as baixas temperaturas (inferiores a 15 °C em alguns períodos do ano) comprometem o sistema fisiológico do coqueiro (EMBRAPA, 2018).

A frutífera está em alto nível de exploração comercial, e a aplicação de irrigação é uma prática de suma importância para o bom desempenho da frutífera, devido ao déficit hídrico no solo que pode haver nas diferentes regiões, ocasionado pela má distribuição das precipitações ao longo das estações do ano. Essa condição presente em alguns períodos, propicia a baixa

produtividade do coqueiro, sendo considerado um dos principais problemas inerentes ao seu cultivo. Em razão disso o uso de cobertura morta e plantas rasteiras são utilizadas em conjunto nas entrelinhas da cultura, a fim de minimizar as perdas de água por evaporação (SOUZA, 2020).

### 2.3.3 Importância Socioeconômica

A cocoicultura exerce um papel importante no ramo econômico no Brasil, principalmente na região Norte e Nordeste, isso porque há grande consumo do coco verde nestas regiões. Soma-se a isso, as propriedades nutritivas e reidratantes contidas na água de coco contribuindo para seu elevado consumo e comercialização, justamente por ser uma opção saudável (MARTINS et al., 2016). Com isso, a produção no país, geralmente é destinada para coco seco, óleos, produtos industrializados, destacando-se a produção de água de coco, uma das mais requisitadas (MARTINS; BARROS; RODRIGUES, 2016).

O grande destaque da cultura do coqueiro, devido aos seus produtos, fez com que o Brasil expandisse os investimentos (SILVA; MANOS, 2018). Só no Pará foram produzidas 167,646 toneladas de coco (IBGE, 2022), pois apresenta destaque, uma vez que o estado tem potencial de cultivo, econômico e cultural para a região Norte. Sua importância se dá desde a manutenção dos ecossistemas amazônicos até as oportunidades de geração de fonte de renda para população (SOUZA; LIMA, 2019). Confirmando o que diz o trabalho de Peiris; Thattil; Mahindapala, (1995) e Cintra et al., (2009), onde pontuam que o coqueiro é uma das culturas agrícolas mais importantes para as pessoas que vivem nas regiões tropicais úmidas do mundo, tendo importância alimentar, socioeconômica, agronômica e agroindustrial.

## 2.4 Água no Solo

A água é um recurso de extrema importância para o equilíbrio do planeta e desenvolvimento das plantas, pois atua em várias etapas fisiológicas, como na fotossíntese, transporte e absorção de nutrientes, sendo, portanto, um recurso indispensável para o desenvolvimento dos vegetais dentro da agricultura. Desse modo, seu uso deve ser equilibrado, já que grande parte da água é utilizado em diversos segmentos do campo, especialmente para o manejo de irrigação, um dos processos que mais utiliza água e um dos mais importantes (FOLEY et al., 2011; CAMPOS; SANTOS; NACARATH, 2021).

A quantidade de água no solo e sua disponibilidade depende do tipo de solo local, arenoso, siltoso, argiloso e suas características específicas, tais como textura, porosidade, idade, matéria orgânica (M.O). Em solos argilosos, por exemplo, a quantidade de água disponível é maior que em solos arenosos, tendo em vista que neste segundo há percolação vertical e

horizontal da água com maior velocidade, por não possuir micróporos que retém a água (SILVA et al., 2021). No que se refere aos fatores do solo que interferem na evaporação, tem-se a estrutura, a densidade, a porosidade e a condutividade hidráulica não saturada que são os mais importantes e afetam o teor de umidade e o fluxo de água no perfil do solo.

Nesse contexto, a precipitação é um elemento climático presente e formado na atmosfera, que disponibiliza água ao solo pela ocupação de seus espaços porosos que contenham ar. Este elemento ocasiona variação do armazenamento e é totalmente dependente das condições meteorológicas, da topografia local, dos aspectos físicos e da cobertura vegetal do dossel (ALVES et al., 2020). A absorção da solução do solo pelas raízes das plantas é um processo que envolve a fisiologia da planta e as questões edafoclimáticas, onde a solução absorvida pela raiz é carregada via xilema, parte da água envolta é perdida no processo de transpiração pelos estômatos das folhas, criando assim uma pressão hídrica negativa, que para balancear a planta precisa absorver mais água. Essa mensuração é dada por meio da evapotranspiração, que é o conjunto de evaporação mais transpiração, ocasionados pela demanda atmosférica com seu gradiente de pressão, e assim a água disponível armazenada no solo, irá evaporar ou será aproveitada pelas plantas e posteriormente levada para atmosfera reiniciando um novo ciclo (TAIZ et al., 2017).

## **2.5 Evaporação da Água no Solo**

Sabe-se que a água é um dos elementos essenciais indispensáveis, pois está presente em todos os processos biofísicos do planeta, e para os mais variados usos (ALVES, 2013). Dessa maneira, a evaporação da água no solo (EAS) faz parte de um ciclo do sistema, no qual a água contida realiza movimento ascendente devido ao calor irradiado pelo sol, onde uma parte da água advinda da precipitação fica retida no solo, que funciona como armazenador, e passa a ser disponibilizada para as plantas. O restante sai por escoamento lateral, superficial ou vertical e evapora (SILVA, 2019).

Pontua-se que a evaporação de água no solo (EAS) é um processo controlado pelas leis físicas, está ligada a fatores, como as condições atmosféricas, hidrogeológicas ambiental, propriedades hidráulicas do solo e profundidade do lençol freático (CHEN et al., 2018)

A ocorrência do EAS é dada pelo fornecimento de energia, advinda da radiação solar, e aumento da temperatura do ar e de uma superfície irradiada, de modo a favorecer a conversão da água líquida em vapor d'água. Para isso, é necessário um contínuo suprimento de energia; gradiente de umidade entre a superfície evaporativa e a superfície adjacente e suprimento de água (BARBIERI et al., 2005; BORMA; JUNIOR; LUIZ 2015). Essa perda direta da água para

atmosfera por meio da evaporação é um dos componentes do balanço hídrico mais significativo (RAZ-YASEEF; ROTENBERG; YAKIR, 2010).

A água evaporada é uma variável inutilizável para a planta e dependendo do seu valor pode diminuir ainda mais a produtividade, pois se trata de uma quantidade que retorna para a atmosfera e não auxilia nos processos fisiológicos da planta. A sua quantificação é necessária, pois há interação do solo com a planta e com a atmosfera que em diversos estudos é preciso investigar, especialmente relacionados ao balanço hídrico, irrigação, eficiência do uso da água e a partição dos componentes da evapotranspiração no qual a evaporação interfere diretamente (DAAMEN; SIMMONDS; SIVAKUMAR, 1995; ALLEN et al., 1998; FLUMIGNAN; FARIA; LENA, 2012). Ademais, mensurar tal variável implica em economia para o produtor e menor impacto sobre o meio ambiente, tendo em vista que o manejo de irrigação reduz riscos de produção e será baseado em função da perda de água do solo, implicando no maior aproveitamento do recurso (ZWIRTES et al., 2015).

Pontua-se também que a variável depende da quantidade de radiação solar que atinge a superfície, influenciado pelas características e manejo de um determinado tipo de solo, além das interações ambientais presentes no local, como por exemplo, a cobertura existente. Apesar de todas essas características estarem presentes dentro do quadro de EAS, a disponibilidade de energia advindas da radiação solar, a temperatura, umidade, velocidade do vento e a água são os fatores predominantes que regulam todo o processo (PEREIRA; PRUSKI; RAMOS, 2009; ALVES, 2020). Contudo, a frequência que uma área é sombreada, somadas as diversas características do solo e sua cobertura com o tempo que a área permanece umedecida, também influenciam diretamente na EAS (KLOCKE et al., 1990).

A evapotranspiração, por sua vez, é um processo natural dentro do ciclo da água, onde é medida a partir da evaporação da água do solo simultaneamente com a transpiração das plantas. O que viabiliza a identificação da quantidade de água mandada para a atmosfera. Nesse sistema, como já mencionado, a radiação solar é a principal fonte de energia, e está inteiramente ligada a precipitação, evaporação da água do solo e transpiração das plantas (SILVA et al., 2010).

## **2.6 Métodos de Quantificação de Evaporação da água no solo**

Lisímetria, é um sistema que permite a quantificação de evaporação direta, são recipientes preenchidos com solo, instalados em campo, junto com sistema de pesagem ou controle de entrada e saída de água, com superfície nua ou coberta por vegetação. Esses sistemas são usados e possibilitam a determinação da evapotranspiração das culturas ou tão

somente para a evaporação do solo, porém é um sistema relativamente oneroso, fazendo com que outras alternativas sejam tomadas para tal verificação (FERREIRA, 2018). Ademais, existem diversos tipos de lisímetros, são eles: drenagem, pesagem e de nível de lençol freático constante. Lisímetros de pesagem é considerado como o melhor equipamento para medir com precisão a evapotranspiração de referência e evapotranspiração de culturas (MARTINS et al., 2017).

Devido ao alto custo, pesquisas desenvolvidas buscaram por alternativas de quantificação, desenvolvendo os microlisímetros para garantirem os estudos sobre a quantidade de água perdida para a atmosfera com baixo custo e praticidade (FRONZA; FOLEGATTI 2003). Os microlisímetros são pequenos tubos preenchidos de solo e instalados ao nível do terreno para quantificar a evaporação por meio da diferença de massa (DAAMEN et al., 1993). Os microlisímetros foram inicialmente testados por Boast; Robertson (1982), que quantificaram as perdas de água do solo com o uso desse aparelho, e desde então os microlisímetros têm sido usados em trabalhos para determinar e quantificar diretamente a evaporação da água no solo sem vegetação ou de solos cultivados onde não são cobertos totalmente pelo dossel da cultura. Porém, em dias de ocorrência de chuva próximas ao horário de verificação dos microlisímetros, a quantificação não é considerada, pois a evaporação é tida como negativa (NETO et al., 2011).

Ressalta-se que é um método eficaz na quantificação dos resultados de evaporação da água no solo, e por esse motivo é utilizado em diversas pesquisas. No trabalho de DALMAGO et al (2010), por exemplo, o método se mostrou eficiente, uma vez que apontou um índice maior de evaporação da água no solo no plantio convencional, pois este não apresenta cobertura do solo, diferentemente do plantio direto, onde se observou que a evaporação foi menor justamente por ter cobertura que impede a incidência direta dos raios solares e ameniza a temperatura do ar, diminuindo assim a perda de água.

## **2.7 Variáveis associadas ao Solo-Planta-atmosfera**

### **2.7.1 Radiação Solar**

A energia solar que chega à superfície é essencial para a ocorrência dos processos fisiológicos existentes nas plantas e físicos do meio ambiente. É um dos fatores mais importantes dentro da evaporação da água no solo além de ser a maior fonte de energia da terra. Dentro desse sistema, há o saldo de radiação ou radiação líquida ( $R_n$ ) que representa o total de energia radiante disponível no sistema após o balanço entre seus fluxos de entrada e de saída. Onde em um ambiente vegetado que mantenham superfícies umedecidas, a maior parcela da

radiação líquida ( $R_n$ ), é convertida em calor latente (LE), seguido pelo calor sensível (H), auxiliando nos processos de sínteses biológicas, na evaporação da água do solo e na transpiração das plantas (ANDRADE et al. 2009; COELHO FILHO, 2011).

### 2.7.2 Solo

O solo é composto pelas frações sólida, líquida e gasosa, sendo comum a utilização do termo apenas para a sua parte sólida. Os atributos que o constituem, influenciam no volume de água que o mesmo é capaz de armazenar, além da resistência e compactação. Desse modo, é importante conhecer sobre suas características e assim direcionar os estudos em relação à disponibilidade hídrica, época e quantidade adequada para irrigação. A água do solo é utilizada para referir-se à solução, onde se encontram dissolvidas em água as substâncias minerais e orgânicas (SANTOS et al., 2019).

### 2.7.3 Índice de área foliar (IAF)

O índice de área foliar (IAF) é uma medida utilizada para as folhas das árvores em estudos de vegetação e ecossistemas. É amplamente definido como a quantidade de área foliar ( $m^2$ ) no dossel por unidade de área terrestre ( $m^2$ ), ou seja, a área total da face das folhas por unidade de área da sombra da copa projetada, de forma perpendicular, na superfície do solo (ASNER; SCURLOCK; HICKE, 2003). O IAF é um número adimensional com relação direta à quantidade de luz. É um parâmetro para se determinar uma série de processos ecológicos e fisiológicos como fotossíntese e evapotranspiração, possibilitando a previsão das taxas de trocas de energia entre vegetação e a atmosfera (ONG, 2003; SHINZATO; DUARTE; YOSHIDA, 2015).

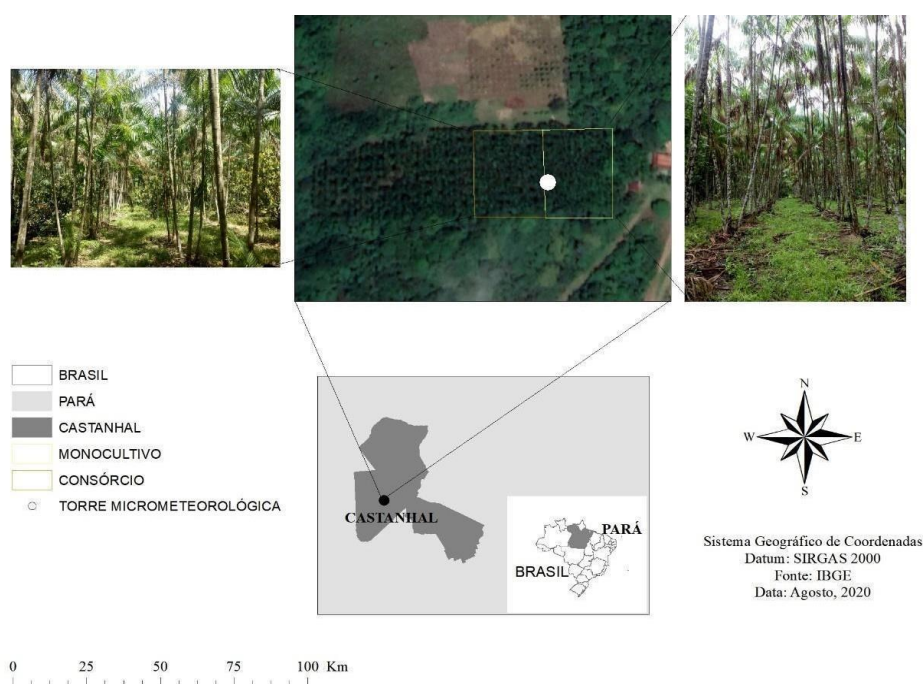
Esse índice pode ser usado para expressar o crescimento ou como regulador de produtividade, pois com o IAF, pode definir a capacidade do dossel de interceptar a radiação solar, convertê-la em matéria seca por meio da fotossíntese e determinar o potencial produtivo. Além disso, o conhecimento da área foliar da planta viabiliza saber a respeito da perda de água do solo para a atmosfera, já que as folhas das plantas proporcionam sombra ao solo, quanto maior as folhas ou a copa das árvores, maior o sombreamento, reduzindo a incidência luminosa que chega ao solo, o que acarreta menor evaporação (FAVARIN et al, 2002; RESENDE et al., 2018).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área Experimental do Açaizeiro

O experimento foi conduzido em um plantio comercial de açaizeiro, com área de aproximadamente 0,60 ha, próximo a Fazenda Escola de Castanhal (FEC), e pertencente à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), localizada no município de Castanhal-PA (1°19'24.48''S e 47°57'38.20''W) (Figura 1). O período avaliado foi entre os meses de maio a dezembro de 2019, em duas áreas de cultivo, sendo estas, de açaizeiro de cultivar BRS-PA (monocultivo) e de açaizeiro em consórcio com cupuaçuzeiro (cultivar BRS-Carimbó), ambos divididos em áreas iguais de aproximadamente 0,30 ha.

**Figura 1-** Localização da área experimental, Castanhal-PA.



**Fonte:** Monteiro (2020).

O plantio foi implementado em 2011, portanto, ambas culturas possuíam 8 anos de idade na época do experimento. No ano experimental a altura média do açaizeiro era de 12 m, enquanto o cupuaçuzeiro possuía altura média de 3 m. Na área do monocultivo, a densidade do plantio usada foi de 4x4 m, enquanto no consórcio a densidade foi de 8x8 m entre as plantas de cupuaçu e de 8x4 m entre as plantas de açaí. Para ambos os sistemas de cultivo, o manejo implementado foi de 3 estipes/touceira e ainda foi realizado o controle de plantas daninhas por meio de roçagem.

Conforme a classificação de Köppen-Geiger, o clima na área corresponde ao tipo Am, caracterizado como tropical úmido, com as temperaturas variando entre 23 °C a 31 °C, com

uma média anual de 26,5 °C e a precipitação média anual de 2.432 mm, distribuída em período chuvoso de dezembro a maio e o menos chuvoso de junho a novembro (ALVARES et al., 2014; SOUZA et al., 2017). O solo da área foi classificado como latossolo amarelo de textura franco arenosa (EMBRAPA, 2018). Foram coletadas amostras de solo na área experimental indeformada para análise de atributos físicos e hídricos e amostras deformadas para definir os atributos químicos do solo, nas profundidades de 00-20 cm e 20-40 cm, para a caracterização dos atributos químicos, físicos e hídricos do solo (Tabela 1). As mesmas foram avaliadas no laboratório de física e química do solo da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

**Tabela 1-** Atributos químicos e físicos do solo, em um plantio comercial de açaizeiro, Castanhal-PA.

Atributos Químicos	Açaizeiro		Açaizeiro + Cupuaçuzeiro	
pH (H <sub>2</sub> O)	5,93	5,69	5,32	4,94
MO (%)	1,14	0,91	0,71	0,67
P (mg dm <sup>-3</sup> )	11,37	0,95	0,93	6,85
K <sup>+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,55	0,38	0,25	0,51
Ca <sup>2+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,85	0,35	0,30	0,10
Mg <sup>2+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,50	0,10	0,10	0,10
Al <sup>3+</sup> (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,40	1,10	0,26	0,79
<b>Atributos Físicos e Hídricos</b>				
Areia (%)	86,55	74,01	85,56	89,11
Sílte (%)	9,37	11,13	9,55	3,08
Argila (%)	4,08	14,86	4,89	7,82
Ds <sup>1</sup> (g cm <sup>-3</sup> )	1,55	1,63	1,42	1,89
θ CC <sup>2</sup> (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0,24	0,32	0,21	0,57
θ PMP <sup>3</sup> (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0,07	0,08	0,06	0,23

<sup>1</sup>Densidade do solo; <sup>2</sup>Teor de umidade na capacidade de campo, <sup>3</sup>Teor de umidade no ponto de murcha permanente.

**Fonte:** Autores.

Durante o experimento, em ambos o sistema de cultivo foi realizado adubação química e orgânica de acordo com a demanda da cultura e a análise do solo na área, sendo realizada no período seco (agosto a novembro), com a aplicação de 2,0 kg ano<sup>-1</sup> touceira<sup>-1</sup> de NPK (13N-11P-21K + 2Mg, 0,2B) e 2,0 kg de cama de aviário, distribuídas em 3 aplicações anuais. O sistema de irrigação utilizado foi o de microaspersão, com 1 micro/touceira e localizado a 40 cm de cada touceira, com raio de 5 metros, a pressão de uso foi de 5,5 mca, com uma vazão de 34,00 L h<sup>-1</sup>, coeficiente de uniformidade de 93,12% e eficiência de aplicação 94%.

Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos a partir de uma torre micrometeorológica que foi instalada no centro da área experimental, com 14 m de altura, e que

abrigava uma estação meteorológica automática equipada com sensores descritos na Tabela 2 para a mensuração de temperatura do ar (Tar), umidade relativa do ar (UR), radiação solar global incidente (Rg), velocidade do vento (U) e precipitação pluviométrica (PP). Estes sensores estavam conectados a um datalogger (CR1000, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA) que realiza as leituras a cada 10 segundos e gravava as médias e os totais a cada 20 minutos.

**Tabela 2-** Sensores da torre micrometeorológica, em um plantio comercial de açaizeiro, Castanhal-PA.

Variável meteorológica	Instrumento/Fabricante/Modelo	Nível dos sensores (m)
Temperatura e Umidade Relativa do Ar	Termohigrômetro (HMP155A, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA)	2 acima do dossel
Radiação Solar Global Incidente	Piranômetro (CMP6-L, Campbell Scientific, Instrument, Logan, UT, USA)	2 acima do dossel
Velocidade do Vento	Anemômetro de Cúpula (03002, R. M. YOUNG, Traverse City, MI, USA)	2 acima do dossel
Precipitação Pluviométrica	Pluviômetro (TB4, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA)	2,3 acima do dossel

**Fonte:** Autores.

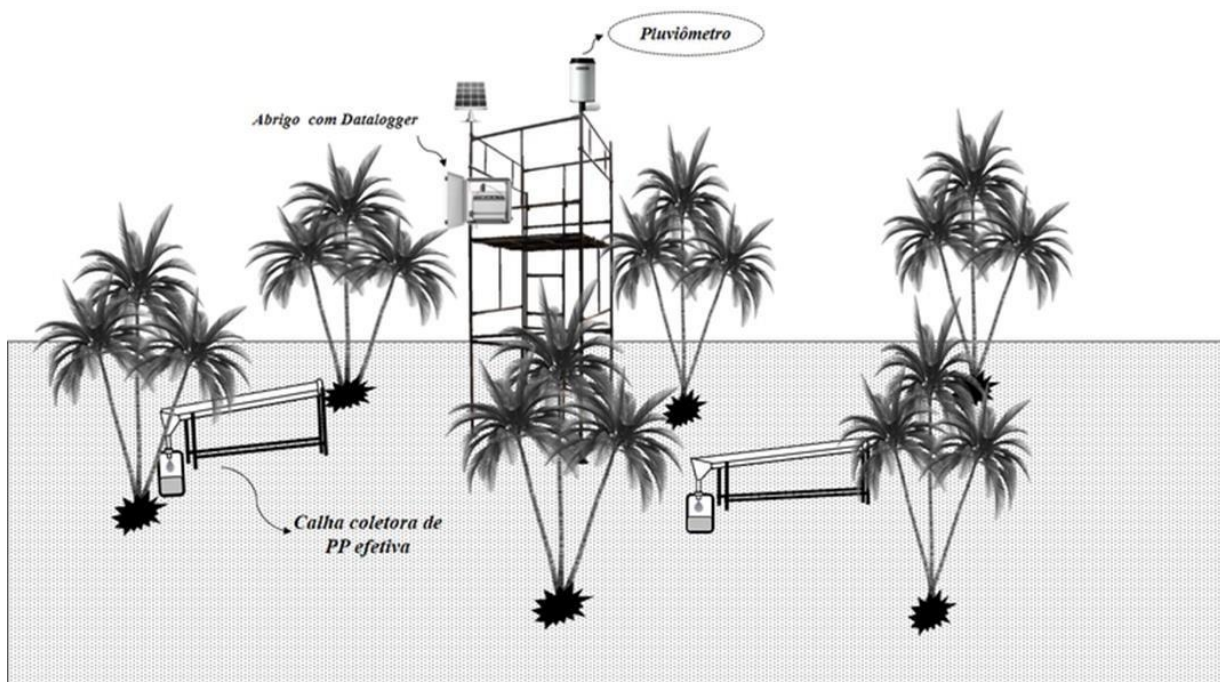
### 3.2 Precipitação efetiva: Açaizeiro

Na área de estudo foi mensurada a precipitação efetiva ( $P_{ef}$ ) por meio de duas calhas instaladas com área de 0,250 m<sup>2</sup> de captação, as mesmas foram dispostas na linha e entrelinhas do plantio (Figura 2), além da coleta de água que escoou pelo tronco da planta (Equação 1).

$$P_{ef} = P_{int} + Ec \quad (1)$$

Em que,  $P_{ef}$  é a Precipitação efetiva (mm);  $P_{int}$  é a Precipitação interna, abaixo do dossel (mm) e  $Ec$  é o escoamento do tronco (mm).

**Figura 2-** Ilustração da torre micrometeorológica e da disposição das calhas coletoras de captação na linha e entrelinha de plantio.



Fonte: Costa (2021).

### 3.3 Teor de umidade de água do solo: Açaizeiro

O teor de umidade de água no solo ( $\theta$ ) foi obtido a partir do uso de tensiômetro de punção, o qual, foram distribuídos em 4 plantas para cada sistema de cultivo (monocultivo e consórcio), sendo avaliado 2 profundidades do solo, 00-10 e 10-20 cm. As coletas foram realizadas com o uso de um tensiômetro digital 3 vezes ao dia (Figura 3). O potencial matricial e os valores de  $\theta$  foram estimados utilizando o modelo ajustado de Van Genuchten (1980) (Equação 2).

$$\phi = (Z + h_1 - L) * 0,0981 \quad (2)$$

Em que,  $\phi$  é o potencial matricial (kPa);  $Z$  é a distância entre a cápsula porosa e a superfície do solo (cm);  $h_1$  é a altura de água acima da superfície no tensiômetro (cm).  $L$  é o valor da leitura do tensiômetro (cca).

Os valores para gerar a curva de retenção nas profundidades analisadas foram obtidas entre as tensões de 0 a 1500 kPa, sendo estes, ajustados pela equação de VAN GENUCHTEN (1980), descrito na Equação 3.

$$\theta = \theta R + (\theta S - \theta R) \cdot \left[ \frac{1}{1 + (\alpha \cdot \psi_m)^n} \right]^m \quad (3)$$

Em que,  $m = 1 - 1/n$  (MUALEM, 1976);  $\theta$  é a umidade volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ );  $\theta_r$  é a umidade residual ( $m^3 m^{-3}$ );  $\theta_s$  é a umidade de saturação ( $m^3 m^{-3}$ );  $\psi_m$  é o potencial mátrico (kPa) e  $\alpha$  e  $n$  são parâmetros do modelo. Para obtenção dos parâmetros  $\theta_r$ ,  $n$  e  $\alpha$  foi utilizado a ferramenta Solver do programa Excel, enquanto o parâmetro  $\theta_s$  foi determinado pela pesagem direta das amostras do solo saturado.

**Figura 3-** Mensuração dos tensiômetro na área experimental de açaizeiro, Castanhal-PA.

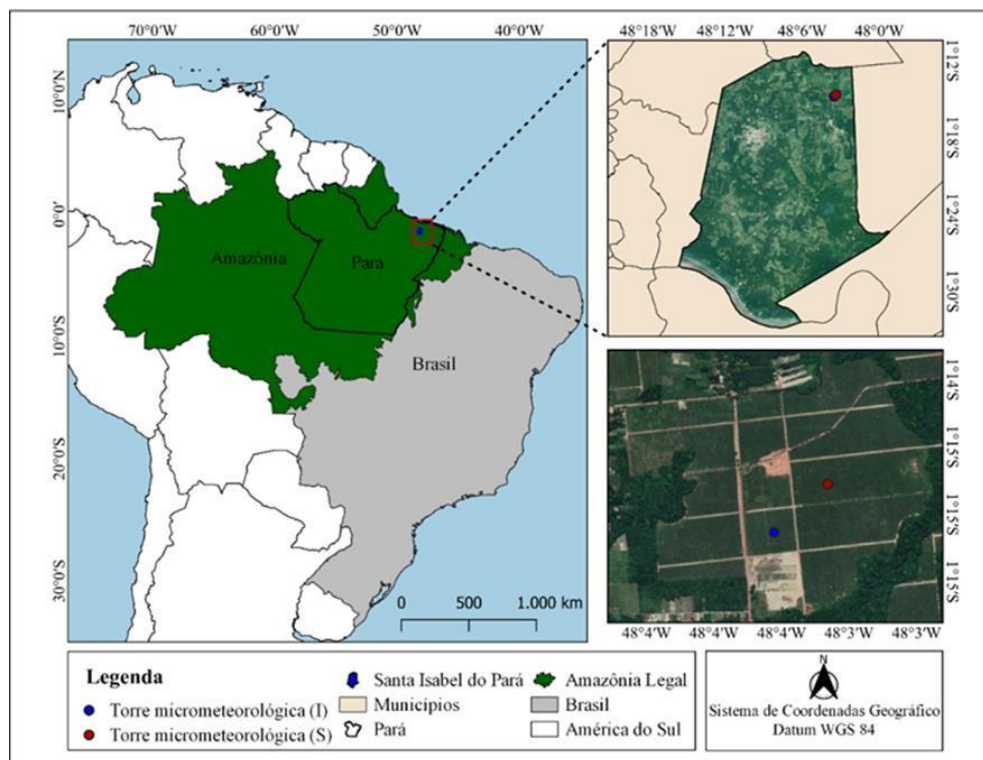


**Fonte:** Autores.

### 3.4 Área experimental do Coqueiro

O experimento com coqueiro foi realizado em um plantio comercial na Fazenda Reunidas Sococo, localizada no município de Santa Isabel do Pará - PA ( $01^\circ 13' 40,35''$  S e  $48^\circ 02' 56,23''$  W) (Figura 4). O período da avaliação foi entre maio de 2021 a outubro de 2022 com plantas de coqueiro-anão-verde (*Cocos nucifera* L.) cultivar anão-verde-do-brasil-de-jiqui (AVeBrJ), distribuídas em duas áreas de estudo, irrigado e sequeiro, de aproximadamente 7 ha.

**Figura 4-** Localização da área experimental e das torres micrometeorológicas da área irrigada (I) e sequeiro (S), Santa Isabel do Pará - PA.



**Fonte:** Fernandes (2022).

Em ambos os sistemas de cultivo (irrigado e sequeiro) as plantas estão no seu quinto e sétimo ano de produção, respectivamente, possuindo em ambos os sistemas altura média de 7,30 m e distribuídas em arranjo triangular de 7,5 m x 7,5 m x 7,5 m, resultando em uma densidade final de 205 plantas ha<sup>-1</sup>. Nos sistemas de cultivo tem-se a cobertura vegetal do solo, com o uso de Puerária (*Pueraria phaseoloides*), uma leguminosa herbácea perene, que foi implantada juntamente ao coqueiro.

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, a região possui clima tropical úmido, do tipo Am, com temperaturas médias anuais de aproximadamente 26°C, umidade relativa do ar próximo de 80% e precipitação pluviométrica média anual acima de 2.000 mm, distribuídas em período chuvoso de dezembro a julho e menos chuvoso de agosto a novembro (ALVARES et al., 2014; SOUZA et al., 2017).

O solo da área foi classificado como Neossolo Quartzarênico de textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2018). Foram coletadas amostras de solo na área experimental indeformada para análise de atributos físicos e hídricos na profundidade de 00-20 e amostras deformadas para definir os atributos químicos do solo, nas profundidades de 00-20 cm e 20-40 cm (Tabela 3).

**Tabela 3-** Atributos químicos e físicos do solo, em um plantio comercial de coqueiro, Santa Isabel do Pará - PA.

<b>Atributos Químicos</b>	<b>00-20 cm</b>	<b>20-40 cm</b>
pH (CaCl <sub>2</sub> )	4,43	41,10
MO (g dm <sup>3</sup> )	8,75	3,25
Carbono Orgânico (g dm <sup>3</sup> )	5,00	2,00
P (mg dm <sup>-3</sup> )	111,92	7,05
K <sup>+</sup> (mmolc dm <sup>-3</sup> )	2,10	0,90
Ca <sup>2+</sup> (mmolc dm <sup>-3</sup> )	10,70	4,00
Mg <sup>2+</sup> (mmolc dm <sup>-3</sup> )	5,50	2,30
H <sup>+</sup> Al <sup>3+</sup> (mmolc dm <sup>-3</sup> )	33,70	32,70
<b>Atributos Físicos e Hídricos</b>		
Areia (%)	70,00	-
Sílte (%)	12,00	-
Argila (%)	18,00	-
θ CC <sup>1</sup> (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0,195	-
θ PMP <sup>2</sup> (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0,098	-

<sup>1</sup>Teor de umidade na capacidade de campo, <sup>2</sup>Teor de umidade no ponto de murcha permanente.

**Fonte:** Autores.

A área experimental foi preparada com 1 aração e 2 gradagens, seguida de calagem com 2 toneladas por hectare de calcário dolomítico. O manejo de adubação é realizado 2 vezes ao ano nos meses de julho e dezembro, de acordo com a recomendação e metodologia proposta por Lins e Viégas (2008). O sistema de irrigação utilizado foi de microaspersão, com 1 micro/planta (autocompensante), com vazão de 96,00 L h<sup>-1</sup>, coeficiente de uniformidade de 96% e eficiência de aplicação 86%.

Os dados meteorológicos foram coletados a partir de torres micrometeorológicas instaladas em cada tratamento (irrigado e sequeiro) com 12 m de altura e equipada com os sensores descritos na Tabela 4, para mensurar a temperatura do ar (Tar), umidade relativa do ar (UR), radiação solar global incidente (Rg), velocidade do vento (U), umidade do solo (θ) e precipitação pluviométrica (PP). Os sensores foram conectados em um sistema de armazenamento de dados datalogger CR 10x (Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, EUA) e a programação foi configurada para efetuar leituras instantâneas a cada 30 segundos e gravação de médias e totais a cada 20 minutos.

**Tabela 4-** Sensores para cada torre micrometeorológica instalada em cada tratamento, em um plantio comercial de coqueiro, Santa Izabel do Pará - PA.

Variável meteorológica	Instrumento/Fabricante/Modelo	Nível dos sensores (m)
Temperatura do ar e Umidade relativa do ar	Termohigrômetro (MeteoTemp, Barani Design Technologies, USA)	2,1 acima do dossel
Radiação Solar Global Incidente	Piranômetro (CMP6, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA)	2,1 acima do dossel
Velocidade do Vento	Anemômetro (05106, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA)	2,1 acima do dossel
Umidade do Solo	Reflectômetro do conteúdo de água (CS615, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA)	0,1 e 0,2 abaixo do solo
Precipitação Pluviométrica	Pluviômetro (TB4, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA)	2,3 acima do dossel

Fonte: Autores.

### 3.5 Índice de área foliar: Puerária

A determinação do índice de área foliar (IAF) da puerária, foi realizada através do método dos discos (BENINCASA, 2003). As amostras eram coletadas mensalmente, em que, selecionava-se 6 pontos aleatórios demarcados em 1 m<sup>2</sup> em cada tratamento (irrigado e sequeiro) na entrelinha de cultivo. A partir disso, em cada ponto de amostra eram coletados 10 discos das folhas e todas as folhas da respectiva amostra. Os materiais coletados foram pesados em uma balança analítica e levados à estufa em temperatura de 70°C por 48 horas, após esse período as amostras foram pesadas novamente para se obter o peso seco de discos e folhas, e a partir desses valores foi estimado a área foliar a partir das Equações 4, 5 e 6.

$$AD = (\pi * R^2) * ND \quad (4)$$

$$AF = \frac{AD*(PD+PF)}{PD} \quad (5)$$

$$IAF = \frac{AF}{AS} \quad (6)$$

Em que AD é a área do disco da folha; ND é o número de discos; AF é a área foliar; PD é o peso seco dos discos; PF é o peso seco das folhas; IAF é o índice de área foliar e AS é a área de ocupação da planta no solo, que foi atribuído com à área de demarcação da amostra (1 m<sup>2</sup>) devido ao fato de ser uma planta de hábito trepadeira, sendo assim, de difícil delimitação de seu espaçamento.

### 3.6 Índice de área foliar: Coqueiro

A determinação do IAF do coqueiro foi estimada a partir de mensurações realizadas em 6 plantas por tratamento (irrigado e sequeiro), sendo selecionadas 2 folhas do terço médio do coqueiro. A área foliar foi determinada seguindo a metodologia proposta por (FRIEND; CORLEY, 1994), na qual, após a seleção das folhas foi contabilizado o número de folíolos de apenas um lado, assim como, foram mensurados o comprimento e a largura de dois folíolos de cada lado da folha, no ponto onde a superfície plana superior da raque termina e a raque se torna semelhante à um triângulo em cruz de seção, a partir dos valores coletado foi determinado o IAF por meio das Equações 7 e 8.

$$AF = 2 * k * N * l * b \quad (7)$$

$$IAF = \frac{AF * NF}{DP * DL} \quad (8)$$

Em que, AF é a área de uma folha; k é uma constante que relaciona a área verdadeira com a estimativa; N é o número de folíolos; l é a média do comprimento entre os folíolos medidos (m); b é a largura média do comprimento entre os folíolos medidos (m); NF é o número de folhas da planta; DP é a distância entre plantas e DL é a distância entre linhas.

### 3.7 Déficit de pressão de vapor

Para definir a demanda atmosféricas das áreas estudadas foi calculado o déficit de pressão de vapor (DPV) pela metodologia proposta por TETENS (1930), a partir dos dados de temperatura do ar e umidade relativa (Equações 9, 10 e 11).

$$es = 0,611 * 10^{\frac{7,5 * Tar}{237,3 + Tar}} \quad (9)$$

$$ea = \frac{es * UR}{100} \quad (10)$$

$$DPV = es - ea \quad (11)$$

Em que, es é a pressão de saturação de vapor de água (kPa); ea é a pressão parcial do vapor d'água (kPa), Tar é a temperatura média do ar (°C) e UR é a umidade relativa do ar (%).

### 3.8 Evapotranspiração de referência

Para determinação da ET<sub>0</sub> foi utilizada a equação de Penman-Monteith proposta por Allen et al (1998) (Equação 12). Os dados utilizados para estimar a ET<sub>0</sub> na área experimental de açazeiro foram adquiridos a partir da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (1.30°S, 47.95°W) do município de Castanhal, enquanto para

determinar a ET<sub>0</sub> da área do coqueiro, os dados utilizados foram obtidos a partir de uma estação meteorológica automática de superfície presente na sede da empresa Sococo.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left( \frac{900U_2}{T_{ar} + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34U_2)} \quad (12)$$

Em que ET<sub>0</sub> é a evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>); R<sub>n</sub> é o saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); G é o fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); T<sub>ar</sub> é a temperatura média do ar (°C); U<sub>2</sub> é a velocidade do vento (m s<sup>-1</sup>); e<sub>s</sub> é a pressão de saturação de vapor (kPa); e<sub>a</sub> é a pressão de vapor do ar (kPa); Δ é a declinação da curva de saturação do vapor da água à temperatura do ar (kPa °C<sup>-1</sup>); γ é a constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>).

### 3.9 Evaporação da água do solo

A evaporação da água no solo foi mensurada com microlisímetros de PVC instalados na área experimental, seguindo a metodologia proposta por FLUMIGNAN; FARIA; LENA (2012). O conjunto do microlisímetros é composto por tubos de PVC de esgoto que possuem 100 mm de diâmetro, com 150 mm de profundidade e 2,5 mm de espessura de parede.

A instalação dos microlisímetros consistiram do preenchimento do tubo de 100 mm com monólito de solo, adquirido a partir da introdução do tubo no solo, com o auxílio de uma marreta usada com movimentos leves acima de uma pequena placa de madeira, de forma a não danificar o micromilímetro e o monólito de solo. Após esse processo o micromilímetro foi retirado do solo, de forma a preservar a estrutura do solo no interior do tubo. Na base do microlisímetro foi colocado uma tela de nylon de malha fina, para evitar a perda de solo, a tela foi presa por meio de abraçadeira de plástico. A água drenada no interior do microlisímetro era armazenada no CAP, colocado na base do tubo PVC. Feito isso, foi colocado no mesmo ponto o envoltório do microlisímetro (tubo de 150 mm). As instalações de microlisímetros foram feitas na linha e entrelinha de plantio (Figura 5).

**Figura 5-** Componentes de um sistema de microlisímetros, instalados nas áreas experimentais.



(A) Tecido para evitar a perda de solo; (B) CAP; (C) Microlisímetro e (D) Microlisímetro Instalado no Solo.

**Fonte:** Autores.

No experimento com açaizeiro, foram instalados dois microlisímetros por planta, sendo um na linha e um na entrelinha, dessa forma, totalizando dezesseis microlisímetros na área experimental, distribuídos em oito por sistema de cultivo (monocultivo e consórcio), sendo quatro por tratamento (irrigado e sequeiro). As leituras foram realizadas em campanhas de duração de uma semana, com leituras diárias pela manhã, com o auxílio de uma balança comum (precisão de 0,01g).

Quanto ao experimento no cultivo de coqueiro, em cada tratamento havia quatro plantas sendo analisadas, cada uma com quatro microlisímetros, sendo dois na linha e dois na entrelinha, totalizando dezesseis microlisímetros por tratamento, sendo assim, ao todo foram instalados trinta e dois microlisímetros. As leituras foram realizadas diariamente, de segunda-feira a sexta-feira, durante a manhã, com o auxílio de uma balança comum (precisão de 0,01g).

A evaporação da água no solo (EAS) foi calculada de acordo com a equação proposta por FLUMIGNAN; FARIA; LENA (2012) (Equação 13).

$$EAS = \frac{\Delta_{ML}}{A_{ML}} + ((P + I) - CAP) \quad (13)$$

Em que, EAS é a evaporação da água do solo, medida com o microlisímetro (mm),  $\Delta_{ML}$  é a variação de massa do microlisímetro (kg),  $A_{ML}$  é a área superficial do microlisímetro com um valor de 0,00785 m<sup>2</sup>, P é o valor de precipitação (mm), I é o valor da irrigação e o CAP é o valor de água drenada pelo microlisímetro (mm).

Aos valores de EAS que foram superestimados (superiores à ET<sub>0</sub>), assim como para os dias que não foram feitos a mensuração dos microlisímetros devido a inviabilidade de entrada na empresa Sococo em dias não úteis, realizou-se substituição dos dados superestimado e

preenchimento dos dias faltantes através de análise de regressão linear simples utilizando a ET0.

### **3.10 Análise Estatística**

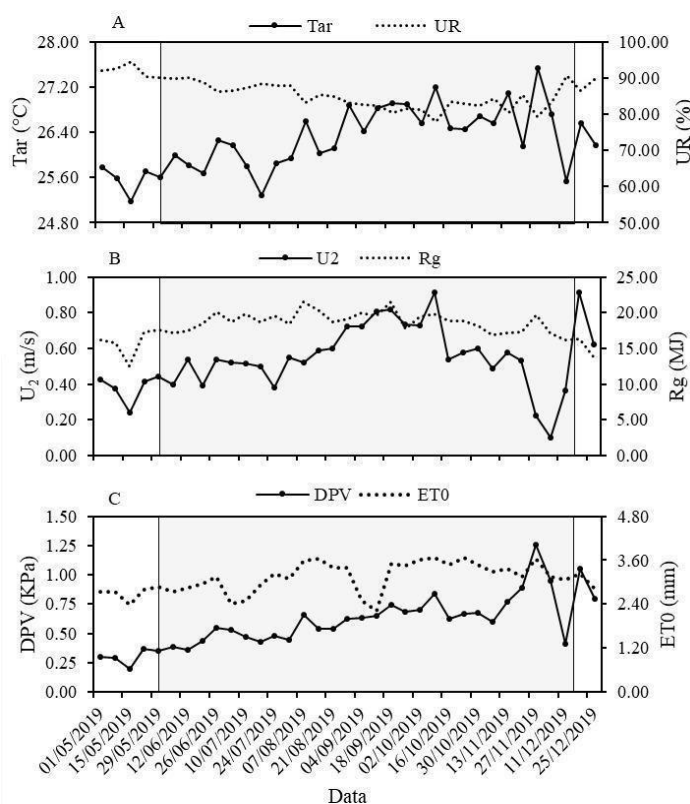
O delineamento experimental para ambos experimentos foi o inteiramente casualizado (DIC), com dois tratamentos (irrigado e sequeiro), e as repetições consistiram nos dados pontuais diários. Os dados coletados foram organizados e tratados no software Microsoft Excel 2019, assim como, submetidos a análises estatísticas descritivas. Os resultados foram divididos e analisados em dois períodos, chuvoso e menos chuvoso.

Feito isso, foram submetidos à análise de variância (ANOVA), tendo como fatores, cultivo (monocultivo e consórcio), tratamento (irrigado e sequeiro) e local (linha e entrelinha). Para os dados do coqueiro foi aplicado o fatorial duplo, com os fatores tratamento e local, enquanto para os dados do açazeiro foi o fatorial triplo, com os fatores cultivo, tratamento e local. Aos resultados significativos ( $p < 0,05$ ) procedeu-se teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do software R 4.2.1 (R Core Team, 2022).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir dos dados coletados da torre micrometeorológica instalada no cultivo de açazeiro durante o período experimental (maio a dezembro de 2019), obteve-se, a média da temperatura do ar (Tar) foi de 26,26 °C ( $\pm 0,57$ ), com valor máximo de 27,53 °C no mês de novembro e mínimo de 25,18 °C no mês de maio. A umidade relativa do ar (UR) apresentou média de 85,80% ( $\pm 4,09$ ), com máxima de 94,50% no mês de maio e mínimo de 77,88% no mês de outubro (Figura 6A). A velocidade do vento (U) obteve média de 0,54 m s<sup>-1</sup> ( $\pm 0,18$ ) com valor máximo de 0,92 m s<sup>-1</sup> no mês de outubro e valor mínimo de 0,10 m s<sup>-1</sup> no mês de dezembro. Para a radiação solar global (Rg) obteve-se média de 18,17 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> ( $\pm 1,92$ ), com máxima de 21,52 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> no mês de agosto e mínima de 12,51 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> no mês de maio (Figura 6B).

**Figura 6-** Valores médios semanais de temperatura média do ar (Tar) (A), umidade relativa do ar (UR) (A), velocidade do vento (U) (B), radiação solar global (Rg) (B), déficit de pressão de vapor (DPV) (C) e evapotranspiração de referência (ET0) (C), na área experimental com açaizeiro. Área sombreada é referente ao período menos chuvoso.

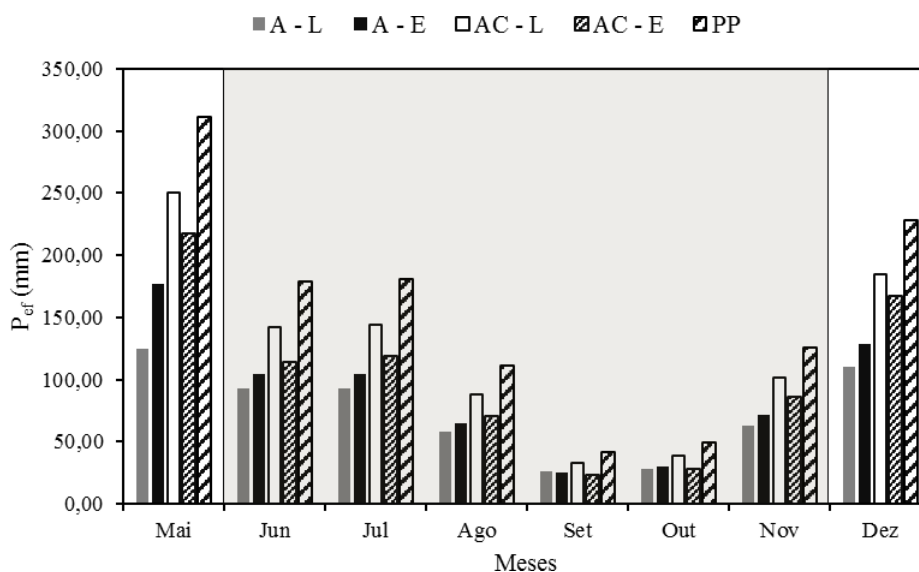


**Fonte:** Autores.

O déficit de pressão de vapor (DPV) apresentou média de 0,60 kPa ( $\pm 0,23$ ), com valor máximo de 1,25 kPa no mês de novembro e mínimo de 0,20 kPa no mês de maio. A evapotranspiração de referência (ET0) apresentou média de 3,11 mm ( $\pm 0,41$ ) com máxima de 3,68 mm no mês de outubro e mínima de 2,21 mm no mês de setembro (Figura 6C).

Os totais de  $P_{ef}$  para todo período experimental foi de 595,68 mm para a linha e 704,91 mm na entrelinha, no monocultivo. Na área em consórcio, a  $P_{ef}$  total foi de 980,49 mm para a linha e 825,42 mm para entrelinha. Em ambos sistemas, os maiores totais mensais foram no mês de maio, com variação de 124,86 a 250,56 mm e os menores no mês de setembro, variando de 23,59 a 32,38 mm. A PP total da área experimental acima do dossel das plantas durante todo o período de estudo foi de 1.227,58 mm, com maior valor mensal de 311,16 mm no mês de maio e menor valor de 41,94 mm no mês de setembro (Figura 7).

**Figura 7-** Precipitação Efetiva (Pef) e Pluviométrica (PP) mensal nos sistemas de cultivo na linha (L) e entrelinha (E). Área sombreada é referente ao período menos chuvoso.

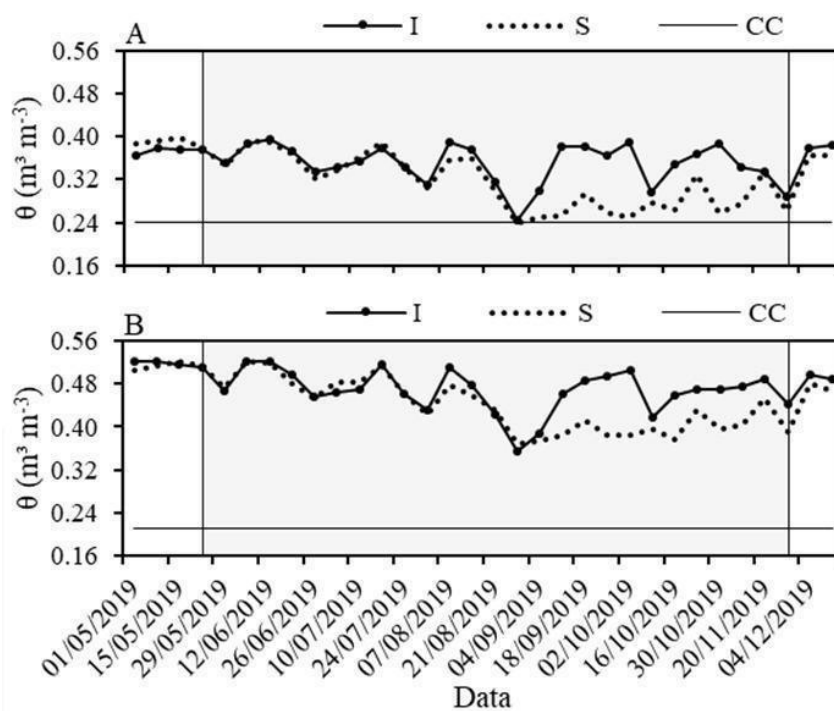


A - L: Açaizeiro Linha; A - E: Açaizeiro Entrelinha; AC - L: Açaizeiro e Cupuaçuzeiro Linha; AC - E: Açaizeiro e Cupuaçuzeiro Entrelinha; PP: Precipitação Pluviométrica.

**Fonte:** Autores.

O teor de umidade de água do solo ( $\theta$ ) no monocultivo irrigado obteve média de  $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $\pm 0,05$ ), tendo como maior valor  $0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  nos meses de junho, agosto e outubro, e menor valor de  $0,24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no mês de setembro, enquanto no tratamento em sequeiro teve média de  $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $\pm 0,05$ ) obtendo valor máximo de  $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no mês de maio e menor valor de  $0,24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no mês de agosto (Figura 8A). No cultivo consorciado irrigado, o  $\theta$  teve média de  $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $\pm 0,04$ ), sendo registrado o maior valor de  $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  nos meses de maio, junho e julho, o menor valor foi de  $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no mês de agosto, enquanto no sistema em sequeiro a média foi de  $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $\pm 0,05$ ), com valor máximo de  $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  nos meses de maio e junho, e o valor mínimo foi de  $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  nos meses de agosto e setembro (Figura 8B).

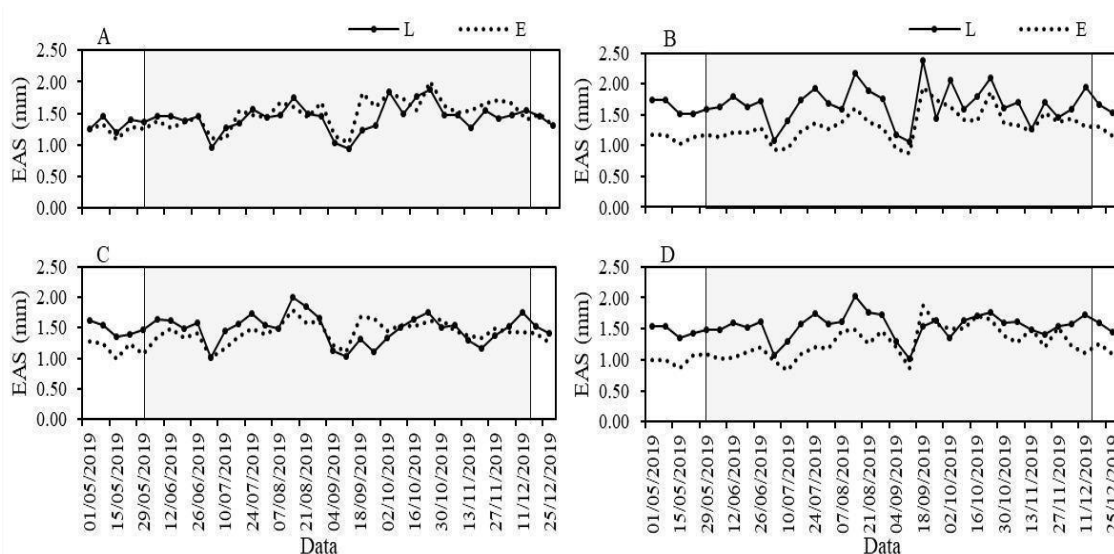
**Figura 8-** Valores médios semanais de teor de umidade de água do solo ( $\theta$ ) no monocultivo (A) e consórcio (B), nos tratamentos irrigado (I) e sequeiro (S) da linha de plantio. Capacidade de campo (CC). Área sombreada é referente ao período menos chuvoso.



**Fonte:** Autores.

Na evaporação da água do solo (EAS) do monocultivo irrigado foi observado média de  $1,41 \text{ mm dia}^{-1} (\pm 0,21)$  na linha e  $1,47 \text{ mm dia}^{-1} (\pm 0,23)$  na entrelinha, com valor máximo de  $1,88 \text{ mm dia}^{-1}$  na linha e  $2,00 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha ambos no mês de outubro, e o valor mínimo foi de  $0,94 \text{ mm dia}^{-1}$  na linha e  $1,03 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha ambos no mês de setembro (Figura 9A). No monocultivo, em sequeiro, a média foi de  $1,48 \text{ mm dia}^{-1} (\pm 0,22)$  na linha e  $1,40 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha ( $\pm 0,19$ ), tendo valor máximo de  $2,00 \text{ mm dia}^{-1}$  na linha e  $1,80 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha ambos no mês de agosto, o valor mínimo foi de  $1,00 \text{ mm dia}^{-1}$  na linha e  $0,99 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha, no mês de julho e maio, respectivamente (Figura 9C).

**Figura 9-** Valores médios semanais de Evaporação da Água do Solo (EAS), do monocultivo irrigado (A) e sequeiro (C) e do consórcio irrigado (B) e sequeiro (D), na linha (L) e entrelinha (E). Área sombreada é referente ao período menos chuvoso.



**Fonte:** Autores.

A EAS na área consorciada irrigada obteve média de  $1,66 \text{ mm dia}^{-1}$  ( $\pm 0,28$ ) na linha e  $1,31 \text{ mm dia}^{-1}$  ( $\pm 0,25$ ) na entrelinha, com maior valor de  $2,39 \text{ mm dia}^{-1}$  na linha e  $1,96 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha ambos no mês de setembro, e o menor valor foi de  $1,06 \text{ mm dia}^{-1}$  na linha e  $0,87 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha ambos no mês de setembro (Figura 9B). No consórcio em sequeiro a média de EAS foi de  $1,54 \text{ mm dia}^{-1}$  ( $\pm 0,19$ ) na linha e  $1,25 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha ( $\pm 0,26$ ), tendo maior valor de  $2,03 \text{ mm dia}^{-1}$  na linha e  $1,88 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha, no mês de agosto e setembro, respectivamente, o menor valor foi de  $1,01 \text{ mm dia}^{-1}$  na linha e  $0,82 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha, no mês de setembro e julho, respectivamente (Figura 9D).

No período chuvoso, baseando-se na análise de variância dos fatores estudados, observou-se que os fatores cultivo e tratamento não foram significativos ( $p > 0,05$ ), com significância ( $p < 0,05$ ) somente para o fator local. A relação entre os fatores, somente foi observado efeito significativo na interação entre cultivo x tratamento e cultivo x local, as interações entre tratamento x local e cultivo x tratamento x local, não foram significativas (Tabela 5).

Para o período menos chuvoso do experimento com açazeiro a ANOVA evidencia que não houve significância dos fatores, cultivo e tratamento, assim como, das interações entre cultivo x tratamento e tratamento x local. Foi observado significância apenas para o fator local, além das interações cultivo x local e cultivo x tratamento x local (Tabela 6).

**Tabela 5-** Resultados estatísticos (Tukey  $p < 0,05$ ) das interações entre os fatores analisados: cultivo, tratamento e local, na área experimental com açazeiro, durante o período chuvoso.

Período	Cultivo	Tratamento	
		Irrigado	Sequeiro
Chuvoso	Açaí	1,37 aA	1,39 aA
	Açaí + Cupuaçu	1,43 aA	1,31 bB
		Local	
		Linha	Entrelinha
	Açaí	1,44 bA	1,31 aB
	Açaí + Cupuaçu	1,58 aA	1,16 bB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e, maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Fonte:** Autores.

**Tabela 6-** Resultados estatísticos (Tukey  $p < 0,05$ ) das interações entre os fatores analisados: cultivo, tratamento e local, na área experimental com açazeiro, durante o período menos chuvoso.

Período	Cultivo	Local	Tratamento	
			Irrigado	Sequeiro
Menos Chuvoso	Açaí	Linha	1,42 <i>bAa</i>	1,47 <i>aAa</i>
		Entrelinha	1,50 <i>aAa</i>	1,43 <i>aAa</i>
	Açaí + Cupuaçu	Linha	1,66 <i>aAa</i>	1,54 <i>aBa</i>
		Entrelinha	1,33 <i>bAb</i>	1,30 <i>bAb</i>

Médias seguidas pela mesma letra minúscula *italico* entre os cultivos e, maiúscula entre os tratamentos e, minúsculo **negrito** entre locais, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Fonte:** Autores.

A partir dos resultados do teste de Tukey descritos na Tabela 5, observou-se que houve diferença estatística entre os sistemas de cultivo na área em sequeiro, sendo o valor de EAS maior no monocultivo. Na avaliação da área do monocultivo, notou-se que houve diferença apenas na área de consórcio, onde EAS foi maior na área irrigada. Quanto às relações entre cultivo e local, foi observado que na linha e entrelinha houve diferença estatística, onde EAS na linha foi maior no consórcio. E que na entrelinha o EAS foi maior no monocultivo. Já na relação entre os locais, em ambos os sistemas de cultivo, a evaporação foi maior na linha.

Para o período menos chuvoso descrito na Tabela 6, observa-se que a linha da área irrigada teve diferença estatística entre os cultivos, sendo a EAS maior no consórcio. Já na

entrelinha teve diferença estatística em ambos os tratamentos, sendo a EAS maior no monocultivo. Foi observado que só houve diferença estatística entre os tratamentos na linha do sistema de consórcio, sendo a EAS maior na área irrigada. Quanto a análise estatística entre os locais somente houve diferença na área de consórcio, obtendo maior EAS na linha, em ambos os tratamentos.

De modo geral, observou-se que durante o período chuvoso toda área esteve sob mesma condição hídrica, enquanto no período menos chuvoso, apesar do uso da irrigação, houve o fornecimento de água tanto na linha, quanto na entrelinha, devido a área de molhamento do microaspersor ( $\varnothing$  5m) ser superior ao espaçamento entre plantas (4 m).

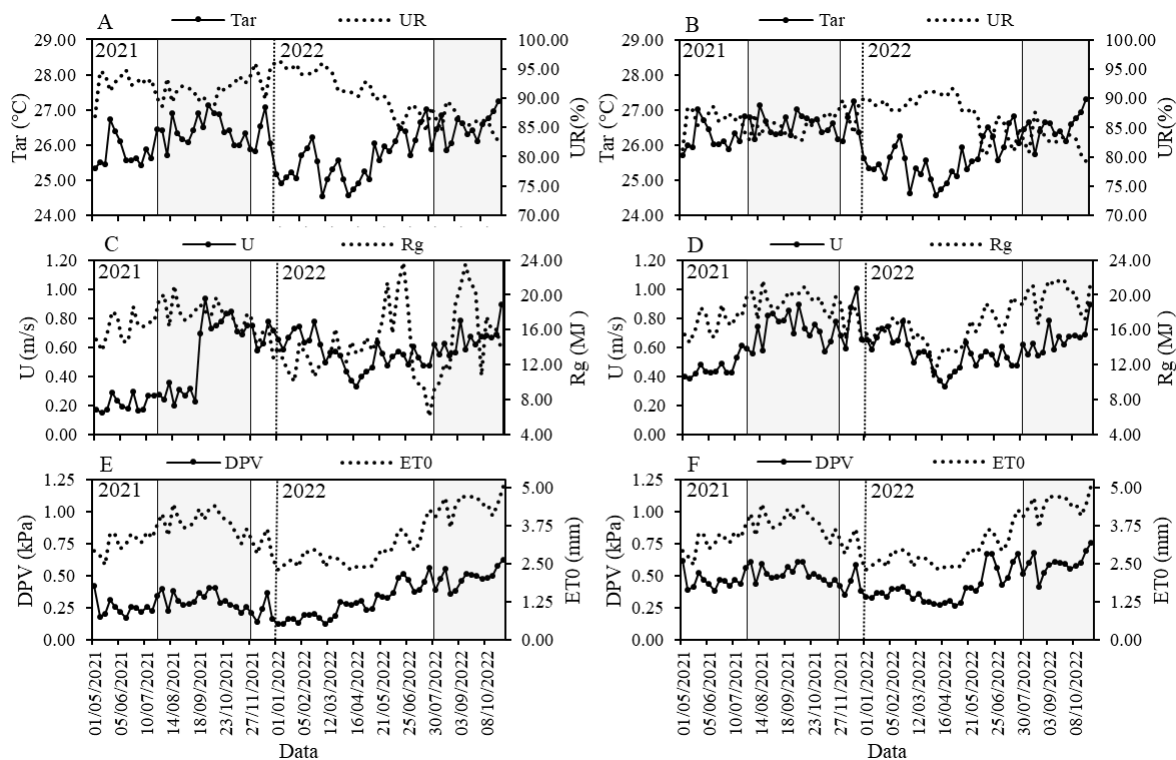
Logo, tais condições mantiveram o teor de umidade de água no solo em todos os sistemas de cultivo e tratamentos acima da capacidade de campo (CC), que foi de  $0,24 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  (Figura 8). Com isso, a quantidade de água disponível não foi o elemento condicionante na evaporação, já que o fato de estar acima da capacidade de campo evidencia que há água disponível para a máxima evaporação em toda a área, sendo assim, a radiação solar foi a variável que mais influenciou na máxima evaporação (ALLEN et al., 1998).

Nesse contexto, tal variação de EAS pode ser atribuída a irregularidade da incidência da radiação solar ao longo do dia na superfície do solo, ocasionada pela cobertura desuniforme dos dosséis dos estipes do açazeiro, que possivelmente podem ter deixado alguns locais mais expostos a radiação solar que outros.

Quanto aos resultados do experimento com coqueiro, a partir dos dados coletados da torre micrometeorológica instalada no tratamento irrigado durante os meses de maio a dezembro de 2021, a média de Tar foi de  $26,18 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 0,51$ ), com valor máximo de  $27,13 \text{ }^\circ\text{C}$  no mês de outubro e mínimo de  $25,34 \text{ }^\circ\text{C}$  (Figura 10A). Na área de sequeiro, com os valores coletados da torre micrometeorológica instalada no tratamento sequeiro a Tar teve média de  $26,46 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 0,39$ ), com maior valor de  $27,27 \text{ }^\circ\text{C}$  no mês de dezembro e menor valor de  $25,71 \text{ }^\circ\text{C}$ , em ambas as áreas os valores mínimos foram observados no mês de maio (Figura 10B). A UR semanal na área irrigada apresentou média de  $91,98\%$  ( $\pm 2,06$ ), com máxima de  $95,90\%$  e mínimo de  $86,96\%$  (Figura 10A). Na área em sequeiro a UR apresentou valor médio de  $86,00\%$  ( $\pm 1,93$ ), com máxima de  $89,67\%$  e mínimo de  $81,30\%$ , em ambas as áreas o valor máximo de UR foi no mês de dezembro e o valor de mínimo no mês de maio (Figura 10B).

**Figura 10-** Valores médios semanais da área irrigada de temperatura média do ar (Tar) (A), umidade relativa do ar (UR) (A), velocidade do vento (U) (C), radiação solar global (Rg) (C), déficit de pressão de vapor (DPV) (E) e

evapotranspiração de referência (ET0) (E). Valores médios semanais da área sequeiro Tar (B), UR (B), U (D), Rg (D), DPV (F) e ET0 (F) do experimento com coqueiro. Área sombreada é referente ao período menos chuvoso.



Fonte: Autores.

Quanto aos meses de janeiro a outubro de 2022 foi observado, na área irrigada, os valores da média de Tar de  $25,85\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,72$ ), com valor máximo de  $27,23\text{ }^{\circ}\text{C}$  no mês de outubro e mínimo de  $24,55\text{ }^{\circ}\text{C}$  no mês de março (Figura 10A). Enquanto na área de sequeiro, os valores médios de Tar foi de  $25,86\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,68$ ), com maior valor de  $27,30\text{ }^{\circ}\text{C}$  no mês de outubro e menor valor de  $24,56\text{ }^{\circ}\text{C}$  no mês de abril (Figura 10B). A UR para esses meses na área irrigada teve valor médio de  $89,83\%$  ( $\pm 4,01$ ), com máxima de  $96,24\%$  no mês de janeiro e mínimo de  $82,67\%$  no mês de outubro (Figura 10A), na área em sequeiro a UR apresentou valor médio de  $86,39\%$  ( $\pm 3,71$ ), com máxima de  $91,75\%$  no mês de abril e mínimo de  $79,22\%$  no mês de outubro (Figura 10B).

A U na área irrigada nos meses avaliados de 2021 teve média de  $0,45\text{ m s}^{-1}$  ( $\pm 0,26$ ), com maior valor de  $0,93\text{ m s}^{-1}$  no mês de setembro e menor valor de  $0,15\text{ m s}^{-1}$  (Figura 10C). Enquanto no sequeiro o valor médio de U foi de  $0,64\text{ m s}^{-1}$  ( $\pm 0,17$ ), com valor máximo de  $1,00\text{ m s}^{-1}$  no mês de dezembro e mínimo de  $0,39\text{ m s}^{-1}$ , para ambas as áreas o valor mínimo foi no mês de maio (Figura 10D). O Rg na área irrigada teve média de  $17,05\text{ MJ m}^2\text{ dia}^{-1}$  ( $\pm 1,85$ ), máximo valor de  $21,04\text{ MJ m}^2\text{ dia}^{-1}$  e mínimo valor de  $12,87\text{ MJ m}^2\text{ dia}^{-1}$  (Figura 10C). Na área sequeiro o Rg teve média de  $18,16\text{ MJ m}^2\text{ dia}^{-1}$  ( $\pm 1,92$ ), máximo valor de  $21,70\text{ MJ m}^2\text{ dia}^{-1}$  e

mínimo valor de 14,49 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>, para ambas as áreas os maiores valores foram no mês de agosto e os menores valores no mês de dezembro (Figura 10D).

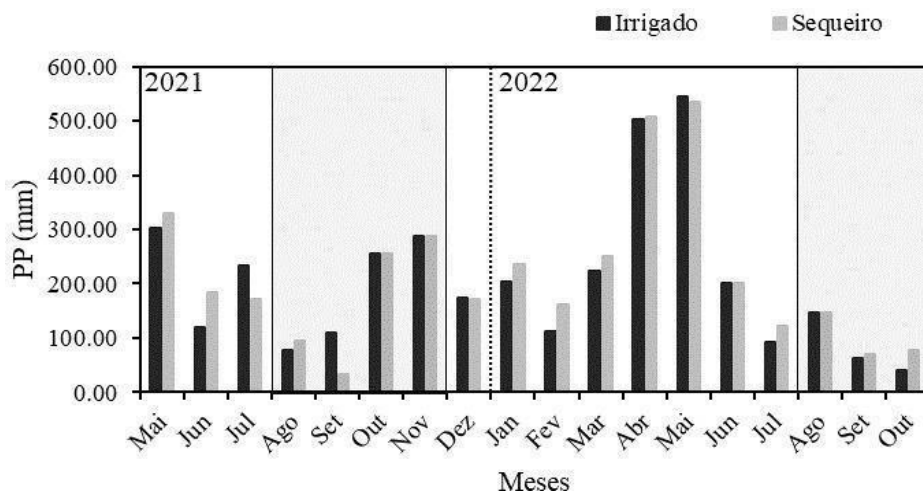
Nos meses estudados de 2022 a U para ambas as áreas experimentais, obteve-se média de 0,58 m s<sup>-1</sup> (± 0,11), maior valor de 0,90 m s<sup>-1</sup> no mês de outubro e menor valor de 0,33 m s<sup>-1</sup> no mês de abril (Figura 10C e 10D). O valor de Rg no cultivo irrigado teve média de 14,52 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> (± 4,12), máximo valor de 23,69 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> no mês de junho e mínimo valor de 6,00 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> no mês de julho (Figura 10C). Na área sequeiro o Rg teve média de 17,15 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> (± 2,74), máximo valor de 21,79 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> no mês de setembro e mínimo valor de 10,36 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> no mês de abril (Figura 10D).

O DPV nos meses de 2021 da área irrigada teve média de 0,28 kPa (± 0,07), com máximo de 0,42 kPa e mínimo de 0,14 kPa (Figura 10E). No cultivo em sequeiro, a média foi de 0,49 kPa (± 0,07), com máximo de 0,62 kPa e mínimo de 0,35 kPa (Figura 10F). Em ambos os tratamentos de cultivo o maior valor de DPV foi no mês de maio e o menor valor no mês de dezembro. Nos meses estudados de 2022, a média de DPV no irrigado foi de 0,35 kPa (± 0,15), com maior valor de 0,63 kPa no mês de outubro e menor valor de 0,12 kPa no mês de março (Figura 10E). Enquanto na área sequeiro a média foi de 0,46 kPa (± 0,14), com maior valor de 0,76 kPa no mês de outubro e menor valor de 0,27 kPa no mês de abril (Figura 10F).

A ET<sub>0</sub>, no período experimental de 2021, apresentou média de 3,54 mm (± 0,50), com máxima de 4,45 mm no mês de agosto e mínima de 2,46 mm no mês de maio. Enquanto no período experimental de 2022, a média de ET<sub>0</sub> foi de 3,35 mm (± 0,88), com máximo valor de 5,04 mm no mês de outubro e o mínimo valor foi de 2,30 mm no mês de abril (Figura 10E e 10F).

No período de estudo do ano de 2021 na área com coqueiro irrigado, a PP total foi de 1.558,26 mm, com maior valor mensal de 301,4 mm no mês de maio e menor valor mensal de 76,88 mm no mês de agosto, enquanto na área em sequeiro a PP total foi de 1.529,33 mm, com maior valor mensal de 329,68 mm no mês de maio e menor valor mensal de 33,91 mm no mês de setembro. No ano de 2022 durante os meses de experimento a PP total na área irrigada foi de 2.127,97 mm com maior valor mensal de 544,84 mm no mês de maio e menor valor mensal de 39,63 mm no mês de outubro, enquanto na área em sequeiro a PP total foi de 2.304,76 mm, com maior valor mensal de 534,68 mm no mês de maio e menor valor mensal de 69,09 mm no mês de setembro (Figura 11).

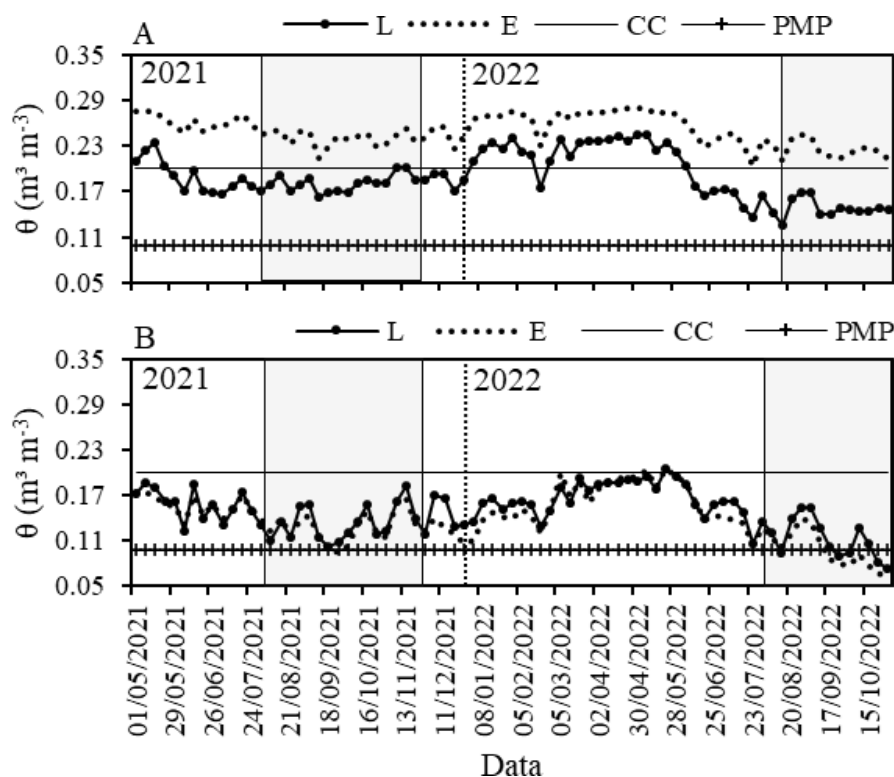
**Figura 11-** Precipitação Pluviométrica (PP) mensal nas áreas irrigado e sequeiro do experimento com coqueiro. Área sombreada é referente ao período menos chuvoso.



**Fonte:** Autores.

A  $\theta$  no período experimental de 2021 na área irrigada obteve média na linha de  $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $\pm 0,02$ ) e na entrelinha de  $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $\pm 0,01$ ), sendo registrado o maior valor na linha de  $0,23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e na entrelinha de  $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ambos no mês de maio e o menor valor registrado na linha foi de  $0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e na entrelinha  $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  sendo ambos no mês de setembro (Figura 12A). Na área em sequeiro a média foi de  $\theta$  na linha e entrelinha foi de  $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $\pm 0,02$ ), obtendo maior valor na linha de  $0,19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  nos meses de maio e junho, enquanto na entrelinha de  $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no mês de maio, o menor valor na linha foi de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e na entrelinha de  $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ambos no mês de setembro (Figura 12B).

**Figura 12-** Valores médios semanais de teor de umidade de água do solo ( $\theta$ ), nas áreas irrigado (A) e sequeiro (B) na linha (L) e entrelinha (E) do experimento com coqueiro. Capacidade de Campo (CC). Ponto de Mucha Permanente (PMP). Área sombreada é referente ao período menos chuvoso.



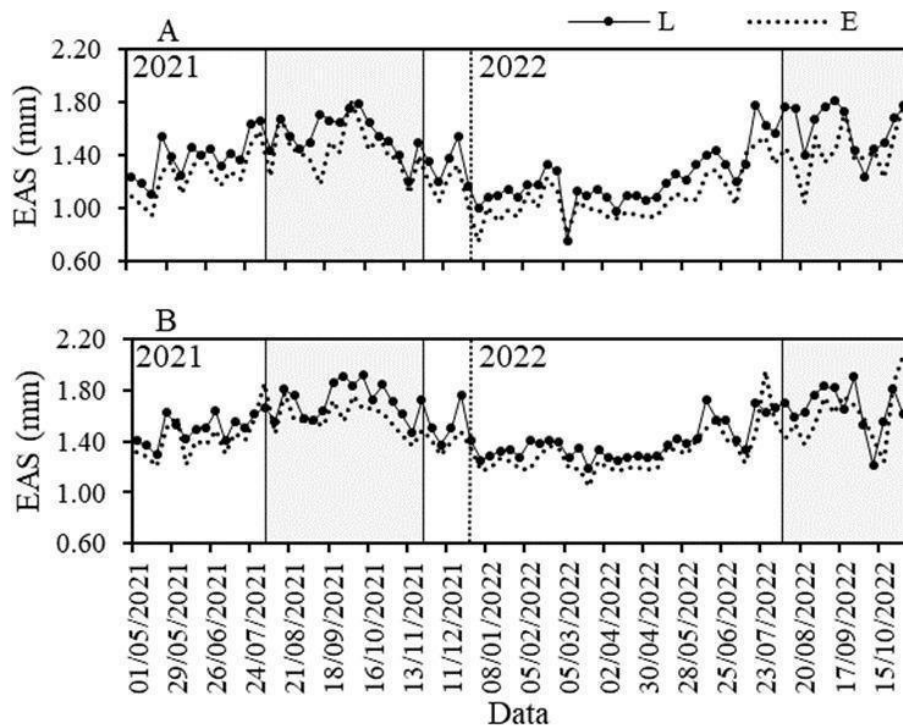
**Fonte:** Autores.

No período de estudo do ano de 2022 a área irrigada apresentou os seguintes resultados semanais, média de  $\theta$  na linha de  $0,19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $\pm 0,02$ ) e na entrelinha de  $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $\pm 0,01$ ), com valor máximo na linha de  $0,24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e na entrelinha de  $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ambos entre os meses de fevereiro a maio e o valor mínimo na linha foi de  $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e na entrelinha  $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  nos meses de agosto e julho, respectivamente (Figura 12A). Na área em sequeiro em 2022 a média de  $\theta$  na linha foi de  $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $\pm 0,02$ ) e na entrelinha foi de  $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $\pm 0,02$ ), com maior valor na linha e entrelinha de  $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no mês de maio e o menor valor na linha foi de  $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e na entrelinha foi de  $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ambos no mês de outubro (Figura 12B).

A evaporação da água do solo na área experimental com coqueiro irrigado no período estudado de 2021 apresentou média de  $1,46 \text{ mm dia}^{-1}$  ( $\pm 0,18$ ) na linha e  $1,33 \text{ mm dia}^{-1}$  ( $\pm 0,20$ ) na entrelinha, com máximo valor de  $1,79 \text{ mm dia}^{-1}$  na linha e  $1,82 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha ambos no mês de agosto, o valor mínimo foi de  $1,10 \text{ mm dia}^{-1}$  na linha e  $0,95 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha ambos no mês de maio (Figura 13A). A área em sequeiro apresentou média de  $1,60 \text{ mm dia}^{-1}$  ( $\pm 0,17$ ) na linha e  $1,49 \text{ mm dia}^{-1}$  ( $\pm 0,16$ ) na entrelinha, com máximo valor de  $1,91 \text{ mm dia}^{-1}$  na linha e  $1,85 \text{ mm dia}^{-1}$  na entrelinha, no mês de outubro e agosto, respectivamente, o valor

mínimo foi de 1,29 mm dia<sup>-1</sup> na linha e 1,21 mm dia<sup>-1</sup> na entrelinha ambos no mês de maio (Figura 13B).

**Figura 13-** Valores médios semanais da Evaporação da Água do Solo (EAS) nas áreas irrigado (A) e sequeiro (B) da linha (L) e entrelinha (E) do experimento com coqueiro. Área sombreada é referente ao período menos chuvoso.



**Fonte:** Autores.

No período de experimento de 2022 os resultados semanais de média de EAS na área irrigada foi de 1,33 mm dia<sup>-1</sup> ( $\pm 0,27$ ) na linha e 1,18 mm dia<sup>-1</sup> na entrelinha ( $\pm 0,25$ ), obtendo maior valor de 1,81 mm dia<sup>-1</sup> na linha e 1,80 mm dia<sup>-1</sup> na entrelinha, no mês de setembro e outubro, respectivamente, o menor valor foi de 0,76 mm dia<sup>-1</sup> e 0,75 mm dia<sup>-1</sup>, no mês de março e janeiro, respectivamente (Figura 13A). Para o referido período de 2022, a média para a área em sequeiro foi de 1,47 mm dia<sup>-1</sup> ( $\pm 0,20$ ) na linha e 1,39 mm dia<sup>-1</sup> ( $\pm 0,23$ ) na entrelinha, com maior valor de 1,90 mm dia<sup>-1</sup> na linha e 2,05 mm dia<sup>-1</sup> na entrelinha, no mês de setembro e outubro, respectivamente, o menor valor foi de 1,19 mm dia<sup>-1</sup> na linha 1,05 mm dia<sup>-1</sup> na entrelinha ambos no mês de março (Figura 13B).

No cultivo com coqueiro foi observado que em ambos os períodos obteve o mesmo padrão dos resultados da análise de variância, no qual, resultado significativo para os fatores tratamento e local, porém não houve significância na interação entre os fatores citados (Tabela 7).

**Tabela 7-** Resultados estatísticos (Tukey  $p < 0,05$ ) das interações entre os fatores analisados: tratamento (irrigado e sequeiro) e local (linha e entrelinha), na área experimental com coqueiro, durante os períodos analisados.

Período	Tratamento	
	Irrigado	Sequeiro
Chuvoso	1,19 B	1,38 A
Menos Chuvoso	1,51 B	1,64 A
	Local	
	Linha	Entrelinha
Chuvoso	1,34 A	1,23 B
Menos Chuvoso	1,64 A	1,51 B

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Fonte:** Autores.

Quanto ao resultado do teste de Tukey para os dados do experimento com coqueiro (Tabela 7), os períodos estudados apresentaram comportamento semelhantes, em que houve diferença estatística entre os tratamentos, onde a EAS foi maior no sequeiro, esse resultado pode ser atribuído ao maior DPV do cultivo em sequeiro em relação ao irrigado (Figura 10E e 10F), em que tal condição promoveu maior demanda da atmosfera por vapor de água na área sem irrigação, causando maior EAS observados na área em questão (JHAJHARIA; SINGH, 2011; OLIVERIRA: SILVA:OLIVEIRA et al., 2021), diante disso, evidenciou-se um menor  $\theta$  na área em sequeiro (Figura 12).

Para ambos os períodos também houve diferença entre os locais, sendo a EAS maior na linha de plantio, este resultado está relacionado aos valores de IAF, em que o coqueiro apresentou menor IAF, com média entre os sistemas de  $1,51 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  em comparação à média entre os sistemas do IAF da puerária que foi de  $2,73 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ . Diante disso, o menor IAF do coqueiro gerou redução na cobertura do solo, promovendo menor sombreamento da superfície que ficou exposta aos raios solares, favorecendo o processo de evaporação (OLIVEIRA et al., 2014). Segundo Pianella et al (2017) os menores valores de IAF aumentam a temperatura do solo, onde em seu estudo, o IAF= 5 reduziu a temperatura em até  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  em comparação com o menor valor IAF = 0,01.

Na entrelinha, em contrapartida, a menor EAS está relacionada ao maior IAF da pueraria, devido ao sombreamento causado pela cobertura do solo, com isso, há interceptação de grande parte da radiação solar incidente, dificultando a condução de energia no solo,

desfavorecendo o processo de evaporação na entrelinha (RITCHIE; BASSO, 2008; GAVA et al., 2013).

Com a redução da EAS neste local tem-se o maior conteúdo de água na entrelinha auxiliando na interação solo-planta-atmosfera, reduzindo conseqüentemente a temperatura do solo e a evaporação da água disponível. Assim, beneficia a maior conservação da umidade do solo (PEREIRA et al., 2015; SANTOS ALMEIDA et al., 2019). Tal fato é evidenciado com os maiores valores de  $\theta$  na entrelinha em ambos os tratamentos de cultivo (Figura 12).

Diante do exposto, dentre a importância de se compreender o processo de evaporação da água do solo, está a pretensão de evitar gastos de água por irrigação acima do necessário, pois com base nessas informações, é possível se ter ideia da perda de água do solo e de como a evaporação contribui no processo de evapotranspiração, fomentando o gerenciamento de recursos hídricos para a irrigação. Segundo Evien et al. (2021) deve-se levar em consideração os diferentes usos da água na agricultura, devido a sua escassez, e a eles se deve acrescentar os efeitos adversos das mudanças climáticas.

Com isso, o uso da irrigação é um grande mecanismo que possibilita uma maior e melhor produção das culturas atualmente, portanto, entender os fatores que influenciam na evaporação em diferentes cultivos, com irrigação ou sem irrigação, na linha e entrelinha de cultivo é de grande importância para o manejo da cultura, pois com isso, um posicionamento adequado do sistema de irrigação próximo às plantas e o manejo de cobertura do solo com plantas forrageiras ou matéria morta possibilitam uma maior conservação da água no solo, evitando grandes perdas por evaporação, maximizando a produção agrícola e garantindo a sustentabilidade produtiva.

## **5 CONCLUSÃO**

No experimento com açaizeiro no período chuvoso a evaporação de água no solo (EAS) foi maior no monocultivo na área em sequeiro e na entrelinha, e no consórcio a EAS foi superior apenas na linha. Entre tratamentos a EAS foi maior na área de consórcio irrigada. Enquanto entre locais a EAS foi superior na linha em ambos os sistemas de cultivo.

Enquanto que no período menos chuvoso da área do açaizeiro, a EAS foi maior no monocultivo em ambos os tratamentos na entrelinha, enquanto no consórcio a EAS foi maior apenas na linha da área irrigada. Entre tratamentos a EAS foi maior na linha da área irrigada do consórcio. Entre locais a EAS foi maior na linha em ambos os tratamentos do cultivo em consórcio.

No sistema de cultivo com açaizeiro, durante os períodos analisados, a radiação solar incidente é a variável condicionante na evaporação da água do solo.

A evaporação da água no solo no cultivo de coqueiro é superior na área em sequeiro, do mesmo modo que, na linha de plantio, e essas condições são evidenciadas independente da sazonalidade.

Diante dos resultados estatísticos e das condições presenciadas no estudo, foi possível observar que as diferenças encontradas na evaporação da água do solo nas diversas condições analisadas, podem ser atribuídas principalmente às condições de exposição do solo e da dinâmica de água presente no mesmo.

Observou-se que na maioria dos casos, a interceptação da radiação solar conciliada com o sombreamento causado principalmente pelas folhas das plantas, influenciaram diretamente nos resultados de evaporação. Assim, quanto maior essas condições, menor será a radiação incidente na superfície do solo e, conseqüentemente, há redução da evaporação, tendo em vista que a radiação solar é a fonte principal de energia consumida nesse processo.

## 6 REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ALMEIDA, U. O.; NETO, R. DE C. A.; LUNZ, A. M. P; COSTA, D. A. DA; ARAUJO, J. M. DE; RODRIGUES, M. J. DA D. S. Crescimento de açaizeiro (*Euterpe precatoria* Mart.) consorciado com bananeira. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 5, n. 3, 2018.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES; J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p. 711-728, 2014.

ALVES, C. P.; SILVA, T. G. F.; ALVES, H. K. M. N.; JARDIM, A. M. DA R. F.; SOUZA, L. S. B. DE; NETO, J. F. DA C.; SANTOS, J. P. A. DE S. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, 2020.

ALVES, S. M. A. Ensino experimental das ciências no 1º CEB: estudo dos fenômenos de mudança de estado físico da água. 2013.

ANDRADE, N. L. R. D., AGUIAR, R. G., SANCHES, L., ALVES, É. C. R. D. F., & NOGUEIRA, J. D. S. Partição do saldo de radiação em áreas de floresta amazônica e floresta de transição Amazônia-Cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 346-355, 2009.

ASNER, G. P.; SCURLOCK, J. M. O.; HICKE, J. A. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. **Global Ecology and Biogeography**, v. 12, p. 191 – 205, 2003.

BARBIERI, V.; QUAGLIA, L.; MANIERO, M. A.; NOVA, N. A. V. Estimativas da constante de evaporação do solo nu ( $K_e$ ) em função da evapotranspiração de referência e da evaporação do tanque classe A. **Agrometeorologia, Agroclimatologia e agronegócio; resumos**, 2005.

BENASSI, A. C.; DE SANTANA, E. N.; FANTON, C. J. **O cultivo do coqueiro-anão-verde: tecnologias de produção**. Incaper, Vitória, Espírito Santo, 2014.

BENASSI, A. C.; RUGGIERO, C.; MARTINS, A. B. G.; SILVA, J. A. A. DA. Caracterização biométrica de frutos de coqueiro, *Cocos nucifera* L. variedade anã-verde, em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 302-307, 2007.

BENINCASA, M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, p. 41, 2003.

BIAGOLINI, C. H. Sustentabilidade aplicada: reaproveitamento da casca de coco (*Cocos nucifera*) na produção de mudas de plantas epífitas. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 13, n. 6, 2017.

BOAST, C. W.; ROBERTSON, T. M. A "Micro-Lysimeter" method for determining evaporation from bare soil: description and laboratory evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 4, p. 689-696, 1982.

BORMA, L. DE S.; JUNIOR, G. DE F. N. G.; LUIZ, G. C. **Interação solo-planta-atmosfera e o papel dos solos não saturados**. Solos não saturados no contexto geotécnico, p. 327-360, 2015.

CAMPOS, A. J. DE M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Estresse hídrico em plantas: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.23155>.

CARVALHO, E. X. DE; FILHO, C. J. DA A.; ARAGÃO, W. M.; MUSSER, R. DOS S.; FERRAZ, L. G. B.; BASTOS, G. Q.; OLIVEIRA, F. J. DE. Variabilidade e comportamento de cultivares de coqueiro anão nos tabuleiros costeiros do Norte de Sergipe. **Bragantia**, v. 67, p. 91-100, 2008.

CARVALHO, J. E. U.; MULLER, C. H.; ALVES, R. M.; NAZARÉ, R. F. R. DE. Cupuaçuzeiro. 2004.

CASTRO, H. S. Coleopteroфаuna edáfica associada a plantios comerciais de Coqueiro anão (*Cocos nucifera* L.) em Santa Isabel do Pará, Pará. 2021.

CEDRIM, P. C Amélio Silva; BARROS, Elenita Marinho Albuquerque; NASCIMENTO, Ticiano Gomes do. Propriedades antioxidantes do açaí (*Euterpe oleracea*) na síndrome metabólica. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.

CHEN, L., WANG, W., ZHANG, Z., WANG, Z., WANG, Q., ZHAO, M., & Gong, C. Estimation of bare soil evaporation for different depths of water table in the wind-blown sand area of the Ordos Basin, China. **Hydrogeology Journal**, v. 26, p. 1693-1704, 2018.

CINTRA, F. L. D.; FONTES, H. R.; PASSOS, E. E. M.; RERREIRA, J. M. S. Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no Nordeste do Brasil. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009.

COELHO FILHO, M. A.; PEREIRA, F. A. C.; ANGELOCCI, L. R.; COELHO, E. F.; OLIVERIA, G. X. S O processo de evapotranspiração. 2011.

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**, v. 68, n. 4, p. 979-983, 2009.

COSTA, D. L. P.; VIEIRA, I. C. DE O.; CARVALHO, E. DE O. T. DE.; SIILVA. M. Y. F.; VELAME, M. DE L. A.; SOUZA. P. J. DE O. P. DE. Produtividade e eficiência do uso da água de cupuaçuzeiro irrigado nas condições climáticas de Castanhal-PA, Amazônia brasileira. **IRRIGA**, v. 27, n. 1, p. 1-15, 2022.

CUNHA JÚNIOR, J. B.; TAVARES, L. B. Fenologia do Cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* [Willd. Ex. Spreng.] Schum.) em um sistema agroflorestal, submetido à diferentes lâminas de irrigação no município de Castanhal, PA. 2020.

D' ARACE, L. M. B.; PINEIRO, K. A. O.; GOMES, J. M.; CARNEIRO, F. DA S.; COSTA, N. S. DA R.; ROCHA, E. S. DA; SANTOS, M; L; DOS. Produção de açaí na região Norte do Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 5, p. 15-21, 2019.

DAAMEN, C. C.; SIMMONDS, L.P.; WALLACE, J.S.; LARYEA, K.B.; SIVAKUMAR, M.V.K. Use of microlysimeters to measure evaporation from sandy soils. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 65, n. 3-4, p. 159-173, 1993.

DAAMEN, C.C.; SIMMONDS, L.P.; SIVAKUMAR, M.V.K. The impact of sparse millet crops on evaporation from soil in semi-arid Niger. **Agricultural Water Management, Amsterdam**, v.27, n.3-4, p.225-242, 1995.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; KRÜGER, C. A. M. B.; BERGONCI, J. I.; COMIRAN, F.; HECKLEferR, B. M. M. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 780-790, 2010.

DIAS, J. D. M.; ABREU, V. K. G. PEREIRE, A. L. F.; LEMOS, T. DE O.; SANTOS, L. H. DOS; SILVA, V. K. L. DA; MOTA, A. S. DE B. 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**, v. 36, n. 1, 2019.

EMBRAPA, 2008. **Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia**. Disponível em: <<http://www.inpa.gov.br>>. Acesso em: 28 de jan. de 2023.

EMBRAPA, 2018. **Coco: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília DF. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/192950/1/500-PERGUNTAScoco-ed-01-2018.pdf> >.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 5a ed. 412p, 2018.

EVIEN, S. L. A.; FIGUEIRÊDO, V. B.; DE ARRUDA, L. E. V. Panorama da atual área de agricultura irrigada no Brasil. **Pantanal Editora**, Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil, 2021.

FAVARIN, J. L.; NETO, D. D.; GARCÍA, A. G.; NOVA, N. A. V.; FAVARIN, M. DA G. G. V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 37, p. 769-773, 2002.

FERNANDES, G. M. N. A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO PARA A AGRICULTURA NO ESTADO DE GOIÁS. 2019.

FERREIRA, M. DAS G. R.; SANTOS, M. R. A.; BRAGADO, A. C. R. Propagação in vitro de cupuaçuzeiro. **Saber Científico (1982-792X)**, v. 2, n. 2, p. 37-44, 2021.

FERREIRA, M. L. DA C. Sistema de aquisição de dados para monitorar a umidade do solo e automatizar as irrigações. 2018.

FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. DE; LENA, B. P. Test of a microlysimeter for measurement of soil evaporation. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 80-90, 2012.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRÖM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, p. 337-342, 2011

FREITAS, M. C. Avaliação da fertilidade do latossolo amarelo textura média, para o cultivo de plantas jovens de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) progênie 56. 2018.

FRIEND, D.; CORLEY, R. H. V. Measuring coconut palm dry matter production. **Experimental Agriculture**, v. 30, n. 2, p. 223-235, 1994.

FRONZA, D.; FOLEGATTI, M. V. Consumo de água da cultura de estêvia (*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertonii) estimado por microlisímetro. **Scientia Agrícola**, v. 60, n. 3, p. 595-599, 2003.

FURLANETO, F. DE P. B.; SOARES, A. DE A. V. L.; FURLANETO, L. B. Parâmetros tecnológicos, comerciais e nutracêuticos do açaí (*Euterpe oleracea*). **Revista Internacional de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 91-107, 2020.

GALVÃO, E.U.P. Coqueiro: recomendações de cultivo. 2000.

GAVA, R.; FREITAS, P. S. L. DE; FARIA, R. T. DE; REZENDE, R.; FRIZZONE, J. A. Soil water evaporation under densities of coverage with vegetable residue. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, p. 89-98, 2013.

GORDIYENKO, V. P.; KOSTOGRYZ, P. V. Patterns of moisture evaporation at Variable bulk densities of the Upper soil layer. **Soviet Soil Science**, New York, v. 22, n. 8, p. 11-112, 1990.

GOUVEIA NETO, G. da C.; LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, J. M.; DE SOUZA, C.; DA SILVA, I. de F. Estimativa Da Evapotranspiração da Mamona Seus Componentes (Evaporação E Transpiração) Na Microrregião Do Brejo Paraibano. **Irriga**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 246, 2018. DOI: 10.15809/irriga.2011v16n3p246. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/285>.

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes**. 3. Ed. New York: Academic Press, 288 p. 1973.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. C.; SÁ, F. V. S. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. dá S.; LACERDA, C. F. de.; GOMES FILHO, E. (Ed.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTSal), 2016.

HOMMA, A. K. O. Extrativismo Vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação. Embrapa, Brasília, p. 468, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado> > Acesso em: 10/02/2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SIDRA: Banco de Tabelas Estatísticas: Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/home/ipp/brasil> > Acesso em: 15/02/2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SIDRA: Banco de Tabelas Estatísticas: Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/home/ipp/brasil> > Acesso em: 09/03/2023.

KLOCKE, N. L.; MARTIN, D. L.; TODD, R. W.; DEHAAN, D. L.; POLYMENOPOULOS, A. D. Evaporation measurements and predictions from soils under crop canopies. **Transactions of the ASAE**, v. 33, n. 5, p. 1-1596, 1990.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, 497, 1995.

LINS, P. M. P.; VIÉGAS, J. M. **Adubação do coqueiro no Pará**. Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental, 28p., 2008.

LIZ, S. DE. Efeito do consumo de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e de juçara (*Euterpe edulis* Mart.) sobre biomarcadores metabólicos e de estresse oxidativo em indivíduos saudáveis: um ensaio clínico randomizado cruzado de 4 semanas. 2020.

LODY, R. **Coco: comida, cultura e patrimônio**. Editora Senac, São Paulo, 2019.

MARTINS, A. P.; SILVA, P. L. R. DA; WATANABE, T.; BORELLI, C.; MARCICANO, J. P. P.; SANCHE, R. A. O Problema do Pós-consumo do Coco no Brasil: Alternativas e Sustentabilidade. **Sustainability in Debate**, v. 7, n. 1, p. 44-57, 2016.

MARTINS, C. R.; BARROS, I. DE; RODRIGUES, G. S. Análise agroeconômica de sistemas de produção de coco no Norte e Nordeste do Brasil. **Seminário de intensificação ecológica da fruticultura tropical**, 2016.

MARTINS, I. P.; FARIA, R. T. DE; PALARETTI, L. F.; DALRI, A. B.; OLIVERIO, A.; LIBARDI, L. G. P. Lisímetros de pesagem para medidas de evapotranspiração em estufa. **IRRIGA**, v. 22, n. 4, p. 715-722, 2017.

MARTORANO, L. G. Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT. 2007.

MATA, R. R.; DOS SANTOS, G. A. N.; PINHEIRO, E. C. N. M.; DOS SANTOS, S. I. Severidade da vassoura-de-bruxa em Cupuaçuzeiro em condições de campo. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 11, p. 74102-74115, 2022.

MATOS, F. S. Folha seca: introdução à fisiologia vegetal. Editora Appris, 2020.

MELO, G. S.; COSTA, F. S.; DA SILVA, L. C. O cenário da produção do açaí (*Euterpe spp.*) no estado do Amazonas. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p. 71536-71549, 2021.

MELO, J. A. G. J. A inoculação com microrganismos afeta positivamente a arquitetura do sistema radicular e o acúmulo de nutrientes em mudas de *Euterpe oleracea* (Mart.). 2020.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research**, v. 12, n. 3, p. 513-522, 1976.

NESPOLI, A.; JÚNIOR, S. S.; DALLACORT, R.; PURQUERIO, L. F. V. Consórcio de alface e milho verde sobre cobertura viva e morta em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 35, p. 453-457, 2017.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C. DE. Benefícios socioeconômicos da adoção de novas tecnologias no cultivo do açaí no Estado do Pará. **Revista Ceres**, v. 63, n. 1, p.1-7, 2016.

NUNES, G. C.; ABREU, V. K. G.; LEMOS, T. O.; PEREIRA, L. F. 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, Cagayan de Oro City**, v. 7, n. 5, p. 361-369, 2019.

OLIVEIRA, E. C.; CARVALHO, J. de A.; ALMEIDA, E. F. A.; REZENDE, F. C.; DOS SANTOS, B. G.; MIMURA, S.N. Evapotranspiration of rose cultivated in protected environment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 314-321, 2014.

OLIVEIRA, M. DO S. P.; FARIAS NETO, J. T. DE; QUEIROZ, J. A. L. DE. Cultivo e manejo do açaizeiro para produção de frutos. **VI Encontro Amazônico de Agrárias**, 2014.

OLIVEIRA, N. H. C.; SILVA, N. D.; OLIVEIRA, A. S. Tendências climáticas e avanço de áreas irrigadas em Barreiras, Brasil. **Revista Geama**, v. 7, n. 1, p. 15-22, 2021.

OLIVEIRA, T. K. DE; SILVA, D. V. DA; MIQUELONI, D. P.; BARDALES, N. G.; AMARAL, E. F. DO. Análises geoestatísticas na avaliação da variabilidade do pH do solo em consórcio agroflorestal com cupuaçuzeiro, pupunhera e bacabeira. **XII Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais**, 2021.

ONG, B. L. Green Plot Ratio: An Ecological Measure for Architecture and Urban Planning. **Landscape and Urban Planning**, vol. 63, p. 197-211, 2003.

PEIRIS, T. S. G.; THATTIL, R. O.; MAHINDAPALA, R. Analysis of the effect of climate and weather on coconut (*Cocos nucifera*): **Experimental Agriculture**, v. 31, n. 4, p. 451-460, 1995.

PEREIRA, F. F. S.; MATSURA, E. E.; MOUSINHO, F. E. P.; BIZARI, D. R. Retenção de água em níveis de cobertura morta no feijoeiro irrigado em sistema de plantio direto. **Irriga**, v. 20, p. 557- 569, 2015. DOI: 10.15809/irriga.2015v20n3p557.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. D.; RAMOS, M. M. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 346-352, 2009.

PIANELLA, A.; AYE, L.; CHEN, Z.; WILLIAMS, N. S. Substrate depth, vegetation and irrigation affect green roof thermal performance in a mediterranean type climate. **Sustainability**, v. 9, n. 8, p. 1451, 2017.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2022.

RAZ-YASEEF, N.; ROTENBERG, E.; YAKIR, D. Effects of spatial variations in soil evaporation caused by tree shading on water flux partitioning in a semi-arid pine forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 3, p. 454-462, 2010.

RESENDE, L. S. ; ANDRADE, O. C. S. ; ROTELI, K. C. ; POZZA, E. A. Índice de área foliar de cafeeiros submetidos à diferentes coberturas mortas, fertilizantes e condicionadores de solo, 2018.

RITCHIE, J. T.; BASSO, B. Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: the role of agronomic management. **European Journal of Agronomy**, v. 28, p. 273-281, 2008. DOI: 10.1016/j.eja.2007.08.003.

RODRIGUES, E. R. DOS S. Implementação de táticas de manejo para produção do coqueiro anão. 2020.

SANTOS ALMEIDA, A. C.; PUSCH, M.; BONIFÁCIO, J. S.; OLIVEIRA, F. C.; GEISENHOLFF, L.; BISCARO, G. A. Efeito da tensão crítica de irrigação e cobertura do solo sobre o cultivo de rabanete. **Agrarian**, v. 12, n. 45, p. 308-317, 2019.

SANTOS, C. S. S.; MERCES, T. V. DOS S.; LEITE, E. DA S.; DIAS, C. N. Relação da umidade com diferentes coberturas vegetais do solo, **IV Congresso Brasileiro de Eucalipto**, 2019.

SANTOS, M. M. S. DOS. Ecofisiologia do coqueiro gigante sob diferentes condições de umidade e salinidade do solo no litoral oeste do estado do Ceara. 2018.

SANTOS, R. I. N. Alterações fisiológicas e metabólicas evidenciam a sensibilidade do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) a altas temperaturas. 2021. Tese de Doutorado. UFRA/Campus Belém.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de Mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, v.21, n.4, p.655-662, 2011.

SEDAP. **Cupuaçu**. Disponível em: <<http://www.sedap.pa.gov.br/content/cupuaçu>>. Acesso em: 22/02/2023.

SHINZATO, P.; DUARTE, D.; YOSHIDA, D.F.O. O Impacto da Vegetação nos Microclimas Urbanos: estimativa do índice de áreas foliar - IAF pelo método de fotos hemisféricas. **ENCONTRO NACIONAL**, v. 13, p. 1-8, 2015.

SILVA, A. O.; MERA, W. Y. W. DE L.; SANTOS, D. C. R.; SOUZA, D. P. DE; SILVA, C. G. N.; RAIOL, L. L.; JÚNIOR, A. M. G. DA S.; SILVA, D. A. S.; VIÉGAS, I. DE J. M. Estudo da produção de açaí (*Euterpe oleracea* Mart): aspectos econômicos e produtivos baseados nos anos de 2015 a 2017. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1629-1641, 2020.

SILVA, B. M. DA; ROSSI, A. A. B.; DARDENGO, J. DE F. E.; ARAUJO, V. A. A. C. DE; ROSSI, F. S.; OLIVEIRA, L. O. DE; CLARINDO, W. R. Diversidade genética estimada com marcadores entre sequências simples repetidas em cultivos comerciais de Cupuaçuzeiro. **Ciência Rural**, v. 46, p. 108-113, 2016.

SILVA, B.G. de J.; MANOS, M. G. L. Estudo prospectivo de mercado e identificação de tendências da agroindústria na comercialização de produtos e subprodutos do coqueiro. **Seminário de iniciação científica e pós-graduação da EMBRAPA tabuleiros costeiros**, 8., 2018.

SILVA, L. A. A fluidez das relações materiais. Uma arqueologia com os pés na água. **Revista de Arqueologia**, v. 32, n. 1, p. 108-128, 2019.

SILVA, L. D.; LEITE, H. P. P.; BASTOS, F. G.; FREIRE, L.V.; HIGA, A. R.; VICTORIA, D. DE C. Importância em se conhecer o tipo de solo e as particularidades da adubação em áreas de cerrado. **SIFLOR – Cerrado**, v. 2, 2021.

SILVA, L. S.; LEÃO, J. M. DE; COSTA, F. DA S.; BRITO, K. S. A. DE; SUASSUNA, J. F. Qualidade de mudas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) produzidas em substratos compostos por resíduos do agroextrativismo amazônico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 84526-84538, 2020.

SILVA, L. S.; LEÃO, J. M. DE; COSTA, F. DA S.; BRITO, K. S. A. DE; SUASSUNA, J. F. Qualidade de mudas de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) produzidas em substratos compostos por resíduos do agroextrativismo amazônico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 84526-84538, 2020.

SILVA, R. A. E; SILVA, V. DE P. R. DA; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. DOS. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 501-509, 2010.

SINCLAIR, T. R. Theoretical considerations in the description of evaporation and transpiration. **Agronomy**, n. 30, p. 343-361, 1990.

SIQUEIRA, J. N. J.; BEZERRA, V. S.; DAMASCENO, L. F.; MOCHIUTTI, S. Caracterização química de frutos de açaizeiros com perfil para o mercado. **VI Jornada Científica EMBRAPA**, 2020.

SOBRAL, L. F.; FREITAS, J. DE A. D. DE; HOLANDA, J. S. DE; FONTES, H. R.; CUENCA, M. A. G.; RESENDE, R. S. Coqueiro-Anão Verde. **Fruteiras Tropicais do Brasil**, 2009.

SOUSA, D. P. Estimativa do balanço de energia e das necessidades termohídricas do açaizeiro irrigado no Leste da Amazônia. 2020. Tese de Doutorado. UFRA/Campus Belém.

SOUSA, D.P. **Estimativa do balanço de energia e das necessidades termohídricas do açaizeiro irrigado no Leste da Amazônia**. 2020. Tese de Doutorado. UFRA/Campus Belém.

SOUZA, E. A. D. Tipos e níveis de cobertura de solo e seu efeito na eficiência da irrigação localizada de coqueiro-anão (*Cocos nucifera* L.). 2020.

SOUZA, E. B; FERREIRA, D. B. S; GUIMARÃES, J. T. F. FRANCO, V. S; FRANCO, V. S; AZEVEDO, F. T. M; SOUZA, P. J. O. P. Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

SOUZA, F. G; LIMA, R. A. A importância da família Arecaceae para a região Norte. **Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 100-110, 2019.

SOUZA, F. J. L.; GALVÃO, J. R.; VIANA, T. C.; PACHECO, M. J. B.; OLIVEIRA, L. DE A.; ALMEIDA, G.V. DE; JESUS, A. M. B. S. DE; LIMA, L. M. Fontes fosfatadas e acidez do solo na produção de mudas de *Theobroma grandiflorum*. **Nature and conservation**, v. 14, n. 1, p. 141-148, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia vegetal e desenvolvimento vegetal**. 6ªed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2017.

TEIXEIRA, E. O.; VELAME, M. L. A.; MONTEIRO, A. C.; LISBOA, S. P. P.; SANTOS, B. N.; TAVARES, L. B.; CUNHA JUNIOR, J. B.; PINTO, J. V. N.; SILVA, J.V.F.; MARTINS, C. G. D.; COSTA, D. L. P.; SOUZA, P. J. O. P. **Rendimento de polpa de cupuaçu em diferentes disponibilidades hídricas nas condições climáticas de Castanhal-PA**. In:Barbosa Juniro, C. A (Org). As Vicissitudes da Pesquisa e da Teoria nas Ciências Agrárias 2. Ponta Grossa: Atena Editora, 2020. p. 24-33.

TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe. **Zeitschrift Geophysic**, v. 6, n.1, p. 297-309, 1930.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VIANA, L. F; HOMMA, A. K. O; MENEZES, A. J. E. A; SANTOS, J. C; NETO, J. T. F; PENA, H. W. A. Análise Econômica Do Cultivo De Açaizeiro (Euterpe Oleracea Mart.) Irrigado No Nordeste Paraense. **Terceira Margem Amazônia**, v. 7, n. 17, p. 155-169, 2021.

ZWIRTES, A.L; CARLESSO, R; PETRY, M. T; KUNZ, J; REIMANN, G. K. Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo submetida a irrigação deficitária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n. 4, p. 676-688,2015.